

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

ANDERSON COLDEBELLA

Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados: caracterização e
dinâmica dos nutrientes

Toledo

2018

ANDERSON COLDEBELLA

Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados: caracterização e
dinâmica dos nutrientes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Aldi Feiden

Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

Toledo

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Coldebella, Anderson

Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados : caracterização e dinâmica dos nutrientes / Anderson Coldebella; orientador(a), Aldi Feiden; coorientador(a), Wilson Rogério Boscolo, 2018.
81 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Graduação em Engenharia de Pesca Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2018.

1. Aquicultura. 2. Qualidade de água. 3. Efluentes. 4. Eutrofização. I. Feiden, Aldi. II. Boscolo, Wilson Rogério. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

CAMPUS DE TOLEDO – CNPJ 76.690.337/0005-08

Rua da Faculdade, 645 – Jardim Santa Maria – Fone: (45) 3379-7000 – Fax: (45) 3379-7002 – CEP 85.903-000 Toledo – PR

www.unioeste.br



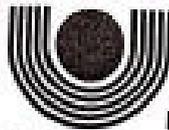
Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ANDERSON COLDEBELLA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E ENGENHARIA DE PESCA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Ao(s) 08 dia(s) do mês de junho de 2018 às 14h, no(a) Sala 15, Bloco E, realizou-se a sessão pública da Defesa de Tese do(a) candidato(a) Anderson Coldebella, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca - nível de Doutorado, na área de concentração em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Aldi Feiden, Altevir Signor, Pitágoras Augusto Piana, Jakeline Marcela Azambuja de Freitas, Julio Hemann Leonhardt. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Aldi Feiden, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) candidato(a) foi admitido(a) à Defesa de TESE DE DOUTORADO, intitulada: "Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados: caracterização e dinâmica dos nutrientes". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Tese. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido(a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Altevir Signor, Pitágoras Augusto Piana, Jakeline Marcela Azambuja de Freitas, Julio Hemann Leonhardt. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Tese. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi APROVADO. A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE - Campus de Toledo, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).
Em tempo, _____

Orientador(a) – Aldi Feiden

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

CAMPUS DE TOLEDO - CNPJ 78.690.337/0005-08

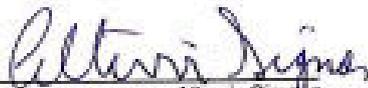
Rua da Faculdade, 645 - Jardim Santa Maria - Fone: (45) 3379-7000 - Fax: (45) 3379-7032 - CEP 85.903-000 Toledo - PR

www.unioeste.br



Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ANDERSON COLDEBELLA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E ENGENHARIA DE PESCA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.


Altevir Sigrter

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)


Pitagoras Augusto Piana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)


Jakeline Marcela Azambuja de Freitas


Julio Hermann Leonhardt
Universidade Estadual de Londrina (UEL)


Anderson Coldebella
Candidato(a)


Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em
Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca

Homologação do Colegiado do PREP;

Parecer do Colegiado do PREP: _____, Ata ____ de ____/____/____.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos e principalmente a minha esposa Priscila que me deram apoio e foram compreensivos durante o período dedicado aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e pela saúde para encarar este desafio e concluir mais uma importante etapa da vida profissional.

A minha querida, admirada e amada esposa Dra. Priscila Ferri Coldebella, pelo incentivo, pelo apoio e por todas as contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Aldi Feiden, meu orientador, por todo apoio, conselhos, ensinamentos e principalmente pela confiança não apenas neste trabalho, mais durante toda a vida acadêmica.

Ao Dr. Wilson Rogério Boscolo, co-orientador, mas com atuação de orientador, por todo apoio e participação durante o projeto, pela amizade, sinceridade e honestidade que o fazem ser um grande profissional.

Ao Dr. André Luis Gentelini, pela ajuda no desenvolvimento da pesquisa, pelo apoio e pela grande amizade que temos.

Ao Dr. Pitágoras Augusto Piana, pelas orientações e contribuições ao trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora pela disponibilidade de avaliação e pelas importantes contribuições para este estudo.

A Cooperativa Agroindustrial Consolata – Copacol, pelo apoio financeiro e por mobilizar seus colaboradores para realização deste trabalho.

Ao Sr. Nestor José Braun, Gerente da integração de peixes-Copacol, e ao Sr. Ilson Mahl, Supervisor da assistência técnica-Copacol, por toda ajuda na organização da logística, acesso aos produtores e apoio durante todo levantamento de campo.

A Zootecnista Edirlene Andrea Arnhold, técnica de campo-Copacol, pelo apoio durante as coletas de efluentes.

Ao Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura – GEMAQ da Unioeste/Toledo-PR e todos os seus membros, docentes e discentes, pelo apoio e infraestrutura para realização do projeto de pesquisa.

Ao Instituto Federal do Paraná – Campus Foz do Iguaçu, pela possibilidade de afastamento para dedicação a pesquisa e pela disponibilidade dos equipamentos utilizados nas análises.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas”

Brundtland, 1987.

Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados: caracterização e dinâmica dos nutrientes

RESUMO

A atividade de piscicultura no oeste paranaense é destaque nacional pelo pioneirismo, pela tecnologia utilizada e produtividade. O crescimento da atividade está relacionado aos investimentos da iniciativa privada e das cooperativas da região que, entre outros, implantaram o sistema de integração para piscicultura. A intensificação e o aumento das áreas destinadas a piscicultura podem provocar danos ao meio ambiente quando conduzidas de maneira incorreta, no qual o principal impacto ambiental provocado pela atividade é o aporte de nutrientes e matéria orgânica lançados nos mananciais através dos efluentes gerados pela atividade, tendo como resultado a eutrofização destes ambientes. A piscicultura da região é realizada em viveiros escavados de forma intensiva, com renovação constante da água durante a criação, entretanto, no momento da despesca um volume maior de efluentes é descarregado para o ambiente em curto espaço de tempo. Neste trabalho, foram avaliados os efluentes da despesca da criação intensiva de Tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes tamanhos de viveiros e em diferentes momentos da despesca, com o objetivo de caracterizar este efluente e verificar a carga de nutrientes lançadas ao ambiente. Além disso, também foi avaliada a dinâmica de recuperação do nitrogênio (N) e do fósforo (P) inseridos no ambiente de criação, através do balanço de entrada e saídas dos nutrientes no sistema. A caracterização dos efluentes foi submetida a análise de componentes principais – ACP, para avaliar a correlação existente entre os parâmetros mensurados, com relação aos diferentes tamanhos de viveiros e momentos da despesca. Os resultados indicaram que os Sólidos Suspensos (SS), Sólidos Totais (ST), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fosforo Total (PT) aumentam significativamente durante o processo de despesca, e estão diretamente correlacionados aos demais parâmetros, piorando a qualidade dos efluentes lançados ao ambiente. A dinâmica dos nutrientes no sistema produtivo avaliado mostrou que o peixe reverte em biomassa em relação a matéria seca 33,2% de N e 35,3% de P inseridos nos alimentos e que nos efluentes da despesca são eliminados 2,37 % de N e 2,05 % de P do total inserido no ciclo de produção. O restante dos nutrientes pode ter sido perdido ou transformado durante a criação ou acumulado no sedimento. Embora

a piscicultura da região seja considerada como modelo de produtividade e está consolidada como uma atividade de sucesso e rentabilidade aos produtores, a atividade deve se preocupar com a manutenção da qualidade da água durante o período de criação dos peixes, buscar alternativas para redução do uso da água, promover práticas de reuso e adequar o lançamento dos efluentes às exigências ambientais.

Palavras-chave: Aquicultura, meio-ambiente, nutrientes e eutrofização.

Effluents from intensive fish farms in ponds: characterization and dynamics of nutrients

ABSTRACT

*The activity of fish farming in the west of Paraná is national highlight for pioneering, cutting-edge technology and productivity. The activity growth is related to the investments of the private initiative and of the cooperatives of the region that implemented the integration system for fish farming. The intensification and increase of the areas destined to fish farming can cause damages to the environment when conducted in an incorrect way, in which the main environmental impact caused by the activity is the contribution of nutrients and organic matter released in the springs through the culture effluents, having as eutrophication of these environments. Fish farming in the region is carried out in ponds intensively ways, with constant water renewal during cultivation, however, at the time of the harvest a larger effluent quantity is discharged to the environment in a short time. In this work, the effluents from the intensive Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation were evaluated in different ponds sizes and at different moments of fish harvesting, in order to characterize this effluents and to verify the nutrient load released to the environment. In addition, the recovery dynamics of nitrogen (N) and phosphorus (P) were also evaluated in the culture environment, through the nutrients input and output balance in the system. The effluents characterization was submitted to principal components analysis - PCA, to evaluate the correlation between the parameters measured in relation to the different sizes of nurseries and moments of fish harvesting. The results indicated that Suspended Solids (SS), Total Solids (TS), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Phosphorus (TP) increased significantly during the fish harvesting process, and are directly correlated to the other parameters, worsening the effluents quality released to the environment. The nutrient dynamics in the evaluated productive system showed that the fish reverts in biomass, 33.2% of N and 35.3% of P of the dry matter inserted in the fish food and are eliminated 2,37 % of N and 2,05 % of P in the effluents of the total inserted during cultivation. The rest of the nutrients may have been lost or transformed during cultivation or accumulated in the sediment. Although the region's fish farming is considered as a productivity model and is consolidated as a successful and profitable activity for producers, the activity must be concerned with maintaining the quality of water during the fishes cultive, seeking*

alternatives to reduce water use, improvement to reuse practices and to adequate the effluents discharge to environmental requirements.

Keywords: *Aquaculture, environment, nutrients and eutrophication.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Brasil mostrando a localização dos municípios do oeste do Paraná onde foram coletados os efluentes da piscicultura.	24
Figura 2. Esquema ilustrativo dos diferentes momentos de coleta das amostras de efluente para caracterização.	26
Figura 3. Comportamento dos parâmetros de qualidade dos efluentes para os diferentes tamanhos de viveiros para cada cenário de mensuração.	31
Figura 4. Scores dos componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2) obtidos em relação aos tamanhos dos viveiros (a) e aos cenários de coleta (b).....	35
Figura 5. Médias e intervalos de 95% de confiança para: o primeiro componente principal (PC1) em relação aos tamanhos de viveiros.....	37
Figura 6. Esquema de coleta dos efluentes da despesca, sedimento do fundo dos viveiros e volume (L) em cada cenário de coleta dos efluentes, considerando 1 hectare de lâmina d'água e profundidade média de 1,5 m.	46
Figura 7. Entradas e saídas de NT e PT considerados no balanço de massa.....	47
Figura 8. A) Percentual de NT eliminado através dos efluentes no momento da despesca, com a proporção para cada nível de água nos diferentes tamanhos de viveiros de tamanho. B) Percentual de PT eliminado através dos efluentes no momento da despesca, com a proporção para cada nível de água nos diferentes tamanhos de viveiros.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ranking de colocação dos 10 municípios de maior produção de peixes no estado do Paraná em 2016.	16
Tabela 2. Parâmetros de qualidade dos efluentes dos diferentes tamanhos de viveiro e cenários de coleta durante a despesca de Tilápias de Nilo.	30
Tabela 3. Matriz de correlação entre as variáveis entre si e com os componentes principais gerados na análise de componentes principais.	36
Tabela 4. Estatísticas teste (F e ϵ) e probabilidade associada (p) obtidas nas análises de variâncias de medidas repetidas aplicadas sobre os componentes principais (PC) gerados na análise de componentes principais.	37
Tabela 5. Localização das áreas de estudo.	44
Tabela 6. Caracterização da água de abastecimento.....	49
Tabela 7. Caracterização dos efluentes durante o processo de despesca, nos diferentes tamanhos de viveiros.	52
Tabela 8. Características do sedimento presente no fundo dos diferentes tamanhos de viveiros	53
Tabela 9. Composição centesimal da ração e dos peixes amostrados durante a avaliação dos efluentes.....	54
Tabela 10. Balanço de massa de NT e PT na conversão de biomassa de Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) em viveiros escavados.	55
Tabela 11. Balanço de Massa do Nitrogênio Total e do Fosforo Total para os diferentes tamanhos de viveiros.	57
Tabela 12. Balanço de massa relativo de NT e PT para os diferentes tamanhos de viveiros..	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. CAPÍTULO 1	14
2.1. A piscicultura na região de estudo	14
2.2. A piscicultura e o meio ambiente	17
3. CAPÍTULO 2. Efluentes de despesca de piscicultura em viveiros escavados: uma visão sob a ótica de seus componentes principais.....	21
3.1. Introdução	21
3.2. Materiais e Métodos.....	24
3.2.1. Área de estudo	24
3.2.2. Coleta e análise das amostras de efluentes	24
3.3. Resultados e discussão	27
3.4. Conclusão.....	40
4. CAPÍTULO 3. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo na criação de Tilápias do Nilo em viveiros escavados.	41
4.1. Introdução	41
4.2. Materiais e Métodos.....	43
4.2.1. Área de estudo	43
4.2.2. Coleta e análise das amostras da água de abastecimento e dos efluentes.....	44
4.2.3. Coleta e análise do sedimento do fundo dos viveiros.....	46
4.2.4. Coleta e análise dos peixes e da ração	46
4.2.5. Fluxo do Nitrogênio e do Fósforo durante o ciclo de produção	47
4.2.6. Análises estatísticas	49
4.3. Resultados e discussão	49
4.3.1. Caracterização da água de abastecimento	49
4.3.2. Caracterização dos efluentes no processo de despesca	50
4.3.3. Caracterização do sedimento	53
4.3.4. Caracterização centesimal da ração e peixes ao final da engorda	54
4.3.5. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo no processo da despesca da tilápia	54
4.4. Conclusão.....	61
5. CAPÍTULO 4. Considerações finais.....	63
6. CAPÍTULO 5 - Sugestões para trabalhos futuros.....	66
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura em viveiros escavados é uma atividade relevante dentro do agronegócio, gerando empregos e atraindo investimentos cada vez maiores em vários estados brasileiros. No oeste do Paraná, Brasil, o desenvolvimento da atividade se deu principalmente após a instalação das indústrias de processamento e com a entrada de grandes cooperativas trabalhando o setor na forma de integração, como já é feito com aves e suínos, a piscicultura passou a fazer parte das atividades agropecuárias com importância econômica na região. Como qualquer atividade intensificada, surge a necessidade de monitorar a produção, principalmente com relação aos impactos causados ao meio ambiente pelo uso intensivo dos recursos naturais.

O desempenho da produção está diretamente relacionado ao manejo da qualidade da água, a nutrição e ao manejo alimentar, que estão intrinsicamente relacionados. O manejo alimentar incorreto e as rações que não atendem as exigências dos peixes, causam desequilíbrio na qualidade da água, pois geram acúmulo de matéria orgânica, causando eutrofização, desencadeando falta de oxigênio dissolvido, o aumento de fitoplâncton e desequilíbrio no ciclo dos nutrientes. Estas mudanças na água podem causar prejuízos a criação, tais como, desenvolvimento de doenças causadas pelo estresse ambiental (QUEIROZ e SILVEIRA, 2006).

Os danos ambientais provocados pela aquicultura basicamente são resultantes do aporte de nutrientes e aos sólidos totais, em que o acúmulo de matéria orgânica no fundo dos viveiros causa impactos negativos na qualidade da água e, conseqüentemente, afeta o crescimento e a sobrevivência dos peixes. De acordo com a resolução CONAMA nº357 de 17 de março de 2005, que dentre outros, estabelece quais os limites da qualidade de lançamentos de efluentes em corpos hídricos, pode-se considerar que os impactos gerados pela aquicultura são menores comparados aos efluentes domésticos e industriais ou outros agropecuários (BRASIL, 2005). No entanto a concentração de produtores em uma mesma bacia hidrográfica e a intensificação da produção pode causar impactos acumulativos no ambiente.

Em junho de 2016, o Instituto das Águas do Paraná divulgou um relatório de projeções de cargas domésticas, industriais e agropecuárias para a Bacia do Paraná 3 – BP3, onde enquadra-se a região oeste do Paraná e neste relatório para calcular a carga de poluição da piscicultura foi utilizado como base os dados de produtividade do município de Toledo e extrapolado para os demais municípios da BP3. Com base nos dados apresentados no relatório a piscicultura aparece como a principal fonte da carga de fósforo no ambiente, um dos nutrientes causadores da eutrofização, e com relação ao aporte de matéria orgânica, o grande responsável foi o efluente doméstico (PADE BP3, 2016).

Cyrino et al. (2010), cita que qualquer atividade de aquicultura causa impacto no ambiente, indicando a importância do uso de estratégias de produção planejadas principalmente com relação aos efluentes gerados. No entanto, somente identificar um cenário preocupante com relação ao meio ambiente não é suficiente sendo necessário uma ação conjunta de todos envolvidos neste setor.

Neste sentido, destaca-se a importância da criação do programa Oeste em Desenvolvimento, formado por várias câmaras técnicas e dentre elas a câmara técnica da piscicultura, envolvendo produtores, pesquisadores, indústria, cooperativas e órgãos públicos, que dentre outros assuntos abordados, tem-se discutido intensamente o problema da qualidade da água na criação de peixes e seu impacto no meio ambiente.

O sistema produtivo adotado nas pisciculturas influencia diretamente a qualidade dos efluentes, devido as variações das densidades de estocagem e necessidade de uso de ração. No oeste do Paraná, o sistema de produção utilizado para viveiros escavados é intensivo, com taxas de renovação constante, no qual, o lançamento de efluentes ocorre constantemente. Entretanto, é no momento da drenagem do viveiro para despesca ou manutenção, que grandes volumes de efluentes da piscicultura são lançados nas águas superficiais locais em curto espaço de tempo (SHIFFLETT et al., 2016).

Como medida preventiva, os piscicultores estão se adequando as exigências da Resolução Conjunta nº 002/08 IBAMA/SEMA/IAP que determina a implantação de medidas preventivas que garantam a boa qualidade das águas do corpo receptor, sendo uma das alternativas a implantação de lagoas de decantação no final do sistema de produção.

Apesar das pisciculturas estarem trabalhando no sistema intensivo, não existe uma padronização de densidade da criação, formulação de ração e manejos empregados nas propriedades. Esta falta de padronização da produção altera os parâmetros de qualidade dos efluentes para cada produtor, não sendo possível prever qual o impacto destes efluentes quando lançados no meio ambiente. A implantação do sistema de integração na piscicultura promovido pelas cooperativas faz com que os produtores integrados sigam normas e padrões de produção, desta forma é possível caracterizar os efluentes da despesca nestes produtores para avaliar em que condições estão sendo lançados no ambiente.

Em face ao contexto da atual situação da piscicultura na região oeste do Paraná, este estudo teve como objetivo principal caracterizar os efluentes do processo de despesca em viveiros escavados de criação intensiva de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um sistema integrado de produção. Com os resultados da caracterização foi identificado através da análise de componentes principais quais os parâmetros apresentaram maior relevância e influência

sobre os demais, se a área do viveiro teve influência sobre as características dos efluentes gerados durante o processo da despesca, foi caracterizado o efluente da despesca em momentos diferentes durante o processo, caracterizado a ração, os peixes e o sedimento, quantificado a taxa de conversão do nitrogênio e do fósforo fornecidos através da ração em biomassa de peixes retirados na despesca e verificado qual é a dinâmica do nitrogênio e do fósforo para este sistema de produção.

A tese está apresentada em forma de capítulos, em que o capítulo 1 faz uma breve descrição da atual situação da piscicultura no oeste do Paraná e quais os principais problemas ambientais provocados pela atividade. No capítulo 2 é apresentado o artigo referente a caracterização dos efluentes produzidos durante o processo de despesca, avaliados em três diferentes tamanhos de viveiro e quatro cenários de coleta. As informações coletadas foram submetidas a análise de componentes principais, visando avaliar o grau de correlação entre os parâmetros avaliados durante o processo de despesca. Este artigo foi publicado com o título *Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Componentes*, na revista *Sustainability*, 2018,10, 3; doi:10.3390/su10010003.

A dinâmica de entrada e saída dos nutrientes no sistema de produção em função do processo de despesca é apresentada no capítulo 3. Neste artigo foram avaliadas as formas de aporte de nutrientes, a conversão destes nutrientes em biomassa de peixes, a eliminação de nutrientes através dos efluentes da despesca e o acúmulo de nutrientes nos sedimentos produzidos durante a criação dos peixes. As avaliações foram realizadas em função do tamanho dos viveiros e do momento da despesca considerando o mesmo padrão de produção para todos os produtores.

Para finalizar no capítulo 4 são apresentadas as considerações referentes aos achados e as sugestões que podem ser levadas em consideração para minimizar os possíveis impactos ambientais causados pela atividade e no capítulo 5 estão algumas sugestões de estudos futuros que podem contribuir cientificamente para o desenvolvimento sustentável da atividade.

2. CAPÍTULO 1

2.1. *A piscicultura na região de estudo*

A produção mundial da aquicultura foi da ordem de 73.8 milhões de toneladas em 2014, sendo que a criação de peixes aumentou 5.8% ao ano entre 2005-2014, com a criação de peixes em viveiros escavados representando 65% deste crescimento, o maior produtor mundial é a China, com 58,8 milhões de toneladas em 2014, o Brasil ocupa a 14^o posição com uma produção de 562,5 mil toneladas (FAO, 2016).

A atividade de aquicultura é subdividida em várias áreas, de acordo com a espécie produzida. Dentro da grande área da aquicultura, a piscicultura é descrita como atividade de criação de peixes em tanques-rede ou escavados, podendo ser peixes de água doce ou marinhos. A região oeste do Paraná, Brasil, foi pioneira na criação de peixes em viveiros escavados, nos anos 80 já se cultivavam carpas sem vínculo comercial e em meados dos anos 90, após difusão do processo de masculinização de tilápias, a atividade de piscicultura passou a ser uma fonte de renda nas pequenas propriedades rurais (BOSCOLO e FEIDEN, 2007).

O estado do Paraná também foi pioneiro na criação de tilápias no Brasil, e os alevinos produzidos no estado abastecem outros polos de produção (BRUN e AUGUSTO, 2015). Os primeiros frigoríficos foram construídos nos municípios de Toledo e Assis Chateaubriand para o abate e industrialização de tilápias, fazendo que em 2002 o estado se tornasse o maior produtor de peixes do país com 12,8 mil toneladas/ano (KUBITZA, 2003).

É característica do oeste paranaense a criação de tilápias em viveiros escavados, e o custo de produção é considerado o menor do país (BRUN e AUGUSTO, 2015). Atualmente, a produção é realizada com uso de aeradores, renovação diária de água, alimentação balanceada, alimentadores mecanizados e em alguns locais a despesca já é mecanizada. A maioria dos produtores já consideram a atividade da piscicultura como uma importante fonte de renda dentro da propriedade e é comum encontrar áreas com mais de 5 hectares destinados a produção de peixes.

Em 2014, a industrialização de tilápias no oeste paranaense realizada por 17 estabelecimentos que apresentavam algum tipo de inspeção sanitária correspondia a 112 toneladas de peixes/dia (CHIDICHIMA, 2014). Dentre estas indústrias, existem empresas que trabalham de forma cooperativa, como é o exemplo da Cooperativa Agroindustrial Consolata - Copacol que iniciou as atividades com a piscicultura integrada em 2008 e proporcionou um

incremento na produção da região, devido principalmente a garantia de compra do peixe produzido.

A Cooperativa Copacol, com experiência no setor avícola, aplicou os conhecimentos do sistema de produção vertical integrado utilizado com as aves e implantou o sistema para processar o pescado que até o momento era produzido artesanalmente pelos seus cooperados (SCHULTER e VIEIRA FILHO, 2017). No processo de verticalização integrada da produção, a cooperativa fornece aos cooperados os alevinos com procedência genética, a ração e a assistência técnica, em contrapartida o produtor entrega toda produção a Copacol, sem custos de transporte (BRUN e AUGUSTO, 2015).

O modelo de integração proporciona maior homogeneidade nos processos produtivos de genética, alimentação e manejo, favorecendo a padronização e recebimento do produto, além, de facilitar a organização da cadeia produtiva (SIDONIO et al., 2012). Este processo possibilita ao produtor a garantia da venda do produto e a empresa o fornecimento constante da matéria prima.

A produção da piscicultura no oeste do Paraná atualmente está concentrada em 48 municípios pertencentes a região de Toledo e Cascavel e, em 2015 produziu 55.598 toneladas de peixe, sendo 96% de tilápias e representando 69% da produção total do estado (BROL e MOLINARI, 2017). Alguns municípios da região merecem destaque na produção de peixes, como por exemplo, Nova Aurora, Maripá e Assis Chateaubriand que são os maiores produtores do estado (Tabela 1).

Em 2017 outra cooperativa de grande porte a C.Vale – Cooperativa Agroindustrial inaugurou um frigorífico com capacidade inicial de abate de 75 mil peixes/dia, a Copacol pretende atingir a marca de 120 mil peixes/dia em 2018. Se o peso médio de abate for 0,8 kg somente estas duas unidades terão capacidade de absorver 156 toneladas de tilápia por dia em 2018 (dados não publicados, previsões das cooperativas). Comparando com 2014, quando 17 estabelecimentos tinham capacidade de 112 ton/dia, o volume a ser abatido diariamente pelas duas cooperativas em 2018 será 39% superior se as metas propostas forem atingidas.

Tabela 1. Ranking de colocação dos 10 municípios de maior produção de peixes no estado do Paraná em 2016.

Colocação	Município	Região	Produção (kg)
1°	Nova Aurora	Oeste	8.670.979
2°	Maripá	Oeste	7.220.000
3°	Assis Chateaubriand	Oeste	7.000.000
4°	Toledo	Oeste	6.600.000
5°	Palotina	Oeste	6.500.000
6°	Nova Santa Rosa	Oeste	5.000.000
7°	Alvorado do Sul	Norte	3.653.250
8°	Cafelândia	Oeste	2.806.000
9°	Terra Roxa	Oeste	2.700.000
10°	Marechal Candido Rondon	Oeste	1.850.000

Fonte: Programa de Desenvolvimento Econômico do Território Oeste do Paraná. (Observatório Territorial, 2018).

Maripá é destaque em produtividade, segundo informações da Emater do município, em 2016 a média dos produtores do município foi de 5,42 kg/m². Dos 10 municípios considerados os maiores produtores de peixes no estado, 9 estão localizados na região oeste e representam 57% da produção. A produção do oeste paranaense é responsável por 73% da produção de tilápias do estado.

A expansão da piscicultura em viveiros escavados na região de estudo tem sido constante desde 2002 quando os primeiros frigoríficos foram instalados na região. O maior centro de produção e industrialização está no oeste paranaense, sendo as cooperativas responsáveis por mais da metade da produção e industrialização do pescado produzido (FEIDEN et al., 2011).

Em fevereiro de 2018, a Associação Brasileira de Piscicultura (PeixeBR, 2018) lançou o Anuário PeixeBR da Piscicultura 2018, e segundo este documento em 2017 o Paraná produziu 112.000 toneladas de peixes, sendo 94% tilápias, correspondendo a 16,2% da produção do país. De acordo com a PeixeBR, em 2017, o Brasil foi considerado o 4° maior produtor de tilápias do mundo, com uma produção de 357.639 toneladas, ficando atrás da China, Indonésia e Egito. (<http://www.aquaculturebrasil.com/2018/02/19/peixe-br-lanca-o-anuario-da-piscicultura-2018/>. Disponível em: 02/03/2018).

A crescente evolução da cadeia produtiva, se deve ao aumento da demanda no consumo de peixes, especificamente da tilápia, demandando maior área de lâmina d'água destinada a produção e intensificação das criações. Estes fatores provocam efeitos positivos na economia regional, movimentando todos os elos da cadeia produtiva. Um destes efeitos são cooperativas agrícolas de soja e milho, com experiência em sistemas de produção integrada de aves e suínos investirem na cadeia do peixe.

O grande desafio da humanidade será a produção de alimentos para uma população estimada em 9 bilhões de pessoas em 2050 e diante disso os membros da ONU adotaram em 2015 a chamada Agenda 2030, com compromisso com a sustentabilidade e segurança alimentar envolvendo também a pesca e a aquicultura (FAO, 2016). Neste sentido a piscicultura em viveiros escavados é uma alternativa para produção de alimentos, desde que seja conduzida de forma sustentável. Assim como o oeste do Paraná, outros estados brasileiros, tem condições para se transformarem em polos de produção de peixes de água doce, podendo usar as experiências positivas deste estado como exemplo.

2.2. *A piscicultura e o meio ambiente*

O desenvolvimento da piscicultura está diretamente relacionado a sustentabilidade, devido aos riscos eminentes da crise hídrica. Sabe-se que a pressão sobre os recursos hídricos não está apenas relacionada a quantidade necessária para atender o consumo humano, mas também para atender as atividades industriais e agrícolas que são indispensáveis para população, sendo as atividades agrícolas responsáveis pelo consumo de cerca de 70% da água disponível em nosso planeta (TUNDISI, 2008).

Dentro das atividades agrícolas, a aquicultura é mais uma que necessita indispensavelmente de água com qualidade e quantidade suficiente, que dependendo do sistema de criação pode exigir grande volume desse recurso natural, além disso, podem degradar a qualidade prejudicando o ambiente (TIAGO e GIANESELLA, 2003; CASTELLANI e BARRELLA 2006).

As atividades do entorno da piscicultura também podem provocar alterações na qualidade da água, tais como atividades domésticas, industriais e a agricultura que é muito comum na região (BEVERIDGE et al.1997; ELER e MILLANI, 2007). Além dessas atividades, também devem ser avaliadas a presença de várias pisciculturas em uma mesma região, que lançam seus efluentes em um mesmo corpo receptor colaborando para degradação do mesmo.

De acordo com Jennings et al., (2016) e Hixson (2014), os impactos da aquicultura variam conforme o sistema de produção, dessa forma, as criações de peixes são gerenciadas a nível de propriedade e os problemas relacionados a sustentabilidade da produção, como a qualidade da água, doenças e manejo alimentar são controlados. Portanto, a formulação da alimentação, o manejo alimentar e a conversão alimentar têm influência direta sobre o impacto ambiental e a sustentabilidade da aquicultura.

Em estudo realizado por Santos et al., (2011), ao avaliarem diferentes entradas de água em uma criação de peixes observaram piora na qualidade dos efluentes da piscicultura quando comparados com a água de abastecimento. Entretanto, ressaltam que qualquer atividade produtiva causa algum tipo de impacto e é importante buscar alternativas que minimizem as alterações.

Os alimentos não consumidos e as fezes dos peixes são os principais resíduos gerados pela piscicultura intensiva que deterioram o efluente (CYRINO et al., 2010). É consenso no meio acadêmico que o principal impacto causado pela atividade de piscicultura é a eutrofização causada pelo excesso de incorporação de nutrientes, nitrogênio e fósforo no meio aquático, ou pelo excesso de matéria orgânica (GREEN et al., 2002; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008; MACEDO e SIPAÚBA-TEVARES, 2010 e EDWARDS, 2015).

As pisciculturas semi-intensivas e intensivas são mais eutrofizadas e, conseqüentemente, mais impactantes (CASTELLANI e BARRELLA, 2006). Economicamente pisciculturas com baixas densidades de estocagem não são viáveis e é pouco comum encontrar a atividade sendo realizada de forma extensiva no oeste do Paraná. A evolução das tecnologias para aumento da produção de peixes em viveiros escavados já foi descrita por Boyd e Chinark (2009), sendo necessária a fertilização dos viveiros para aumento do alimento natural, o uso de rações balanceadas e aeração mecânica para manter o nível do oxigênio dissolvido.

Pisciculturas com baixa intensidade de estocagem causam pouco ou nenhum impacto, entretanto, com a intensificação uma carga maior de resíduos é lançada ao ambiente (BOYD et al., 2007) e geralmente as pisciculturas não tem sistemas de tratamento dos efluentes antes do lançamento (BOYD et al., 2007; SANTOS et al., 2011). Dentre as opções de tratamento ou uso dos efluentes da piscicultura estão a irrigação de culturas (TRIEU e LU, 2014; SHIFFLETT et al., 2016), uso de lagoas de decantação, diminuição das trocas de água (TUCKER et al., 2008) e ainda a aplicação das práticas de reuso (SANTOS et al., 2011).

No Brasil as limitações quanto ao lançamento dos efluentes da piscicultura ou outras atividades agrícolas ou industriais são normatizadas pela resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), que 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 e pela resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 (BRAISL, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, alterando algumas diretrizes descritas na resolução CONAMA n°357.

Pela resolução CONAMA n°357, no que se refere a classificação das águas doces no artigo 4° as águas de “Classe 2” são destinadas a aquicultura e atividades de pesca e quanto aos padrões de qualidade destas águas, dentre os parâmetros que estão descritos e que tem relação direta com a atividade da piscicultura destacamos os seguintes: Oxigênio dissolvido não ser inferior a 5 mg/L; DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O₂; Clorofila “a” até 30 µg/L; Fósforo total, até 0,030 mg/L em ambientes lênticos e até 0,050 mg/L em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 a 40 dias e tributários diretos de ambientes lênticos e pH entre 6,0 – 9,0. Assim, espera-se que as fontes de água classificadas como “classe 2” quando utilizadas para atividades de aquicultura apresentem estas características.

Em relação aos padrões de lançamentos de efluentes, a resolução CONAMA n°430 determina que, “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências...” e que a capacidade de suporte de um determinado corpo receptor é definida como: “valor máximo de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento”. Desta maneira, fica claro que as condições de lançamento do efluente devem seguir as características dos padrões de qualidade de acordo com a classificação das águas quanto ao seu uso.

A piscicultura do oeste do Paraná tem como característica a utilização de taxas de renovação diárias, que dependendo da necessidade e quantidade de água disponível varia de 1 a 10%. A renovação é uma prática comum utilizada para manter a qualidade da água durante o período de criação. Esta prática, inevitavelmente, libera continuamente nutrientes para o ambiente. O fósforo e o nitrogênio acumulado dentro dos viveiros provocam o crescimento excessivo do fitoplâncton que entre outros problemas causa a diminuição do oxigênio dissolvido nos viveiros, principalmente no período noturno (ELER e MILLANI, 2007).

A maior parte dos nutrientes lançados ao meio ambiente vem da alimentação fornecida aos peixes e está diretamente relacionada a qualidade dos ingredientes e do processamento deste alimento. A maior parte do alimento que é fornecido aos peixes é consumida, parte do alimento consumido não é absorvido e é transformado em fezes e parte é perdida ou não consumida pelos peixes.

Os estudos relacionados a poluição causada pela aquicultura, geralmente se remetem a visão geral durante todo o processo de criação, relacionando a carga poluidora com o aporte de nutrientes fornecidos ao meio de cultura através de fertilização das águas, a carga presente na água de abastecimento e a alimentação, sendo a última a responsável pela incorporação da maior carga poluidora (OSTI et al., 2016).

Estudos que relacionam o tamanho dos viveiros com a qualidade dos efluentes não foram encontrados. Com relação a construção dos viveiros estudos avaliam o aumento da velocidade e do fluxo de água em criações de trutas para eliminação de metabólitos gerados (WATTEN et al., 2000), diferentes configurações de entrada de água para evitar a formação de áreas mortas, prevenindo o acúmulo de sedimentos (OCA et al., 2004), relação comprimento e largura em tanques retangulares com descarga central (OCA e MASALÓ, 2007), efeitos da hidrodinâmica da água em tanques circulares e retangulares sobre a distribuição dos peixes nos tanques (DUARTE et al., 2011), estudos significativamente importantes, principalmente porque tem relação direta com o acúmulo de sedimentos no fundo dos viveiros, mas os estudos não tratam os efeitos sobre as características dos efluentes produzidos.

3. CAPÍTULO 2. Efluentes de despesca de piscicultura em viveiros escavados: uma visão sob a ótica de seus componentes principais

Artigo publicado na revista *Sustainability*, 2018, 10, 3; doi:10.3390/su10010003 (Anexo 1)

Resumo: A piscicultura em viveiros escavados é intensamente praticada e mundialmente, a aquicultura tem maior crescimento que outras atividades de produção de proteína animal. No entanto, com a maior produtividade vem a preocupação com o acréscimo da geração de efluentes, principalmente no momento da despesca, que libera para o ambiente altas cargas de matéria orgânica e nutrientes. Assim, neste trabalho foi avaliada, através da análise de componentes principais (ACP), a qualidade de efluentes de diferentes tamanhos de viveiros e em quatro cenários de coleta durante o processo de despesca da criação intensiva de tilápia do Nilo, em várias propriedades da região oeste do estado do Paraná, Brasil. Para cada amostra de efluente coletada, vinte parâmetros físico-químicos foram analisados utilizando métodos padrão de análises de efluentes. Os resultados indicaram que no momento final da despesca, as concentrações de Sólidos Suspensos (SS), Sólidos Totais (ST), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fósforo Total (PT) se elevam significativamente causando deterioração progressiva no efluente lançado ao ambiente. Desta forma, medidas mitigadoras de manejo das águas durante a criação dos peixes e dos resíduos gerados no momento da despesca tornam-se indispensável para manter a legalidade, a rentabilidade e a sustentabilidade desse setor.

Palavras-chave: Aquicultura, sustentabilidade ambiental, tilápia do Nilo, ACP

3.1. Introdução

A carne de peixe é uma excelente fonte de aminoácidos, vitaminas e minerais de alta qualidade e seu consumo traz inúmeros benefícios a saúde humana (De OLIVEIRA SARTORI e AMANCIO, 2012), sendo recomendado o consumo de 12 quilos per capita por ano (WHO, 2007). A produção mundial de peixes pela aquicultura é da ordem de 100 milhões ton/ano, na qual o Brasil ocupa a 14^o posição com produção de aproximadamente 563 mil ton/ano, sendo 84% desta produção oriunda de águas interiores. Além disto, as projeções de aumento de produção são promissoras, estando previsto de 2015-2025 um incremento de 104,4% na

produção e de 32,3% no consumo per capita (FAO, 2016). Este crescimento no Brasil se deve principalmente aos grandes investimentos que o setor tem recebido de empresas privadas e cooperativas, com foco nos peixes redondos na região norte do país e na tilápia (*Oreochromis niloticus*) no centro-sul.

De maneira geral, a criação de peixes é uma atividade agropecuária com importância econômica e acontece de forma intensiva, em que a característica de produção consiste no uso diário de rações e altas densidades de estocagem, o que conseqüentemente, promove um acréscimo de nitrogênio e fósforo na água em função da excreção dos peixes e das possíveis sobras de alimento. Assim, os impactos provocados no ambiente, referem-se principalmente ao lançamento de efluentes ricos em nutrientes que ocorrem durante o período de criação devido as taxas de renovação de água e no momento da despesca, que de acordo com Cyrino et al., (2010), são mínimos quando comparados a efluentes domésticos e industriais.

No entanto, levanta-se a preocupação com a capacidade poluidora da atividade, pois os nutrientes liberados através dos efluentes das criações podem contribuir junto com outras formas pontuais ou difusas de poluição para a eutrofização de corpos receptores. As fontes pontuais de poluição se caracterizam por drenos ou descargas industriais ou de estações de tratamento de esgotos, enquanto que, fontes difusas referem-se a escoamentos superficiais trazidos por chuvas (KIEDRZYNSKA et al., 2014; PALÁCIO et al., 2016).

Omofunmi et al. (2016), estudaram os impactos causados pelo lançamento de efluentes gerados na criação de catfish (*Clarias gariepinus*) em um rio no sudoeste da Nigéria, avaliando a qualidade da água do rio do ponto de vista físico, químico, biológico e estético. Os autores constataram que a interferência do efluente do catfish sobre a qualidade do rio está relacionada com os métodos de drenagem, volume de água drenada na despesca, concentração de matéria orgânica e nutrientes.

Na região oeste do Paraná, Brasil, durante a criação de peixes é realizada troca constante de água que varia de 1% ao dia no início da criação a cerca de 10% do volume de água na fase final do processo de engorda. Para a despesca dos indivíduos criados é realizada a drenagem de água total dos viveiros, sendo os efluentes, acumulados durante a criação, lançados ao corpo receptor em grandes volumes e curto espaço de tempo. Vários estudos são realizados com relação à qualidade de água e tratamentos dos efluentes durante a criação (PORRELLO et al., 2003; ABD-ELRAHMAN et al., 2011; CRAB et al., 2012; ABDEL-TAWWAB et al., 2015 e XU e BOYD, 2016), entretanto, para os efluentes no momento da despesca a caracterização deve ser avaliada de acordo com o sistema de criação utilizado.

De acordo com informações coletadas nas 24 unidades de processamento de pescado do oeste paranaense, são abatidas 180 ton/dia de tilápias criadas em viveiros escavados com uma produção média de 45 ton/ha/ciclo. Durante a criação é utilizada ração balanceada como fonte de alimento, renovação de água e aeração mecânica para suplementação do oxigênio dissolvido, sendo que o ciclo de produção dura em média 200 dias. Considerando esta produtividade são necessários aproximadamente 1000 ha de lâmina d'água para atender a demanda dos frigoríficos instalados na região.

A atividade da piscicultura como fonte econômica de renda se destacou no Paraná a partir de 1990, quando muitos viveiros escavados foram construídos sem a preocupação com aspectos técnicos, tamanho e formato. Do ponto de vista técnico, o grande desafio é uso sustentável dos recursos garantindo um ambiente de qualidade para os animais com o consumo mínimo de recursos (DUARTE et al., 2011).

Comumente, a criação de peixes é realizada em viveiros retangulares ou redondos. Em tanques retangulares, o fluxo da água depende das características de entrada de água e da geometria do tanque, sendo comum a formação de áreas mortas, sem circulação, o que interfere na distribuição dos peixes e, conseqüentemente, no comportamento e desempenho dos mesmos (ROSS et al., 1995). Em escala experimental, sabe-se que tanto a forma e fluxo (DUARTE et al., 2011), a proporção entre largura e comprimento (OCA e MASALÓ 2007), os posicionamentos e quantidades de entrada e saída de água nos viveiros (OCA, et al., 2004), entre outras, interferem na qualidade da água durante a criação dos peixes. Porém, em escala real de produção, pouco se conhece sobre a influência das características morfológicas dos viveiros sobre a qualidade da água.

Desta forma, o objetivo desta etapa da pesquisa foi caracterizar os efluentes de unidades de piscicultura em viveiros escavados de diferentes tamanhos durante o processo de despesca. Especificamente, foi aplicada a análise de componentes principais – ACP sobre os parâmetros que caracterizam a qualidade do efluente para inferir, de forma integrada, sobre as influências dos distintos momentos associados ao processo da despesca de viveiros considerados pequenos, médios e grandes.

3.2. *Materiais e Métodos*

3.2.1. Área de estudo

As coletas foram realizadas na região Oeste do Estado do Paraná, Brasil, considerada um polo de produção intensiva de tilápias do Nilo em viveiros escavados. O período de amostragem foi de junho a outubro de 2016, em nove áreas pertencentes a um sistema integrado de produção, localizadas nos municípios de Tupãssi, Nova Aurora, Cafelândia e Ubiratã (Figura 1), onde foram avaliados doze viveiros escavados.

Por se tratar de um sistema integrado de produção, o manejo alimentar e as taxas de renovação de água eram padronizados, independentemente do tamanho dos viveiros. A água de abastecimento era proveniente de escoamento subsuperficial, com valores incipientes dos compostos avaliados no efluente produzido pela piscicultura.

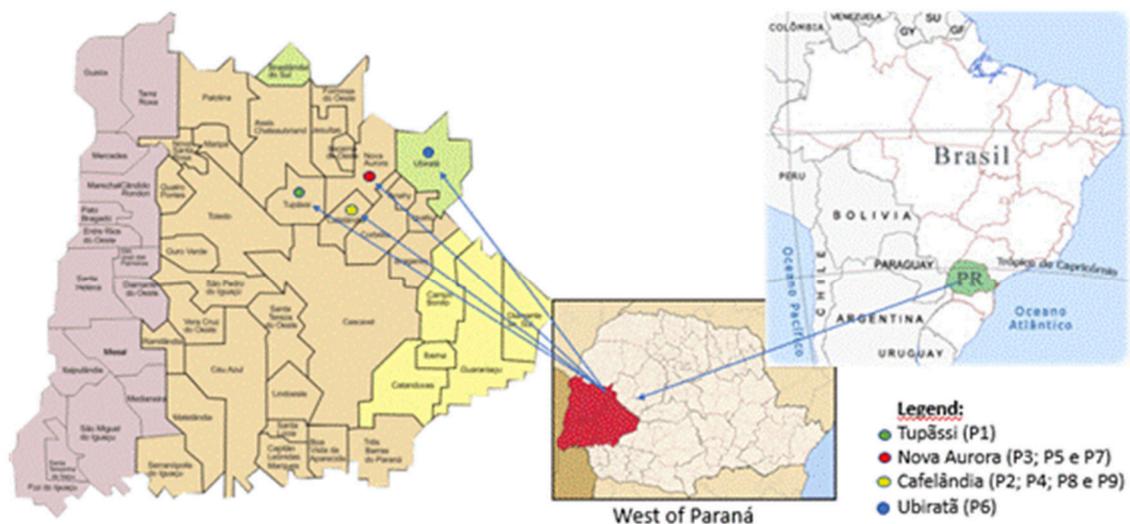


Figura 1. Mapa do Brasil mostrando a localização dos municípios do oeste do Paraná onde foram coletados os efluentes da piscicultura.

3.2.2. Coleta e análise das amostras de efluentes

Foram consideradas unidades amostrais os viveiros de criação, divididos em três classes de tamanho com 4 repetições cada, sendo a classe I, viveiros com área de até 3.000 m² (P); classe II, viveiros com área de 3.001 a 7.000 m² (M) e classe III, viveiros com área superior a 7.000 m² (G). As classes de tamanhos foram definidas para avaliar se o tamanho do viveiro interfere no comportamento da qualidade dos efluentes gerados pela piscicultura. Em todas as

classes de tamanho dos viveiros a densidade de estocagem utilizada foi de 5 peixes/m² com peso médio final de 0,9 kg, totalizando 45 ton/ha/ciclo, com duração de 200 dias.

As amostras dos efluentes foram coletadas durante o processo de despesca, definidos como “cenários” dentro de um mesmo viveiro de coleta, sendo assim considerados como medidas repetidas dentro de um mesmo local. Os cenários foram caracterizados como: C1: Cheio; C2: Meio; C3: Rede e C4: Final (Figura 2). O termo denominado “Cheio” foi o momento inicial da despesca, antes de qualquer intervenção ou coleta da água onde o peixe estava sendo criado antes do início da drenagem do viveiro; “Meio” foi o momento no qual aproximadamente 60% da água do viveiro estava drenada, porém sem nenhuma intervenção no ambiente; “Rede” correspondeu a coleta do efluente no viveiro após a realização do primeiro arrasto com a rede de despesca para captura do peixe, no qual possivelmente ocorreu o revolvimento do fundo do viveiro, suspensão de matéria orgânica e alteração na composição físico-química da água pela atividade da despesca; e o “Final” correspondeu ao momento final da drenagem do viveiro, sendo realizada uma amostragem quando restava aproximadamente 5% do efluente no viveiro.

Para caracterização dos efluentes foram realizadas em laboratório as seguintes análises físico-químicas: Alcalinidade (CaCO₃) mg/L, DQO mg/L, DBO mg/L, Dureza total (DT) mg/L CaCO₃, Fósforo Total (PT) mg/L, Nitrito (NO₂) mg/L, Nitrato (NO₃⁻) mg/L, Nitrogênio Amoniacal (NH₃) mg/L, Nitrogênio Kjeldhal (NT) mg/L, Orto Fosfato Solúvel (PO₄) mg/L, Sólidos Sedimentáveis (SSE) ml/L, Sólidos Suspensos (SS) mg/L e Sólidos Totais (ST) mg/L. As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2005).

Simultaneamente as coletas de água, foram mensurados *in situ* o Oxigênio Dissolvido (OD) mg/L, Oxigênio Dissolvido em porcentagem de saturação (OD%), pH, Condutividade Elétrica (CE) µ.S/cm, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) mg/L e Temperatura (°C) da água e do ar, todos com aparelhos portáteis da marca/modelo YSI Pro20, YSI F-1010PH e YSI F-1030A, respectivamente.

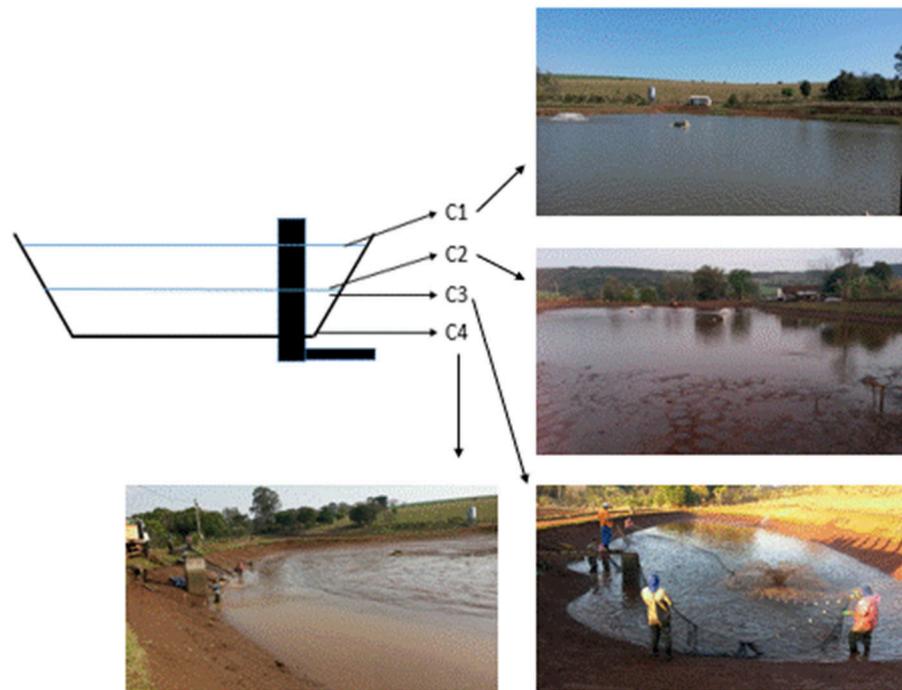


Figura 2. Esquema ilustrativo dos diferentes momentos de coleta das amostras de efluente para caracterização. Sendo que: C1: Cheio; C2: Meio; C3: Rede e C4: Final.

3.2.3. Análises dos dados

Inicialmente as características físico-químicas obtidas das mensurações realizadas sobre os efluentes da criação nos viveiros escavados de piscicultura foram submetidas à análise exploratória descritiva, computando suas médias e variabilidades, bem como as dispersões de frequência e correlações bivariadas. A partir desta análise, o grupo de variáveis foi transformado em raiz quadrada para melhor se aproximar à distribuição normal, reduzindo a influência de poucas observações demasiadamente elevadas. Devido ao elevado grau de correlações lineares bivariadas observadas, optou-se por avaliar tais características de forma integrada, através do emprego da técnica de extração dos componentes de maior variabilidade, conhecida como Análise de Componentes Principais (ACP).

A ACP foi desenvolvida por Pearson em 1901 para sumarizar grupos de variáveis linearmente correlacionadas, e possui a característica de expressar grande parte da variabilidade total contida nos dados em poucos componentes gerados a partir de combinações lineares das variáveis de entrada (BORCARD et al., 2011). Estes componentes, chamados de componentes principais (PC), são variáveis sintéticas, que representam o gradiente de covariação para o conjunto das variáveis que a eles estão correlacionadas.

Desta forma, esses componentes foram gerados e correlacionados às variáveis que os geraram (correlação de Pearson) visando identificar o grupo de variáveis que eles representam e então, tais componentes foram avaliados em relação ao tamanho dos viveiros e aos cenários de amostragens por meio de análise de variância de medidas repetidas – rmAnova. A rmAnova é a técnica adequada para avaliar informações obtidas na forma de repetidas observações sobre uma mesma unidade amostral (QUINN e MICHAEL, 2002), como foi o caso das mensurações realizadas nos distintos cenários. No entanto, a rmAnova necessita do pressuposto de esfericidade, ou seja, que a estrutura de correlação entre as diversas medidas repetidas seja homogênea para que os testes sejam válidos. Desta forma, foi utilizado o teste de Mauchly para esfericidade e no caso de não homogeneidade, realizamos e interpretamos os procedimentos corretivos de Greenhouse-Geisser (GG) e Huynh-Feldt (HF). No caso de efeitos significativos ($p < 0.05$), o teste de comparação de médias de Tukey foi realizado, considerando 5% de nível de significância. As análises foram realizadas com auxílio do software Statistic versão 7.1 (STATSOFT, 2005).

3.3. Resultados e discussão

Durante o processo de despesca observou-se alteração no comportamento dos parâmetros de qualidade dos efluentes conforme observado na Tabela 2. A despesca de viveiros escavados é realizada através da drenagem total da água utilizada na criação e neste momento toda água é lançada para o ambiente. Durante o tempo de criação dos peixes, a água é renovada constantemente em taxas que variam de 1 a 10% ao dia, com taxas menores no início e maiores no final da engorda. Os peixes são alimentados até três vezes por dia com ração balanceada com teor de proteína bruta de 32 %, as sobras da ração e as fezes dos peixes se acumulam no fundo dos viveiros ao longo dos 200 dias de criação. As fezes e as sobras de ração refletem as concentrações de DQO, PT e NT observados em C1 e um aumento nos cenários C2, C3 e C4, independentemente do tamanho dos viveiros (Figura 3 A, E e G).

O parâmetro DQO tem relação com a DBO (chamada de relação DQO/DBO, a qual pode ser encontrada pela razão dos resultados da DQO pela DBO) e avalia o grau de degradabilidade do efluente. Quando esta relação é $< 3,5$ a fração biodegradável é elevada e $> 3,5$ a fração inerte é predominante (VON SPERLING, 2014). Portanto, quanto maior for a fração biodegradável, mais fácil é a decomposição biológica, no entanto, quando a fração inerte é elevada, torna-se necessário o tratamento físico-químico do efluente para redução da DBO e DQO para lançamento. Sabe-se também que a degradação biológica da matéria orgânica pelas

bactérias decompositoras depende de vários fatores, entre eles, da temperatura, de oxigênio dissolvido disponível no fundo dos viveiros, pH e da alcalinidade, que é necessária para sobrevivência das bactérias.

Assim, pode-se observar que no cenário C1, independente dos diferentes tamanhos de viveiros, a relação DQO/DBO foi $< 3,0$, na qual indica que a matéria orgânica presente na água utilizada para criação dos peixes é biodegradável, podendo ser facilmente degradada por bactérias decompositoras (VON SPERLING, 2014). Entretanto, conforme o processo de despesca foi ocorrendo, do cenário C1 para C4 a relação DQO/DBO aumentou, indicando que no final do processo, a fração de matéria orgânica torna-se menos biodegradável, dificultando a sua decomposição biológica. Resultados da Tabela 2 também indicaram que os viveiros menores têm maior relação DQO/DBO quando comparados aos médios e grandes.

Ainda em relação à DBO, resultados do cenário C1 (Tabela 2) são considerados como a água final do processo de criação, variando de 6,98; 27,03 e 23,9 mg/L para os viveiros pequenos, médios e grandes respectivamente para uma densidade de 5 peixes/m² e peso final de 900 g para mesma espécie. Boyd e Gautier (2000), Boyd (2003) e Boyd (2006), relatam que as restrições impostas por diretrizes que regulamentam a qualidade de água para o caso da DBO podem ser de 30mg/L ou menores, dependendo do órgão fiscalizador e que podem estar restritas a limites máximos de lançamento impostos ao corpo receptor. Frimpong et al., (2014) encontraram resultados de DBO de até 12,61 mg/L utilizando rações flutuantes com densidade de 2 peixes/m² e peso final de 300 g na engorda de tilápias do Nilo. Portanto, os valores observados para DBO em C1 são aceitáveis para esse sistema de produção.

O procedimento de drenagem para despesca é igual para todos os tamanhos de viveiros, entretanto, a drenagem dura 24 horas para os viveiros menores e até 36 horas para os viveiros maiores. O processo de drenagem concentra os peixes em volume menor de água e isto provoca um aumento na densidade e a movimentação dos peixes provoca a suspensão dos sólidos que estão no fundo. Devido a isto, ocorre o aumento da concentração de DQO, SSE, ST, SS, PT, NH₃ e NT e um decréscimo na concentração de OD (Figura 3).

Para o cenário C1 e C2 esta alteração se deve a diminuição do volume de água e da movimentação dos peixes, no cenário C3 a alteração é agravada pela movimentação provocada pelo arrasto da rede para captura dos peixes. No cenário C4 o volume de água é pequeno e a quantidade de material orgânico presente no fundo provoca maiores alterações nos parâmetros estudados.

As alterações nas concentrações de CaCO₃, DT, NO₃⁻, NO₂⁻ e PO₄⁻ foram menores. A alcalinidade e a dureza total estão relacionadas à presença de carbonato de cálcio na água, a

diminuição do volume da água durante a despesca e as alterações no ambiente não interferiram nestas concentrações. Como o pH tem relação direta com a alcalinidade, pela sua capacidade de manter o pH estável, este também não variou durante o processo de despesca.

Em relação à alcalinidade, também pode-se observar que em todos os cenários de coleta, apresentaram resultados inferiores a 30 mg/L, sendo a recomendação para criação de peixes de 25-100 mg/L para evitar variações do pH (BOYD, 1990). Alcalinidades entre 40-80 mg/L auxiliam os processos de nitrificação (BIESTERFELD et al., 2003).

A presença de NO_3^- e NO_2^- na água está relacionada aos processos de nitrificação e desnitrificação, no entanto, o período do processo de despesca é curto para provocar alterações nestes parâmetros, além disso, toda movimentação do fundo e diminuição do OD dificultam os processos de nitrificação e desnitrificação que ocorrerem. O PO_4^- teve variação de 0,01 mg/L até 0,07 mg/L entre os cenários de coleta, com a maior concentração em C4 dos viveiros médios. A concentração deste parâmetro está relacionada à concentração de fósforo total (PT), sendo que esta é a porção que pode ser absorvida pelo metabolismo biológico sem necessidade de conversão, em que o PT é indicador do estado trófico, quando $\text{PT} > 0,05$ mg/L o ambiente é considerado eutrófico (VON SPERLING, 2014). Portanto, os resultados encontrados para PT nos efluentes avaliados caracterizam o ambiente como eutrófico.

Nossos achados indicam que o efluente da despesca quando lançado no corpo receptor sem o tratamento pode provocar acúmulo de nutrientes na água, desencadeando o processo de eutrofização, podendo causar prejuízos ecológicos, a exemplo, mortandade de peixes e plantas aquáticas. A característica do efluente deve ser conhecida, bem como a capacidade de depuração do corpo receptor minimizando os impactos ambientais.

A legislação ambiental brasileira CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) classifica os rios que recebem os efluentes da piscicultura na região em estudo como classe 2, as quais, as águas destes rios podem ser utilizadas para consumo humano, como áreas de proteção de comunidades aquáticas, para recreação, para irrigação, para atividades de aquicultura e pesca. Em função desta classificação é importante que os efluentes lançados neste ambiente atendam as recomendações quanto aos padrões de lançamento, afim, de não interferir na utilização destes rios após o lançamento.

Tabela 2. Parâmetros de qualidade dos efluentes dos diferentes tamanhos de viveiro e cenários de coleta durante a despesca de Tilápias do Nilo*.

Parâmetro	P				M				G				VPM ¹
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	
CaCO ₃ (mg/L)	11,9 ± 4,87	12,08 ± 4,04	13,13 ± 3,47	15,63 ± 9,03	26,00 ± 9,70	20,50 ± 6,14	21,00 ± 4,24	26,25 ± 6,70	17,20 ± 10,37	17,68 ± 9,23	17,6 ± 8,64	18,75 ± 6,50	-
DT (mg/L)	9,60 ± 1,99	10,35 ± 1,81	16,75 ± 4,99	19,75 ± 7,27	21,80 ± 9,15	20,00 ± 7,83	19,30 ± 7,23	23,00 ± 7,07	18,75 ± 7,63	19,25 ± 7,50	18,75 ± 7,41	18,25 ± 10,40	-
DBO (mg/L)	6,98 ± 2,95	7,48 ± 3,83	11,93 ± 1,72	12,00 ± 1,41	27,03 ± 17,48	33,55 ± 26,04	49,2 ± 33,26	38,75 ± 15,39	23,9 ± 13,15	29,75 ± 14,08	28,0 ± 12,91	27,75 ± 12,28	-
DQO (mg/L)	19,25 ± 5,50	23,75 ± 17,17	44,50 ± 3,32	48,25 ± 6,02	54,25 ± 23,34	68,50 ± 39,87	85,25 ± 36,86	104,7 ± 47,0	44,75 ± 16,46	50,25 ± 21,53	59,5 ± 27,69	80,00 ± 21,92	-
DQO/DBO	2,76	3,18	3,73	4,02	2,01	2,04	1,73	2,70	1,87	1,69	2,13	2,88	-
PT (mg/L)	0,26 ± 0,11	0,39 ± 0,11	2,06 ± 1,78	3,67 ± 4,92	0,59 ± 0,20	1,22 ± 0,82	2,20 ± 1,21	8,56 ± 8,54	0,56 ± 0,29	0,68 ± 0,37	1,07 ± 0,74	1,30 ± 0,31	0,05
PO ₄ (mg/L)	0,027 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,04	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,10	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	-
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,49 ± 0,16	0,40 ± 0,08	0,42 ± 0,15	0,36 ± 0,21	0,54 ± 0,21	0,99 ± 0,78	0,79 ± 0,61	0,47 ± 0,41	1,22 ± 1,06	1,18 ± 0,82	1,01 ± 0,79	0,47 ± 0,53	10
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,03 ± 0,02	0,21 ± 0,19	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,03	0,46 ± 0,34	0,45 ± 0,41	0,43 ± 0,37	0,19 ± 0,14	0,24 ± 0,23	0,25 ± 0,15	0,21 ± 0,24	0,20 ± 0,26	1
NH ₃ (mg/L)	0,55 ± 0,49	0,82 ± 0,47	1,03 ± 0,36	1,06 ± 0,71	2,00 ± 1,10	2,12 ± 1,20	2,49 ± 1,37	3,23 ± 1,79	1,04 ± 1,22	1,08 ± 1,00	1,09 ± 1,10	1,78 ± 0,70	20
NT (mg/L)	2,08 ± 1,14	2,48 ± 0,99	5,18 ± 2,90	9,25 ± 11,87	5,10 ± 1,28	6,98 ± 2,83	9,08 ± 2,40	24,68 ± 16,91	4,68 ± 1,61	5,05 ± 1,31	6,30 ± 2,16	6,25 ± 1,85	-
SSE (ml/L)	0,33 ± 0,17	0,38 ± 0,13	1,93 ± 0,26	1,83 ± 0,85	0,45 ± 0,44	0,90 ± 1,40	3,18 ± 3,19	26,05 ± 29,43	0,20 ± 0,20	0,58 ± 0,59	1,90 ± 1,61	3,23 ± 1,87	1
SS (mg/L)	27,00 ± 1,51	48,75 ± 20,29	257,0 ± 50,28	238,3 ± 66,0	66,75 ± 34,70	201,5 ± 162,9	382,0 ± 202,0	690,1 ± 247,5	67,75 ± 24,32	119,25 ± 52,6	337,7 ± 282,2	337,5 ± 141,5	-
ST (mg/L)	66,75 ± 21,08	88,75 ± 38,74	302,0 ± 41,74	288,0 ± 51,63	119 ± 40,96	249 ± 170,24	440 ± 216,03	788,0 ± 270,1	114,25 ± 42,2	186,5 ± 60,18	403 ± 282,82	404,5 ± 134,7	-
STD (mg/L)	22,5 ± 5,00	46,25 ± 21,75	76,25 ± 16,01	57,5 ± 5,00	40,00 ± 16,83	40,0 ± 14,72	58,75 ± 21,75	66,25 ± 8,54	40,00 ± 10,80	51,25 ± 25,94	61,25 ± 23,58	45,00 ± 9,13	500
OD (mg/L)	7,07 ± 0,96	5,40 ± 0,98	1,64 ± 0,32	0,86 ± 0,74	6,36 ± 2,80	4,72 ± 0,72	2,99 ± 1,81	1,31 ± 1,27	7,38 ± 3,09	6,08 ± 2,40	3,17 ± 0,79	1,97 ± 2,48	≥ 5
OD%	92,37 ± 5,63	60,53 ± 7,78	18,00 ± 3,70	10,5 ± 10,47	76,60 ± 29,57	54,55 ± 9,29	33,76 ± 20,27	14,18 ± 14,19	90,38 ± 27,37	70,48 ± 29,69	37,38 ± 10,22	22,23 ± 27,57	-
CE (μS/cm)	50,0 ± 10,0	93,75 ± 48,02	152,5 ± 27,54	118,75 ± 8,54	82,50 ± 32,27	82,50 ± 27,84	117,5 ± 42,52	133,8 ± 14,4	8,25 ± 25,29	105 ± 50,50	123,75 ± 49,6	91,25 ± 20,16	-
pH	6,96 ± 0,40	6,81 ± 0,55	6,35 ± 0,12	6,29 ± 0,12	6,89 ± 0,28	6,74 ± 0,11	6,63 ± 0,23	6,59 ± 0,20	6,79 ± 0,21	6,50 ± 0,37	6,43 ± 0,37	6,34 ± 0,21	5 – 9
T°C ef ²	25,50 ± 2,89	15,50 ± 1,45	18,00 ± 5,35	22,88 ± 8,19	23,75 ± 4,57	15,50 ± 1,73	14,50 ± 1,73	18,25 ± 4,57	24,25 ± 2,22	18,00 ± 2,58	16,75 ± 0,96	26,75 ± 6,65	-
T°C ar ³	21,70 ± 1,96	19,25 ± 0,55	18,55 ± 2,74	21,33 ± 5,81	21,83 ± 3,25	20,33 ± 1,25	19,90 ± 1,07	19,18 ± 1,14	21,60 ± 1,74	21,78 ± 1,70	21,68 ± 1,80	24,50 ± 5,13	-

* Resultados expressos por valores médios e desvio padrão. ¹ Valor máximo permitido e -: não especificado pela Resolução CONAMA n° 357/05 complementada pela Resolução CONAMA n° 430/2011 para lançamento de efluente em rios classes 2. ²T°C ef: temperatura do efluente; ³T°C ar: temperatura do ar.

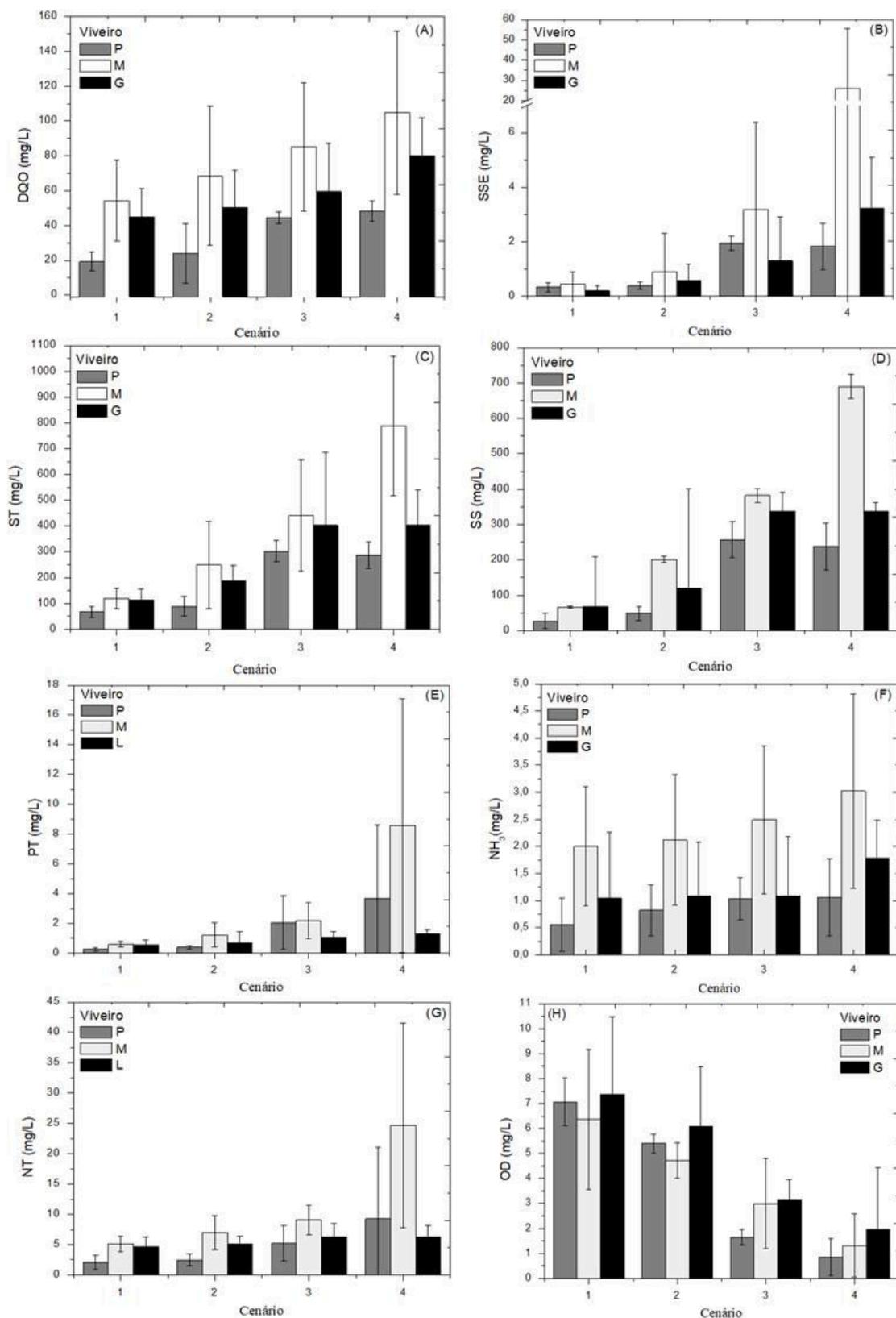


Figura 3. Comportamento dos parâmetros de qualidade dos efluentes para os diferentes tamanhos de viveiros para cada cenário de mensuração. Sendo que: P: Pequeno, M: Médio, G: Grande, (A) Demanda química de oxigênio - DQO, (B) Sólidos sedimentáveis - SSE, (C) Sólidos totais - ST, (D) Sólidos suspensos - SS, (E) Fósforo total - PT, (F) Nitrogênio amoniacal - NH_3 , (G) Nitrogênio total - NT e (H) Oxigênio dissolvido - OD.

Dentro do contexto da poluição de ambientes aquáticos naturais, a eutrofização provocada pelo aporte de nitrogênio e fósforo traz preocupação aos órgãos fiscalizadores. Os resultados apresentados na Tabela 2, mostram que os efluentes gerados durante o processo de despesca apresentam concentrações de fósforo muito acima da recomendada para o lançamento, chegando a 12 vezes (0,59) ao limite máximo permitido que é 0,05 mg/L de PT, no cenário C1 e a 170 vezes (8,56) no cenário C4. Entretanto, deve ser levado em consideração que no C4 é momento final da despesca, quando ocorre alteração de vários parâmetros avaliados, e que o volume de efluentes gerados no cenário C4 é de 5% do volume total da água do viveiro.

Em relação ao nitrogênio total (NT) observaram-se concentrações de 2,08 mg/L para C1 em tanques de tamanho pequeno até concentrações de 24,68 mg/L para C4 em viveiros de tamanho médio. O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, conseqüentemente, altas concentrações colaboram para o processo de eutrofização. Além disso, os processos de transformação de amônia para nitrito e nitrato consomem oxigênio diminuindo a qualidade do ambiente. A legislação impõe restrições ao lançamento do N na forma de amônia, nitrito e nitrato (Tabela 2).

É notável que a atividade da piscicultura em sistemas de criação intensiva possa causar impactos no ambiente, principalmente, porque os resíduos gerados pela atividade estão diretamente relacionados às sobras de alimento e as fezes produzidas pelos peixes, sendo estes, fontes de N e P, os principais responsáveis pela eutrofização, com destaque para o P que é o nutriente limitante para produção primária em água doce (CYRINO et al., 2010). Alimentos balanceados e com concentrações adequadas de fósforo disponível, diminuem a excreção de fósforo para o ambiente melhorando a qualidade da água (HARDY, 1999). A busca pelo conhecimento da biologia da espécie cultivada e de fontes de alimento que possam ser convertidos em proteína animal de forma eficiente tem sido foco de pesquisas na nutrição de peixes. O fósforo é indispensável para formação óssea e para atividades metabólicas do organismo, entretanto, as rações devem atender as exigências do peixe em concentrações adequadas (DIETERICH et al., 2012). Em uma avaliação para determinar a necessidade de fósforo para alevinos de tilápia (*Oreochromis niloticus*), Boscolo et al., (2005) concluíram que 0,74% de fósforo total são suficientes para esta fase de criação. Enquanto que para fase de crescimento a exigência de fósforo disponível varia de 0,35 a 0,70% (BOSCOLO et al., 2003).

A agricultura exercida de forma intensa na região também colabora para o aporte de nutrientes em ambientes aquáticos. Hu et al., (2012) indicaram que o aporte de nutrientes em ambientes aquáticos provém de várias fontes, como esgoto doméstico, indústrias, fezes animais, atividade de aquicultura, lixiviação e escoamento superficial. A atividade de piscicultura tem

como uma das fontes de captação de água os rios, que por sua vez já podem estar com concentrações de P e N elevadas devido a outras formas de contaminação. Entretanto, a piscicultura intensiva pode produzir efluentes ricos em nitrogênio e fósforo possibilitando a eutrofização do efluente. O efluente da piscicultura apresenta alta demanda bioquímica de oxigênio, além de altas concentrações de sólidos em suspensão, nitrogênio e fósforo o que o torna muito parecido com os efluentes domésticos (MACEDO e SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

O uso de práticas de manejo para melhora da qualidade dos efluentes implica em ações para redução do volume dos efluentes, manejo alimentar eficiente, controle de erosão para diminuição dos sólidos suspensos e uso adequado de fertilizantes. Estas ações são formas de controlar problemas como a floração de algas, variação do pH e demanda bioquímica de oxigênio. Em ecossistemas aquáticos com altas concentrações de nitrogênio e fósforo pode ocorrer o crescimento desordenado de macrófitas aquáticas e cianobactérias. Na região em estudo o fósforo disponível no ambiente não provém apenas da atividade de piscicultura, mas principalmente da lixiviação de áreas de atividades agrícolas intensas, características da região. Palácio et al., (2016) observaram que ao longo do curso de um rio dessa região, a concentração de fósforo alcançou valores 150 vezes superior à permitida e atribuíram este valor a fertilizantes utilizados na agricultura para o plantio de soja e milho, sem atividades de piscicultura. Desta forma, possivelmente as águas de abastecimento das pisciculturas já se encontram ricas em nutrientes.

O nitrogênio amoniacal (NH_3), no cenário C4 apresentou níveis de concentração de até 3,23 mg/L, entretanto, dentro do permitido para o efluente. O principal composto nitrogenado excretado pelos peixes é a amônia, pois faz parte do processo de metabolismo de proteínas, auxiliando no processo de decomposição microbiana das sobras de alimento, fezes e adubos orgânicos (MACEDO e SIPAÚBA-TAVARES, 2010). O excesso de matéria orgânica no fundo dos viveiros e a falta de condições para decomposição provoca o desequilíbrio do processo de nitrificação e desnitrificação e pode colaborar para o acúmulo de amônia tóxica e nitrito durante o ciclo de produção (DURBOROW et al., 1997; HARGREAVES e TUCKER, 2004).

Os sólidos totais dissolvidos (Tabela 2) mantiveram-se abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação ambiental (500 mg/L) em todos os cenários de coleta e tamanhos de viveiros apresentando uma tendência de aumento com a evolução do processo de despesca. A condutividade elétrica (CE) está diretamente relacionada ao comportamento dos sólidos totais dissolvidos. O aumento da CE com a evolução da despesca indica a grande disponibilidade de nutrientes nos efluentes o que é comprovado pela carga de N e P. Segundo Ribeiro et al., (2005), a condutividade elétrica identifica fontes poluidoras e aumenta linearmente com a concentração

de sais no meio aquático. Para a criação de peixes a recomendação é que a condutividade elétrica permaneça entre 20 a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ZIMMERMANN, et al., 2001).

Abordando cada parâmetro apresentado na Tabela 2, foi possível observar como se comportam durante o processo de despesca nos diferentes tamanhos de viveiros estudados. No entanto, não é possível avaliar apenas através da estatística exploratória ou através da comparação de médias como esses parâmetros são correlacionados uns com os outros devido à variabilidade dos dados obtidos para os efluentes nos diferentes tamanhos de tanques.

Assim, a análise de componentes principais nos permitiu identificar quais parâmetros são significativos e se correlacionam, possibilitando avaliar como o processo de criação e de despesca pode ser manejado de forma a melhorar a qualidade dos efluentes lançados no corpo receptor.

Confirmando as observações já descritas, na abordagem multivariada do efluente da piscicultura, a análise de componentes principais identificou que o principal gradiente de variação contido nos dados (PC1) respondeu por aproximadamente 40% da variabilidade total, sendo positivamente associado com os parâmetros de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis (SSE), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), fósforo (PT), nitrogênio total (NT) e nitrogênio amoniacal (NH_3), e negativamente relacionado ao oxigênio dissolvido (OD) e sua percentagem de saturação (OD%) (Tabela 3). Pela avaliação das fontes de variação deste gradiente, por meio da Anova de medidas repetidas (rmAnova), ficou evidente que, tanto o tamanho dos viveiros quanto o cenário mensurado influenciaram de forma significativa o conjunto de características associadas ao PC1, não havendo interação entre tamanho dos viveiros e os cenários de despesca na qualidade dos efluentes (Tabela 4).

Os testes de comparação de médias a posteriori de Tukey identificaram que os viveiros de tamanho médio foram os que apresentaram as piores qualidades dos efluentes (Figuras 4a e 5). Em relação aos cenários, a qualidade dos efluentes teve uma leve tendência (não significativa) de piora entre os cenários de cheia e meio, porém com qualidades significativamente inferiores após a primeira passagem de rede e desta ao final da despesca (Figura 4b).

O segundo componente de variação (PC2) respondeu por 16% da variabilidade e foi associado positivamente com a demanda biológica de oxigênio (DBO), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3) e negativamente com a condutividade elétrica na água (CE) (Tabela 3). Este componente teve influência significativa apenas no cenário de mensuração (Tabela 4), diferindo novamente os cenários de cheio (C1) e meio (C2) daqueles de após a primeira passagem de rede (C3) e final da despesca (C4) (Fig. 4b). O PC1 e PC2 representaram 56% da variabilidade dos dados,

os demais componentes principais gerados apresentaram baixa variabilidade de explicação (<10% cada), sem associações fortes com as variáveis e relações significativas com o tamanho do viveiro ou cenário.

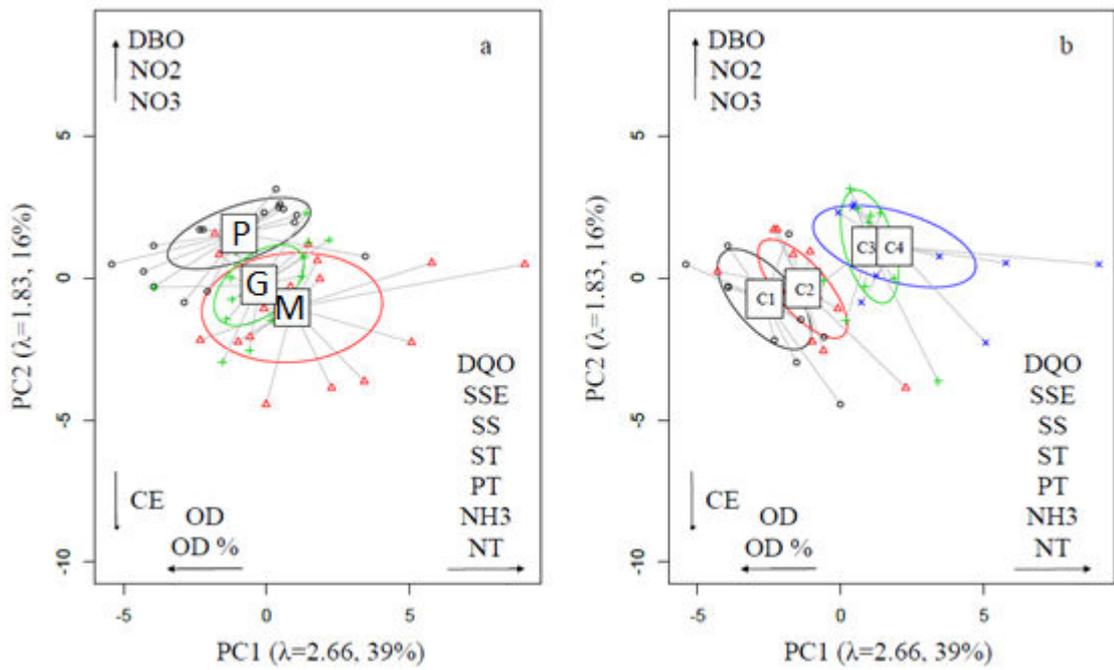


Figura 4. Scores dos componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2) obtidos em relação aos tamanhos dos viveiros (a) e aos cenários de coleta (b).

Autovalores (λ) seguidos das percentagens de explicação são apresentados próximos aos eixos. Setas indicam o sentido do relacionamento dos PCs com as variáveis: DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; NO₃⁻: nitrato; NO₂: nitrito; SSE: sólidos sedimentáveis; SS: sólidos em suspensão; ST: sólidos totais; PT: fósforo total; NH₃: nitrogênio amoniacal; NT: nitrogênio total; OD: oxigênio dissolvido; OD%: porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido; e CE: condutividade elétrica.

Tabela 3. Matriz de correlação entre as variáveis entre si e com os componentes principais gerados na análise de componentes principais.

	PC1	PC2	CaCO ₃	DBO	DQO	DT	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SSE	SS	ST	PT	NH ₃	NT	PO ₄	pH	OD	OD%	CE	
Autovalor	2,66	1,83																		
Explicação (%)	39,46	15,6																		
CaCO ₃ (mg/L)	0,35	0,42																		
DBO (mg/L)	0,55	0,69	0,26																	
DQO (mg/L)	0,79	0,36	0,28	0,72																
DT (mg/L)	0,33	0,48	0,54	0,46	0,19															
NO ₃ ⁻ (mg/L)	-0,01	0,58	-0,21	0,59	0,23	0,36														
NO ₂ (mg/L)	0,15	0,78	0,2	0,77	0,37	0,48	0,62													
SSE (mg/L)	0,68	-0,05	0,08	0,3	0,52	-0,05	-0,17	-0,06												
SS (mg/L)	0,88	-0,04	0,17	0,49	0,75	0,11	-0,02	0,08	0,64											
ST (mg/L)	0,89	-0,03	0,18	0,51	0,76	0,13	0	0,09	0,66	0,99										
PT (mg/L)	0,75	-0,06	0,16	0,27	0,5	0,06	-0,16	-0,06	0,89	0,62	0,64									
NH ₃ (mg/L)	0,62	0,35	0,66	0,52	0,67	0,18	-0,17	0,27	0,43	0,53	0,53	0,42								
NT (mg/L)	0,81	0,09	0,31	0,42	0,59	0,16	-0,07	0,06	0,85	0,7	0,71	0,95	0,52							
PO ₄ (mg/L)	0,5	0,23	0,2	0,31	0,47	0,08	-0,03	0,11	0,72	0,35	0,37	0,73	0,53	0,67						
pH	-0,44	0,31	0,2	-0,13	-0,17	-0,24	-0,21	0,07	-0,15	-0,29	-0,31	-0,22	0,19	-0,18	-0,06					
OD (mg/L)	-0,59	0,55	-0,03	0	-0,22	-0,15	0,25	0,26	-0,26	-0,45	-0,45	-0,36	-0,11	-0,34	0,03	0,5				
OD%	-0,62	0,54	-0,04	-0,02	-0,25	-0,16	0,26	0,24	-0,27	-0,48	-0,47	-0,37	-0,15	-0,35	0,01	0,51	0,99			
CE (μ.S/cm)	0,5	-0,57	-0,04	-0,06	0,15	-0,06	-0,2	-0,21	0,24	0,45	0,45	0,26	0,1	0,24	0,05	-0,43	-0,47	-0,49		
STD (mg.L ⁻¹)	0,51	-0,55	-0,02	-0,05	0,17	-0,06	-0,2	-0,2	0,25	0,45	0,44	0,26	0,12	0,24	0,07	-0,43	-0,45	-0,48	0,99	

Tabela 4. Estatísticas teste (F e ϵ) e probabilidade associada (p) obtidas nas análises de variâncias de medidas repetidas aplicadas sobre os componentes principais (PC) gerados na análise de componentes principais.

Fonte de Variação	PC1*						PC2**	
	F	p	GG (ϵ)	p	HF (ϵ)	p	F	P
Tamanho	12,85	0,002	-	-	-	-	3,46	0,077
Cenário	35,77	<0,001	0,49	<0,001	0,57	<0,001	14,70	<0,001
Tamanho: Cenário	1,89	0,119	0,49	0,180	0,57	0,169	0,62	0,710

Correções de Greenhouse-Geisser (GG) e Huynh-Feldt (HF) são apresentadas para o caso de não-esfericidade. Teste de Mauchly para esfericidade: * p = 0,004; ** p = 0,39.

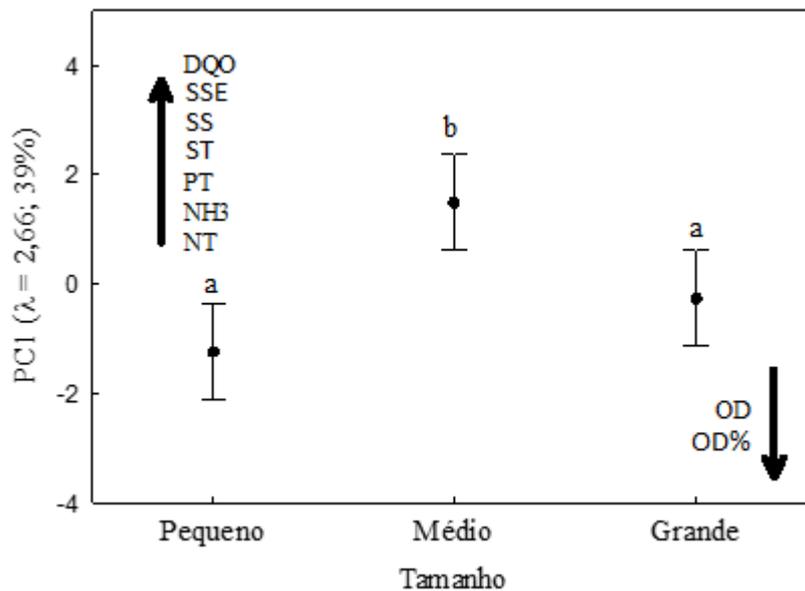


Figura 5. Médias e intervalos de 95% de confiança para: o primeiro componente principal (PC1) em relação aos tamanhos de viveiros. Letras distintas sobre os intervalos de confiança indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey. Setas indicam o sentido do relacionamento do PC com as variáveis: DQO: demanda química de oxigênio; SSE: sólidos sedimentáveis; SS: sólidos em suspensão; ST: sólidos totais; PT: fósforo total; NH₃: nitrogênio amoniacal; NT: nitrogênio total; OD: oxigênio dissolvido e OD%: porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido.

A identificação dos viveiros médios como sendo o tamanho com piores índices de qualidade do efluente pode estar relacionado a aspectos construtivos ou taxas de renovação de água que são variáveis não controladas, enquanto que as densidades de estocagem e manejo alimentar são padronizadas. Entretanto, esta indicação é importante para definição de tamanho de viveiros em projetos futuros.

Nos tanques retangulares o fluxo de água depende da geometria e forma de entrada de água, sendo comum encontrar nos tanques ambientes heterogêneos, causados pela falta de

circulação, criando zonas mortas (DUARTE et al., 2011). A sedimentação dos sólidos fecais e sobras de alimentação ocorrem onde não há circulação de água, estes sólidos aumentam a demanda bioquímica de oxigênio e causam variações no gradiente de oxigênio dissolvido (WATTEN e BECK, 1987).

Estudos referentes ao tamanho e formato ideal para construção de viveiros para piscicultura são escassos. Oca e Masaló (2007), avaliaram a relação comprimento/largura na formação de volumes mortos. Avaliações através de técnicas de velocimetria por rastreamento de partículas (PTV) indicam que uma única entrada de água em tanque retangular proporciona mais áreas com volumes mortos (OCA et al., 2004).

As características citadas com referência aos aspectos construtivos colaboram para o entendimento dos resultados encontrados sobre a qualidade dos efluentes, uma vez que os viveiros avaliados são retangulares e com uma única entrada de água. A formação de áreas mortas dentro dos viveiros interfere na qualidade de água e, conseqüentemente, tem influência direta sobre a qualidade de lançamento dos efluentes. Maiores estudos que evidenciem os aspectos construtivos com relação à qualidade dos efluentes gerados pela piscicultura devem ser estimulados para buscar a sustentabilidade da atividade.

As médias seguidas dos desvios padrões apresentados na Tabela 2 e na Figura 3, retratam os resultados conclusivos da ACP mostrando a correlação dos parâmetros no sentido de piora da qualidade dos efluentes no decorrer do processo de despesca e, conseqüentemente, alerta para a necessidade de melhorar os parâmetros de qualidade na água observados já nos cenários 1.

O oxigênio dissolvido (OD), apresentou declínio significativo durante o processo da despesca, fato este, esperado em função da diminuição do volume de água nos viveiros e conseqüentemente concentração dos peixes, além, da suspensão dos sólidos promovida pelo manejo das redes. Para o ambiente de criação a recomendação para tilápias considerada ótima está entre 5 e 6 mg/L, enquanto, que abaixo de 3,1 mg/L já se recomenda intervenção (COLT e KROEGER, 2013). Para a criação das tilápias as concentrações de OD em C1 estão adequadas, mas para o lançamento dos efluentes os cenários C3 e C4 estão inadequados e de acordo com a legislação ambiental, sendo o OD fator limitante para o lançamento de efluentes.

O PT e NT apresentam uma correlação de 0,95 entre si, estes nutrientes, são a principal causa de impacto ambiental produzido pela aquicultura (BOYD, 1979; BOYD, 1990; SCHROEDER et al., 1991; GREEN et al., 2002). A ACP mostra os SSE com uma correlação positiva com o PT de 0,89 e com o NT de 0,85, indicando que deve haver intervenção sobre os

SSE como forma de mitigação do impacto ambiental provocado pela aquicultura. Os SS e ST também tem influência sobre os nutrientes principalmente sobre o NT com 0,7 e 0,71 de correlação.

Os SS e ST são os parâmetros com maior correlação positiva sobre os demais apresentados pela PC1. Os sólidos podem ser removidos por sedimentação, areia ou filtros mecânicos, bem como vários métodos físicos, químicos e biológicos já foram ou podem ser utilizados para o tratamento de efluentes da aquicultura, estes tratamentos são eficientes também na remoção de fósforo, entretanto, exigem altos investimentos para implantação e para manutenção e os estudos específicos para efluentes da aquicultura ainda são restritos (TURCIOS e PAPENBROCK, 2014).

A formulação de ração para peixes é baseada em proteínas de origem vegetal, e o uso de enzimas que possam favorecer a absorção e disponibilidade do P presente em proteínas vegetais, a exemplo da fitase, pode ser utilizado (HARDY e GATLIN, 2003). A diminuição do P nas rações também pode ser promovida através do uso de farinhas de peixe de boa qualidade ou através da inclusão de fosfato monocálcico que apresenta alta disponibilidade de P. Outra recomendação para diminuição do P seria a indicação de níveis máximos de fósforo disponível nos rótulos da ração, no Brasil somente é exigida a indicação de nível mínimo, esta ação poderia reduzir o uso de rações com altos níveis de fósforo como prevenção a eutrofização de ambientes aquáticos.

A preocupação com a sustentabilidade ambiental deve ser tomada como prioridade na produção de peixes em viveiros escavados. Para a região oeste do Paraná/Brasil, a piscicultura tem importância econômica, gerando empregos e renda para agricultores, entretanto, a caracterização dos efluentes exibida neste trabalho pode colaborar para implantação de sistemas de produção de peixes semelhantes em outros locais buscando alternativas para diminuir a carga poluente. Sob a óptica da análise de componentes principais sobre a qualidade dos efluentes, foi verificado que o impacto ambiental da atividade está concentrado no momento da despesca, entretanto, durante o período de criação dos peixes, o cuidado com o aporte de nutrientes deve ser controlado.

3.4. *Conclusão*

A criação de peixes em viveiros escavados vem passando por uma série de mudanças, sendo o aumento da produtividade por meio da intensificação das criações a principal delas. Entretanto, a caracterização do efluente gerado na atividade de piscicultura em viveiros escavados apontou a necessidade de aplicação de Boas Práticas de Manejo durante o período de criação dos peixes, para evitar os altos níveis de concentração de nutrientes lançados no ambiente, durante o processo de despesca, pois, a baixa qualidade dos efluentes coloca em risco o crescimento da atividade.

Com relação ao tamanho dos viveiros, através da análise de ACP os viveiros pequenos e grandes não apresentam diferença significativa, e os viveiros médios tem uma pior qualidade dos efluentes. Considerando estes resultados, a indicação é em optar por viveiros maiores, sempre que possível, pois estes apresentam menores custos de implantação e manutenção e possibilitam o melhor aproveitamento da área, sem ocasionar pioras na qualidade dos efluentes.

Independentemente do tamanho, medidas de manejo associadas ao sedimento dos viveiros escavados são necessárias para mitigar os impactos negativos do efluente lançado. Pela análise de componentes principais, foi identificada que a degradação progressiva na qualidade do efluente no processo de despesca, está associada com as elevações das concentrações dos sólidos suspensos e totais, principalmente após a primeira passada de rede. Após este momento, o revolvimento no sedimento desencadeia o incremento de compostos nitrogenados e fosfatados e elevação da DQO. Uma medida eficiente para redução desses sólidos é o uso de lagoas de decantação. No entanto, ainda são necessários estudos que visem o seu correto dimensionamento para redução da carga de nutrientes que possam causar eutrofização em corpos receptores.

4. CAPÍTULO 3. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo na criação de Tilápias do Nilo em viveiros escavados.

Resumo: Este trabalho teve por objetivo determinar o balanço do nitrogênio total (NT) e do fósforo total (PT) durante a criação intensiva de tilápias em viveiros escavados. Para quantificar a carga de NT e PT lançados ao meio ambiente foram analisadas a água de abastecimento, os efluentes no momento da despesca, a composição do peixe, da ração e do sedimento. O balanço de massa entre a quantidade de nutrientes que é inserido através da ração, que é transformado em biomassa pelos peixes e que fica retido no sedimento foi calculado sobre a matéria seca. A carga de nutrientes que chega pela água de abastecimento foi calculada em função da concentração de NT e PT e das taxas de renovação utilizadas. Avaliando a dinâmica do NT e PT durante o processo de despesca em três diferentes tamanhos de viveiro, identificou-se que em média 2,37% do NT e 2,05% do PT inseridos no sistema durante a criação é eliminado com os efluentes na despesca, sendo que no sedimento fica retido 10,64% de NT e 37,01% de PT. A entrada de NT e PT no sistema se dá através da água de abastecimento, pelos juvenis e pela ração, sendo esta, responsável pelo aporte de 92,87% de NT e 96,05% de PT. A composição da ração indica que o nível de P do alimento está acima das recomendações nutricionais para a espécie. A quantidade de PT acumulada nos sedimentos indica que há necessidade de boas práticas de manejo para qualidade da água durante o período de criação e manejo do sedimento antes do início de um novo ciclo.

Palavra-chave: Viveiros escavados, efluentes, despesca e qualidade de água.

4.1. Introdução

A aquicultura e a pesca são importantes fontes de alimento e renda para milhões de pessoas em todo mundo (FAO, 2016). A atividade de aquicultura apresentou um crescimento expressivo nos últimos anos, na produção de alimento saudável e rico em nutrientes (OSTI et al., 2016). Como qualquer atividade agropecuária, a busca pela sustentabilidade ambiental é constante. Independentemente da forma de produção, o impacto ambiental existe e pode ser de maior ou menor intensidade em função do sistema de criação utilizado (BOYD, 1999).

Para a criação intensiva de peixes em viveiros escavados, o alimento fornecido aos peixes em forma de ração é rico em nutrientes, e é utilizado em grandes quantidades. As

criações intensivas preferencialmente são monocultivo, e as sobras de alimentos não consumidos ou resíduos que poderiam estar sendo aproveitados por outras espécies de peixes, geram acúmulo de matéria orgânica, que pode ser assimilada física, química ou biologicamente dentro do sistema ou eliminada através dos efluentes (BOYD e TUCKER, 2014).

O principal impacto ambiental da aquicultura se dá através do lançamento de efluentes ricos em nitrogênio (N) e fósforo (P), sendo estes considerados os principais causadores de eutrofização (GREEN et al., 2002; TUCKER e HARGREAVES, 2008; BOYD e McNEVIN, 2015). Assim, o lançamento dos efluentes da aquicultura ricos em N e P nos ambientes aquáticos naturais, pode ser impactante, pois estão diretamente relacionados a produção primária de algas, com destaque para o N em ambientes marinhos e o P em água doce (CYRINO, et al., 2010). Uma das principais causas de eutrofização e degradação da qualidade de água no mundo é a descarga de fósforo (P) no meio ambiente (SIBRELL e TUCKER, 2012; SIBRELL e KEHLER, 2016).

Estudos comprovam que parte dos nutrientes presentes nos alimentos são convertidos em biomassa pelos peixes. Em criações de tilápias de 23-26% do nitrogênio total (NT) e 40-45% do fósforo total (PT) que estão inseridos na ração são convertidos pelos peixes e transformados em biomassa (BOYD et al., 2007; OSTI et al., 2016). Para o salmão da Noruega estes percentuais equivalem a 38 e 30%, respectivamente, para NT e PT (WANG et al., 2012). A recuperação dos nutrientes oferecidos através do alimento em biomassa pelos peixes está relacionada a qualidade dos alimentos fornecidos e as boas práticas aplicadas durante a criação.

Nesse sentido, a tilapicultura realizada de forma intensiva em viveiros escavados deve estar associada a boas práticas de manejo visando o aproveitamento dos nutrientes do alimento, evitando o acúmulo nos viveiros de criação, e seu possível lançamento no meio ambiente. Uma etapa de manejo realizada durante a criação é a despesca, sendo que este processo, devido a concentração dos peixes e suspensão dos sedimentos promove um incremento significativo de NT e PT que pioram a qualidade do efluente da despesca lançado para o corpo receptor (COLDEBELLA et al., 2018).

As descargas de nutrientes para o meio ambiente provenientes da aquicultura estão sendo estudadas. Bouwman et al. (2013) realizaram uma estimativa e projeções de lançamento de nutrientes ao meio ambiente através da aquicultura e constataram que somente a aquicultura de água doce no mundo lançou para o ambiente 5 milhões de toneladas de N e 0,9 milhões de toneladas de P no ano de 2010. Apesar de concluírem que a contribuição da aquicultura de água doce para o acúmulo de nutrientes em rios ser ainda pequena, ressaltam que o crescimento

rápido da atividade é uma importante fonte antropogênica de N e P para rios em várias partes do mundo. A continuidade do crescimento da atividade da aquicultura depende de estratégias de controle para atuar na minimização dos impactos ambientais (ALEXANDER et al., 2016).

Os aspectos construtivos dos viveiros também podem influenciar no acúmulo de sedimentos nos viveiros durante a terminação. O fluxo e a velocidade na água foram avaliados na eliminação de resíduos produzidos na criação de trutas (WATTEN et al., 2000), a relação comprimento e largura foi avaliada em viveiros retangulares com descarga central (OCA e MASALÓ, 2007), Oca et al. (2004) avaliaram diferentes pontos de entrada de água para evitar formação de zonas mortas, estes estudos relacionam a hidrodinâmica dos viveiros com o acúmulo de sedimentos que conseqüentemente resultam no aumento da concentração de nutrientes nos viveiros. O formato e o tamanho dos viveiros usados na criação de tilápias deste estudo não são padronizados e os estudos específicos sobre a influência do tamanho dos viveiros na ciclagem dos nutrientes durante a produção não foram encontrados.

Para quantificar o N e P que são lançados ao ambiente na criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em viveiro escavado no sistema intensivo em forma de integração, neste trabalho foi realizada a caracterização da água de abastecimento, dos efluentes da despesca, do sedimento dos viveiros, da ração e dos peixes em três classes de tamanho de viveiros para realizar o fluxo de nitrogênio e fósforo. O objetivo deste balanço de entrada e saída do nitrogênio e do fósforo é quantificar o quanto de nutrientes está sendo exportado para o meio ambiente no momento da despesca para auxiliar nos estudos de sistemas de tratamento dos efluentes e se o volume de água dos viveiros em função de seu tamanho influencia na concentração de nutrientes eliminados na despesca.

4.2. *Materiais e Métodos*

4.2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no oeste do Paraná, Brasil, caracterizada como um polo de produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em viveiros escavados (SUSSEL, 2013). Nesta região estão instaladas várias unidades de processamento de tilápias que trabalham com sistema de integração.

Foram avaliados 12 viveiros escavados (Tabela 5), de nove propriedades rurais de produtores pertencentes a um sistema de produção integrado no período de junho a outubro de 2016. O sistema integrado de produção é padronizado para todos os produtores, sendo

estabelecidas como condições para iniciar a criação a ausência de adubação química ou orgânica para estimular a produção primária, alojamento de juvenis com peso médio de 20 g, densidade de estocagem de 5,0 peixes/m², peso médio de abate de aproximadamente 0,9 kg e duração do ciclo de 200 dias. A alimentação foi realizada com ração balanceada disponibilizada pelo sistema de integração com 32% de proteína bruta (PB) fornecida aos peixes 3 vezes ao dia, aeração mecânica utilizada principalmente à noite com aeradores de pás ou chafariz na proporção de 1CV/4500 peixes, taxa de renovação de água de 1 a 10% ao dia e profundidade média dos viveiros de 1,5 m. O processo de despesca varia de 24 a 36 horas dependendo do tamanho do viveiro, este tempo é contabilizado desde o início da drenagem até a retirada total dos peixes.

Tabela 5. Localização das áreas de estudo.

Produtor	Viveiro	Área (m²)	Classe	Latitude	Longitude	Altitude (m)
P1	01	1146	P	24°39'S	53°29'W	511
P1	03	1447	P	24°39'S	53°29'W	511
P2	01	13000	G	24°38'S	53°19'W	516
P3	01	5560	M	24°28'S	53°11'W	332
P3	02	4500	M	24°28'S	53°11'W	332
P4	02	10000	G	24°38'S	53°20'W	511
P5	03	10400	G	24°29'S	53°15'W	417
P6	01	7500	G	24°33'S	53°01'W	406
P7	01	4000	M	24°25'S	53°10'W	318
P8	03	3500	M	24°39'S	53°17'W	529
P9	03	2712	P	24°39'S	53°22'W	530
P9	04	2578	P	24°39'S	53°22'W	530

4.2.2. Coleta e análise das amostras da água de abastecimento e dos efluentes

Para o estudo foram consideradas unidades amostrais os viveiros escavados, divididos em três classes de tamanho com 4 repetições cada, sendo a classe I viveiros com área de até 3.000 m²(P), classe II viveiros com área de 3.001 a 7.000 m²(M) e classe III viveiros com área superior a 7.000 m²(G) (Tabela 5). As classes de tamanho foram definidas para avaliar se o tamanho do viveiro interfere na dinâmica de comportamento do nitrogênio e do fósforo dentro dos viveiros.

Todas as propriedades avaliadas utilizavam como fonte de abastecimento dos viveiros água proveniente de nascentes, sendo coletadas amostras destas águas e realizadas as mesmas análises para os efluentes.

As amostras de efluentes para quantificação do fósforo e dos compostos nitrogenados foram coletados durante o processo de despesca em três momentos diferentes, definidos como “níveis” dentro de um mesmo ponto de coleta, sendo assim considerados como medidas repetidas dentro de um mesmo local. Os níveis foram caracterizados como: N1, N2 e N3 (Figura 6). Entre as coletas do nível N1 não houve intervenção com redes, somente a drenagem do efluente, a coleta do nível N2 foi realizada após a primeira passagem da rede e o nível N3 correspondeu ao final da despesca com aproximadamente 5% do volume de água total restante no viveiro.

Para o cálculo da quantidade de PT e NT lançados no corpo d’água receptor no meio ambiente foram considerados os volumes de efluentes (em litros) representados na Figura 6, considerando um hectare de lâmina d’água com 1,5 m de profundidade (Equação 1). Para quantificação do NT e PT lançados através do efluente no nível N1 foi considerada a média da concentração dos compostos no início da drenagem e quando atingiu os 60% do volume drenado. Da mesma maneira foi calculada a carga de nutrientes para os níveis N2 e N3 (Equação 2).

$$V = A \times P \quad (1)$$

Em que, V é o volume de água (m³); A, a área do viveiro (m²) e P a profundidade média (m).

$$C_N = V \times C_n \quad (2)$$

Em que, C_N é a carga do nutriente em um determinado nível (N1, N2 ou N3); V é o volume de água (L) do nível avaliado e C_n, a concentração do nutriente em mg/L (convertido em kg).

Para caracterização das formas de nitrogênio e fósforo presente na água de abastecimento e nos efluentes foram realizadas em laboratório as seguintes análises: Fósforo Total (PT mg/L), Orto Fosfato Solúvel (PO₄³⁻ mg/L), Nitrito (NO₂⁻ mg/L), Nitrato (NO₃⁻ mg/L), Nitrogênio Amoniacal (NH₃ mg/L) e Nitrogênio Kjeldhal (NT mg/L). As análises foram realizadas de acordo com o descrito pela Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF.,2005).

No momento das coletas das amostras de efluentes os parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD mg/L), pH, Condutividade Elétrica (CE μ.S/cm) e Temperatura do ar e da água

(T°C) foram mensurados com aparelhos portáteis YSI Pro20, YSI F-1010PH e YSI F-1030A respectivamente.

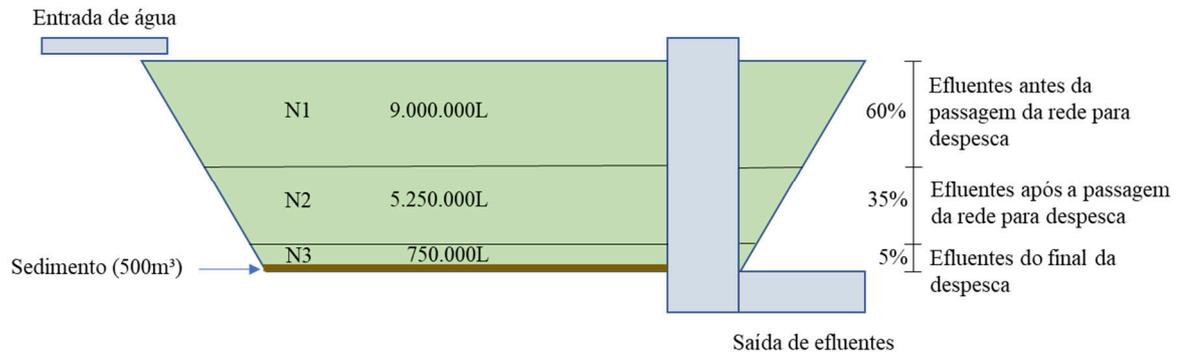


Figura 6. Esquema de coleta dos efluentes da despesca, sedimento do fundo dos viveiros e volume (L) em cada cenário de coleta dos efluentes, considerando 1 hectare de lâmina d'água e profundidade média de 1,5 m.

4.2.3. Coleta e análise do sedimento do fundo dos viveiros

Após a drenagem total dos viveiros foi realizada a coleta de uma amostra do sedimento acumulado no fundo dos viveiros (Figura 6), para quantificar o nitrogênio total e fósforo total presentes no sedimento acumulado durante o ciclo de produção. Para que a amostra utilizada para análises fosse representativa foi realizada uma amostra composta obtida pela coleta de seis amostras simples na área do fundo dos viveiros, sendo duas próximas a entrada de água, duas no meio do viveiro e duas próximas ao monge. As seis amostras foram homogeneizadas em uma bandeja plástica e posteriormente retiradas 500 g do material. A coleta do sedimento foi superficial de 0 a 5cm de profundidade e foi realizada com auxílio de uma pá de corte.

Para caracterização do lodo foram realizadas as análises de Fósforo Total (g/kg) e Nitrogênio Total (g/kg) de acordo com a metodologia de APHA (2005) e Matéria Seca de acordo com metodologia proposta pela AOAC (2005).

Para quantificação dos nutrientes presentes no sedimento, foi considerado um acúmulo equivalente a 5 cm de sedimento por hectare em cada ciclo, totalizando 500 m³.ha⁻¹ acumulados.

4.2.4. Coleta e análise dos peixes e da ração

No momento em que se fez o primeiro arrasto para captura dos peixes foram coletados cinco exemplares de tilápia em cada viveiro estudado. Os peixes foram identificados por produtor e acondicionados em gelo e posteriormente encaminhados ao Laboratório de

Qualidade de Alimentos (LQA) do Grupo de Estudos e Manejo na Aquicultura (GEMAAq), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Juntamente com os peixes também foram coletadas as amostras da ração utilizada na terminação. Tanto os peixes quanto a ração foram armazenados em freezer (-6°C) e posteriormente submetidos as análises de umidade, proteína bruta, lipídios totais, matéria mineral seguindo a metodologia proposta pela AOAC (2005). A percentagem de fósforo foi quantificada pelo método nº 16 estabelecida pela Portaria 108 de 04/09/1991 Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), (BRASIL, 1991). No momento de realização das análises os peixes foram triturados inteiros sem evisceração para o preparo das amostras.

4.2.5. Fluxo do Nitrogênio e do Fósforo durante o ciclo de produção

O fluxo de NT e PT foi estimado através do balanço de entrada e saída dos nutrientes dentro do sistema (Figura 7).

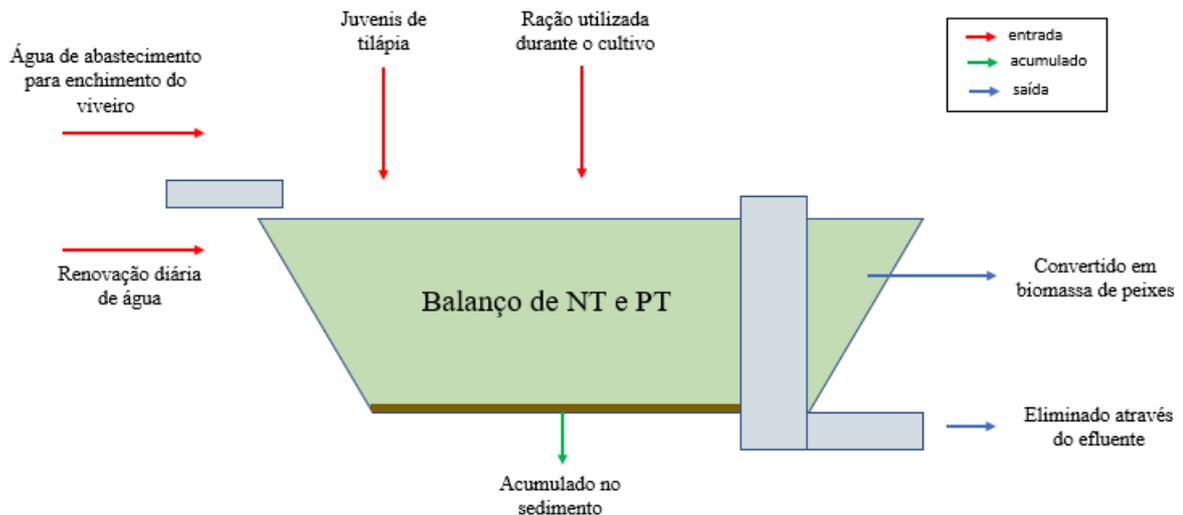


Figura 7. Entradas e saídas de NT e PT considerados no balanço de massa.

Foi considerado como entrada de NT e PT a quantidade presente na água de abastecimento, considerando como aporte inicial o enchimento dos viveiros; a quantidade inserida através da renovação da água, com uma taxa de renovação diária de 10% e um ciclo de produção de 200 dias, totalizando 20 renovações completas durante um ciclo; a quantidade de nutrientes presentes na ração calculada em função da matéria seca e a quantidade presente nos juvenis de tilápias estocados para iniciar a terminação, sendo consideradas para cálculo, as concentrações encontradas nas análises realizadas nos peixes no momento da despesca.

As saídas de NT e PT consideradas foram a quantidade eliminada nos efluentes durante a drenagem para despesca, considerando cada momento de coleta do efluente conforme descrito anteriormente; a quantidade de NT e PT que são convertidos em biomassa de peixes no momento da despesca e a quantidade que fica acumulada no lodo do fundo dos viveiros. Os cálculos de NT e PT dos peixes e do lodo foram realizados em função da matéria seca.

O balanço de massa de NT e PT que determina o quanto de nutrientes inseridos no sistema é eliminado e/ou transformado durante a criação, foi calculado pelas Equações 3 e 4 respectivamente.

$$NT = N_A + N_{Re} + N_{Ra} + N_J - N_E - N_P - N_S \quad (3)$$

Em que, NT é o Nitrogênio total eliminado e/ou transformado durante a engorda (kg); N_A , Nitrogênio total da água de abastecimento (kg); N_{Re} , Nitrogênio total da água de renovação (kg); N_{Ra} , Nitrogênio total inserido através da ração; N_J , Nitrogênio total inserido através dos juvenis (kg); N_E , Nitrogênio total dos efluentes da despesca (kg); N_P , Nitrogênio total recuperado em biomassa de peixes (kg) e N_S , Nitrogênio total acumulado no sedimento (kg).

$$PT = P_A + P_{Re} + P_{Ra} + P_J - P_E - P_P - P_S \quad (4)$$

Em que, PT é o Fósforo total eliminado ou transformado durante a engorda (kg); P_A , Fósforo total na água de abastecimento (kg); P_{Re} , Fósforo total na água de renovação (kg); P_{Ra} , Fósforo total inserido através da ração; P_J , Fósforo total inserido através dos juvenis (kg); P_E , Fósforo total dos efluentes da despesca (kg); P_P , Fósforo total recuperado em biomassa de peixes (kg) e P_S , Fósforo total acumulado no sedimento (kg).

Para calcular a quantidade de NT e PT inseridos através da matéria seca da ração, retirados como peixes durante a despesca e o quanto fica no ambiente, foi utilizada a metodologia proposta por Boyd e Queiroz (2004), onde se subtrai a quantidade de nutrientes inseridos através da ração da quantidade presente nos peixes, o restante se acumula no sedimento ou é eliminado pelos efluentes durante o período de criação ou na despesca. A quantidade da ração utilizada no ciclo de produção foi calculada pela Equação 5.

$$Q_R = (B_d - B_i) \times CA \quad (5)$$

Em que Q_R é a Quantidade de ração consumida na engorda (kg); B_d , Biomassa de peixes na despesa (kg); B_i , Biomassa inicial de juvenis (kg) e CA: Conversão alimentar.

4.2.6. Análises estatísticas

Para avaliar as diferenças dos fluxos de nitrogênio e fósforo no balanço de massa para os tamanhos de viveiro, os dados obtidos foram submetidos a análise de variância ANOVA e teste de comparação de médias, “Teste de Tukey” com nível de 5% de significância, sendo considerado significativo p-valor $< 0,05$. As análises foram realizadas com auxílio do software *Statistica versão 7.1* (STATSOFT, 2005).

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Caracterização da água de abastecimento

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados médios da caracterização da água de abastecimento das diferentes propriedades avaliadas. A variabilidade dos resultados expressas pelo desvio-padrão se refere as diferenças entre as nascentes de cada propriedade.

Tabela 6. Caracterização da água de abastecimento*.

Parâmetro	Concentração
PT (mg/L)	0,034 ± 0,014
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,129 ± 0,075
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,008 ± 0,004
NH ₃ (mg/L)	0,089 ± 0,068
NT (mg/L)	0,540 ± 0,050
OD (mg/L)	6,330 ± 0,950
CE (μ.S/cm)	49,100 ± 31,580
pH	6,840 ± 0,450
T°C ef	22,230 ± 0,980
T°C ar	28,800 ± 4,680

*Resultados expressos pela média ± desvio padrão. A presença de PO₄³⁻ nas amostras de água de abastecimento foram inferiores a concentração mínima de detecção (0,001 mg/L) e não foram apresentadas nesta Tabela. Sendo que, PT: Fósforo total; NO₃⁻: Nitrato; NO₂⁻: Nitrito; NH₃: Nitrogênio amoniacal; NT: Nitrogênio total; OD: Oxigênio dissolvido; CE: Condutividade elétrica; pH: Potencial hidrogeniônico; T°C ef: Temperatura do efluente e T°C ar: Temperatura do ar.

A qualidade da água no ambiente de produção é diretamente influenciada pelas características da água de abastecimento, estando relacionadas a presença de substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, produtividade primária e microrganismos (MACEDO e SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

De acordo com a Resolução Conama nº 430/2011, as condições de qualidade de águas de abastecimento provenientes de rios de classe II estabelecidas são: pH entre 6 a 9; oxigênio dissolvido superior a 5 mg/L; fósforo total para ambientes lóticos inferior a 0,05 mg/L; nitrato e nitrito inferiores a 10 e 1 mg/L, respectivamente e nitrogênio amoniacal total inferior a 3,7 mg/L para ambientes com pH abaixo de 7,5 (BRASIL, 2011). Dessa forma, os resultados encontrados para as águas de abastecimento apresentaram-se de acordo com o estabelecido pela legislação.

Entretanto, pela Tabela 6, pode-se observar que essas águas apresentam carga de NT e PT, que provavelmente, de acordo com Hu et al. (2012) e Palácio et al. (2016), se deve a percolação de nutrientes provenientes das atividades agrícolas que são intensas no entorno das propriedades. Além disso, as áreas onde estão localizadas as nascentes que abastecem os viveiros são protegidas por mata ciliar, no qual, o acúmulo e a decomposição das folhas também podem ser considerados como fontes de produção de nutrientes, principalmente as formas nitrogenadas.

As condições ideais da água de abastecimento para a criação de Tilápias do Nilo podem variar. A temperatura da água considerada como ideal é de 29 a 31°C, o oxigênio dissolvido de 5 a 6 mg/L, pH de 4 a 9 e níveis de nitrogênio amoniacal total inferior a 0,43 mg/L (COLT & KROEGER, 2013). Neste estudo, embora a temperatura média da água de abastecimento tenha apresentado valor inferior ao recomendado, a região apresenta temperatura ambiente elevada durante quase todo ano, a tendência é que a temperatura da água durante o período de terminação permaneça a maior parte do tempo na temperatura considerada ideal.

Em relação a condutividade elétrica (CE), Figueró et al. (2018) sugerem que para criação de peixes em viveiros escavados valores próximos de 70 µS/cm são considerados ideais. Os valores encontrados para a CE na água de abastecimento são considerados adequados para o uso da água em piscicultura.

4.3.2. Caracterização dos efluentes no processo de despesca

Os resultados da caracterização dos efluentes avaliados nos diferentes momentos do processo de despesca (Tabela 7), mostram que no nível N1 que também pode ser considerado

como água de criação no final de ciclo de engorda, os valores de PT e NT apresentaram valores superiores aos encontrados na água de abastecimento, com destaque para o NT que nos viveiros de tamanho médio e grande estão em concentração 9 e 11 vezes maior, respectivamente.

Pode-se observar que as concentrações de PT, NT e NH_3 aumentaram em cada fase da despesca, apresentando concentrações superiores em N3 (final da despesca), devido à redução de volume de água nos viveiros. Esse comportamento pode ser explicado, que devido a diminuição do volume de água ocorre uma maior concentração dos peixes, havendo maior movimentação da água e suspensão da matéria orgânica do fundo do viveiro que colabora para maior liberação destes compostos. No caso do parâmetro NH_3 , apesar das altas concentrações encontradas, não se apresentam na sua forma tóxica para os peixes em função do pH da água, no qual se manteve estável durante todo o processo de despesca, e ideal para a criação desta espécie.

Tabela 7. Caracterização dos efluentes durante o processo de despesca, nos diferentes tamanhos de viveiros*.

Parâmetro	Pequeno			Médio			Grande		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
PT (mg/L)	0,32 ± 0,22	2,06 ± 1,78	3,67 ± 4,92	0,91 ± 0,49	2,20 ± 1,21	8,56 ± 8,54	0,62 ± 0,30	1,07 ± 0,74	1,30 ± 0,31
PO₄³⁻ (mg/L)	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,10	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
NO₃⁻ (mg/L)	0,44 ± 0,11	0,42 ± 0,15	0,36 ± 0,21	0,76 ± 0,39	0,79 ± 0,61	0,47 ± 0,41	1,20 ± 0,93	1,01 ± 0,79	0,47 ± 0,53
NO₂⁻ (mg/L)	0,12 ± 0,08	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,03	0,45 ± 0,37	0,43 ± 0,37	0,19 ± 0,14	0,24 ± 0,16	0,21 ± 0,24	0,20 ± 0,26
NH₃ (mg/L)	0,67 ± 0,46	1,03 ± 0,36	1,06 ± 0,71	2,05 ± 1,14	2,49 ± 1,37	3,23 ± 1,79	1,06 ± 1,10	1,09 ± 1,10	1,78 ± 0,70
NT (mg/L)	2,27 ± 1,05	5,18 ± 2,90	9,25 ± 11,87	6,03 ± 1,95	9,08 ± 2,40	24,68±16,91	4,86±1,44	6,30 ± 2,16	6,25 ± 1,85
OD (mg/L)	6,23 ± 0,48	1,64 ± 0,32	0,86 ± 0,74	5,53 ± 1,62	2,99 ± 1,81	1,31 ± 1,27	6,73 ± 2,58	3,17 ± 0,79	1,97 ± 2,48
CE (µ.S/cm)	71,87±27,18	152,5±27,54	118,7± 8,54	82,50±29,86	117,5±42,52	133,8 ± 14,4	93,12 ± 17,95	123,75±49,6	91,25±20,16
pH	6,88 ± 0,43	6,35 ± 0,12	6,29 ± 0,12	6,81 ± 0,17	6,63 ± 0,23	6,59 ± 0,20	6,64 ± 0,26	6,43 ± 0,37	6,34 ± 0,21
T°C ef	20,50 ± 1,70	18,00 ± 5,35	22,88 ± 8,19	21,10 ± 2,00	14,50 ± 1,73	18,25 ± 4,57	21,70 ± 1,60	16,75 ± 0,96	26,75 ± 6,65
T°C ar	20,50 ± 1,80	18,55 ± 2,74	21,33 ± 5,81	19,60 ± 2,00	19,90 ± 1,07	19,18 ± 1,14	21,10 ± 0,80	21,68 ± 1,80	24,50 ± 5,13

*Resultado expresso pela média ± desvio padrão. Sendo que, N1: Nível 1; N2: Nível 2; N3: Nível 3; PT: Fósforo total; PO₄³⁻: Ortofosfato; NO₃⁻: Nitrato; NO₂⁻: Nitrito; NH₃: Nitrogênio amoniacal; NT: Nitrogênio total; OD: Oxigênio dissolvido; CE: Condutividade elétrica; pH: Potencial hidrogeniônico; T°C ef: Temperatura do efluente e T°C ar: Temperatura do ar.

Para os viveiros de tamanho médio foram observados valores superiores em comparação aos viveiros pequenos e grandes. Uma provável causa da diferença da concentração destes parâmetros em relação ao tamanho do viveiro se deve aos aspectos construtivos, como a diferença de formato e declividade, em que, podem provocar diferenças nas velocidades de drenagem.

Em relação aos parâmetros PO_4^{3-} , NO_2^- e NO_3^- não foram observadas mudanças relevantes durante o processo de despesca, possivelmente devido ao curto espaço de tempo. Estes parâmetros podem ser considerados como produtos resultantes de transformações bioquímicas, em que não ocorrem de forma significativa durante o processo de despesca e sim ao longo do processo de criação. Para NO_2^- e NO_3^- em todos os tamanhos de viveiros houve diminuição da concentração durante o processo de despesca, indicando que essas formas nitrogenadas estão mais dissolvidas nos efluentes e são eliminadas no processo.

Pela Tabela 7, pode-se observar que a CE variou no processo de despesca. Esse parâmetro está diretamente ligado à concentração de sais inorgânicos na água, nos viveiros de tamanho pequeno e grande a CE se elevou entre os níveis N1 e N2 provavelmente devido ao aumento nos sólidos em suspensão e diminuiu em N3, já nos viveiros de tamanho médio houve um aumento progressivo da CE entre N1 e N3. Entretanto, durante o período de criação, a CE pode ser considerada como um parâmetro indicador de estado de eutrofização da água, em que valores elevados indicam alto grau de decomposição de matéria orgânica (BHATNAGAR e DEVI, 2013), valores próximos de $70 \mu\text{S}/\text{cm}$ para criação de peixes em viveiros escavados são considerados normais (FIGUERÓ et al., 2018)

4.3.3. Caracterização do sedimento

As características do sedimento acumulado no fundo dos viveiros estão apresentadas na Tabela 8. Pode-se verificar que teores de PT no sedimento são semelhantes entre os diferentes tamanhos de viveiros, entretanto para NT, os viveiros de tamanho médio apresentaram maior acúmulo de NT do lodo com $3,98 \text{ g}/\text{kg}$.

Tabela 8. Características do sedimento presente no fundo dos diferentes tamanhos de viveiros*.

Tamanho do viveiro	MS (%)	PT ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	NT ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Pequeno	$25,42\pm 0,37$	$2,23\pm 0,43$	$2,13\pm 0,54$
Médio	$26,22\pm 0,60$	$2,90\pm 0,86$	$3,98\pm 1,15$
Grande	$26,10\pm 0,20$	$2,48\pm 0,60$	$2,80\pm 0,91$

*Resultado expresso pela média \pm desvio padrão. Sendo que, MS: Matéria Seca; PT: Fósforo total e NT: Nitrogênio total;

4.3.4. Caracterização centesimal da ração e peixes ao final da engorda

O sistema de produção avaliado nesse estudo é padronizado, indicando que tanto a alimentação quanto o manejo alimentar foram os mesmos adotados para todos os tamanhos de viveiros. Isso pode ser confirmado pelos resultados encontrados na composição centesimal da ração e dos peixes apresentadas na Tabela 9, no qual não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes tamanhos de viveiros.

Tabela 9. Composição centesimal da ração e dos peixes amostrados durante a avaliação dos efluentes*.

Variável/ Amostra e tamanho do viveiro	Peixe			Ração		
	P	M	G	P	M	G
PB (%)	15,94±0,23	15,33±0,58	15,33±0,80	31,86±0,70	33,28±1,18	32,67±1,32
EE (%)	14,17±1,53	12,98±0,67	12,56±1,15	5,99±0,83	5,13±1,03	4,72±0,66
MM (%)	4,12±1,00	3,61±0,61	4,39±0,56	8,48±0,25	8,40±0,99	8,56±1,27
UM (%)	64,93±0,69	67,73±2,03	65,56±1,70	8,10±0,40	8,75±0,70	8,05±0,50
MS (%)	35,07±0,69	32,27±2,03	34,44±1,69	91,90±0,40	91,24±0,70	91,94±0,51
NT (%)	2,55±0,04	2,45±0,09	2,45±0,13	5,10±0,11	5,32±0,19	5,23±0,21
PT (%)	0,70±0,08	0,66±0,06	0,65±0,06	1,31±0,09	1,35±0,12	1,34±0,16

*Resultado expresso pela média \pm desvio padrão. Sendo que, P: Viveiro pequeno; M: Viveiro médio; G: Viveiro grande; PB: Proteína Bruta; EE: Extrato Etéreo; MM: Matéria Mineral; UM: Umidade; MS: Matéria Seca; NT: Nitrogênio Total; PT: Fósforo Total.

Pela Tabela 9, pode-se também observar que o teor de PT encontrado na ração *in natura* variou entre 1,31 a 1,35%, sendo resultados superiores ao recomendado para a fase de crescimento, que de acordo com Boscolo et al. (2003) sugerem uma variação de 0,35 a 0,70% e Schamber et al. (2014) sugerem 0,61% da composição do alimento.

4.3.5. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo no processo da despesca da tilápia

4.3.5.1. Balanço de massa de NT e PT na conversão de biomassa de Tilápia

O balanço da conversão da matéria seca de NT e PT (Tabela 10), presentes no alimento e transformados em matéria seca em forma de biomassa (peixes) representam uma visão geral da produção, independentemente do tamanho dos viveiros e foram calculados de acordo com a caracterização da ração e dos peixes.

Tabela 10. Balanço de massa de NT e PT na conversão de biomassa de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) em viveiros escavados.

Variável	Matéria natural	Matéria seca	NT	PT
Ração kg ha ⁻¹	64043	58724	3341	852
Peixes kg ha ⁻¹ peso vivo	44536	15107	1110	301
Carga resíduos do viveiro (kg ha ⁻¹)		43617	2230	551
Convertido em biomassa de peixe (% da adição)		25,7	33,2	35,3

A carga residual de NT e PT acumulada nos viveiros foi calculada considerando os parâmetros zootécnicos de produção das propriedades avaliadas, em que a produtividade média para o período de abril/2016 a março/2017 foi de 45636,0 kg.ha⁻¹, peso médio final 0,9 kg, com uma biomassa inicial de juvenis de 1074,0 kg.ha⁻¹ e a conversão alimentar média de 1,438. As informações de produtividade e consumo de ração foram fornecidas pelo sistema de integração.

Nossos achados mostram que 25,7% da matéria seca fornecida na forma de ração foi convertida em matéria seca como peixe (Tabela 10). Pela relação apresentada, 33,2% do NT e 35,3% do PT adicionados na forma de ração são retirados na forma de peixes no momento da despesca. A diferença entre a quantidade de NT e PT inseridas no alimento em relação à biomassa convertida em peixes pode ter sido eliminada nos efluentes líquidos pelo processo de renovação de água, durante a despesca, acumulada no sedimento, absorvidas pelas algas e/ou perdidas durante o ciclo de produção.

Boyd e Queiroz (2004) estudando a dinâmica de remoção de nitrogênio e fósforo nas tilápias no momento da despesca verificaram que são recuperados pelos peixes 20,7% da matéria seca, 32,5% de NT e 46,8% de PT que foram adicionados nos viveiros pela ração durante o período de criação. Estes resultados foram encontrados utilizando uma ração com 30% de PB e 1,2% de PT. Em comparação aos dados encontrados na Tabela 10, em relação à recuperação da matéria seca obteve-se uma melhora de 5%, indicando menor acúmulo de resíduos. Quanto à recuperação do fósforo pelos peixes, esta pode ser explicada pela composição da ração estudada que foi de 1,33% (Tabela 8).

Levando em consideração que a exigência de fósforo pela espécie varia de 0,35 a 0,7%, que a ração avaliada neste estudo contém em média 1,33% em sua formulação e a recuperação no peixe foi de 35,3%, pode-se concluir que aproximadamente 0,47% de inserção de fósforo na ração seriam suficientes, entretanto, sabe-se que as taxas de absorção e de assimilação também variam entre as espécies e entre as fases de criação, explicando o uso de quantidades maiores desse nutriente em formulações. Uma vez que o peixe necessita de uma quantidade menor de

fósforo para seu desenvolvimento, pode-se constatar que o excedente não absorvido está sendo disponibilizado para o ambiente.

Em relação à recuperação de nitrogênio, Osti et al. (2016) estudaram o fluxo de NT na criação de tilápias com peso médio final de 667 g e encontraram uma taxa de recuperação de 26% do NT oferecido por uma ração com 28% desse nutriente. Nesse estudo, foi encontrado 33,2% de recuperação de NT indicando uma maior digestibilidade possivelmente explicada pela melhor qualidade proteica da ração.

De acordo com Boscolo et al. (2011) o desempenho e a eficiência de utilização proteica das rações balanceadas está diretamente relacionada a razão energia:proteína. Rações com excesso de energia podem proporcionar redução do consumo de proteína, e, conseqüentemente, de aminoácidos necessários para maximizar a deposição de proteína corporal, comprometendo o desempenho dos peixes. Ao contrário, a utilização de rações com baixos teores de energia, parte dos aminoácidos serão utilizados para fins energéticos, reduzindo suas disponibilidades para a deposição de proteína corporal e aumentando a produção de resíduos metabólicos nitrogenados.

Dessa forma as formulações das rações devem ser o mais próximo possível da exigência da espécie. Assim como, a qualidade dos ingredientes da ração é um fator importante a ser considerado para minimizar a quantidade de resíduos gerados e, conseqüentemente, a redução de níveis de compostos nitrogenados e fósforo (BOMFIM, M. A. D., 2013).

4.3.5.2. Balanço de massa de NT e PT durante o processo de despesca

Um dos momentos que podem gerar impacto ao meio ambiente com relação a atividade de piscicultura é o momento da despesca, principalmente quando esta é realizada de forma inadequada, pois um grande volume de efluentes é drenado dos viveiros em um curto espaço de tempo, com cargas poluentes suficientes para impactos localizados (BOYD et al., 2007; SANTOS e CAMARGO, 2014).

Na Tabela 11 estão demonstrados os fluxos de entrada e saída de NT e PT e o balanço de massa em função do tamanho dos viveiros e do volume de efluentes drenado em cada etapa da despesca.

Tabela 11. Balanço de Massa do Nitrogênio Total e do Fosforo Total para os diferentes tamanhos de viveiros*.

	NT(kg.ha ⁻¹)			PT(kg.ha ⁻¹)		
	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande
Entradas						
Água abastecimento	8,10±0,17	8,18±1,04	8,45±1,14	0,60±0,33	0,50±0,09	0,42±0,19
Água para renovação	162,00±3,34	163,36±20,87	168,83±22,82	12,00±6,61	9,90±1,09	8,40±3,81
Juvenis ¹	80,00±2,03	83,86±6,15	78,62±7,41	21,28±2,24	22,68±2,23	21,01±3,13
Ração ²	3257,37±85,22	3427,11±142,73	3338,75±128,68	836,92±55,56	866,11±81,27	857,31±99,52
Saídas						
Efluente N1	20,49±9,49	54,34±17,60	43,76±12,95	2,90±0,93	8,15±4,42	5,56±2,70
Efluente N2	27,17±15,20	47,64±12,58	33,08±11,36	10,82±9,32	11,55±6,34	5,63±3,87
Efluente N3	6,94±8,90	18,51±12,68	4,69±1,39	2,75±3,69	6,42±6,40	0,98±0,23
Convertido em peixes	1135,49±16,39	1092,20±41,15	1092,50±57,01	310,75±36,38	295,83±28,21	291,33±28,93
Sedimento	269,73±67,17	519,42±142,50	364,71±116,51	282,24±50,37	379,94±113,43	322,79±96,20
Balanço de massa						
Total de entradas	3507,51±86,75	3683,16±139,06	3594,64±144,57	871,35±49,46	899,19±82,99	887,28±99,85
Convertido em peixes	1135,49±16,39	1092,20±41,15	1092,55±57,01	310,72±36,38	295,84±28,21	291,33±28,93
Efluentes da pesca**	54,59±25,58 a	120,49±24,64 b	81,52±23,85 ab	16,47±9,32	26,11±10,60	12,18±5,93
Acumulado no sedimento**	269,73±67,17 a	519,42±142,50 b	364,71±116,51 ab	282,24±50,37	379,94±113,43	322,79±77,28
Eliminado durante a engorda	2047,70±54,90	1951,05±172,49	2055,85±88,53	261,91±34,15	197,30±103,35	260,99±96,20

*Resultado expresso pela média ± desvio padrão. **Pela análise de variância ANOVA ao nível de 5% de significância houve diferença significativa. As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. (¹ concentração do nutriente no peixe multiplicado pela biomassa inicial de juvenis; ² concentração do nutriente na ração multiplicado pela quantidade consumida na terminação)

Pode-se observar que com relação as entradas de NT e PT no sistema os resultados são semelhantes devido a padronização do sistema de produção. Embora a água de abastecimento seja de nascentes diferentes, as características se assemelham e o incremento de NT e PT no momento do enchimento dos viveiros não interfere nas condições de qualidade dos efluentes gerados.

O mesmo pode-se afirmar para a quantidade de nutrientes inseridas através do processo de renovação da água durante o ciclo de produção, pois a quantidade apresentada na tabela é diluída ao longo de todo período de engorda e a carga diária de NT e PT incorporada ao sistema pela renovação é pequena. A carga total de nutrientes inserida no enchimento dos viveiros e na renovação durante o ciclo de produção corresponde na média a 2,42% de NT e 1,45% de PT.

Os juvenis de tilápias utilizados para o povoamento do viveiro no início da criação também representam uma carga de nutrientes em função da sua composição, sendo que esta biomassa foi desconsiderada no balanço apresentado na tabela 10. Os juvenis representam 2,28% do NT e 2,44% de PT. O grande responsável por incorporar nutrientes no sistema é o alimento fornecido aos peixes. A ração dentro desta avaliação foi responsável por 92,87% do NT e 96,05% do PT no sistema de produção.

Estatisticamente o balanço de massa mostra diferença significativa entre os tamanhos de viveiros para o NT eliminado nos efluentes da despesca e para o NT acumulado nos sedimentos, com os viveiros médios apresentando os maiores resultados, mas não diferindo dos viveiros grandes (Tabela 11).

Um balanço de massa relativo de NT e PT para os diferentes tamanhos de viveiros é apresentado na Tabela 12. Observa-se que o percentual de NT e PT eliminados através dos efluentes da despesca é pequeno em relação ao percentual eliminado ou transformado durante o período de terminação. Entretanto, a carga eliminada é pontual e passível de geração de impactos locais. Para ilustrar o quanto de NT e PT é lançado ao ambiente durante o processo da despesca na Figura 8, estão representados os diferentes tamanhos de viveiros e a proporção de nutrientes eliminados em cada nível da despesca.

Tabela 12. Balanço de massa relativo de NT e PT para os diferentes tamanhos de viveiros.

	NT (%)			PT (%)		
	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande
Convertido em peixes	32,37	29,65	30,39	35,70	32,90	32,83
Eliminado efluentes despesca	1,56	3,27	2,27	1,89	2,90	1,37
Retido no sedimento	7,69	14,10	10,14	32,41	42,25	36,38
Eliminado/transformado durante a terminação	58,38	52,98	57,20	30,00	21,95	29,42

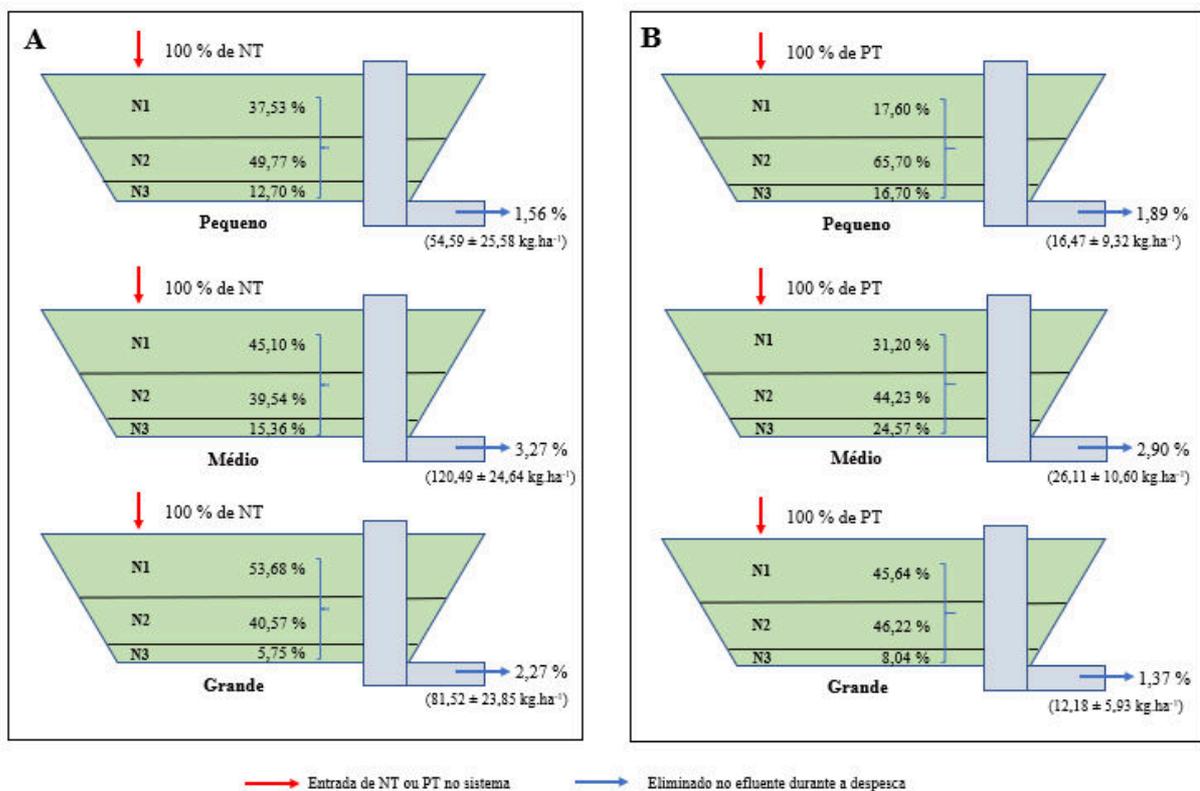


Figura 8. A) Percentual de NT eliminado através dos efluentes no momento da despesca, com a proporção para cada nível de água nos diferentes tamanhos de viveiros. B) Percentual de PT eliminado através dos efluentes no momento da despesca, com a proporção para cada nível de água nos diferentes tamanhos de viveiros.

A quantidade em kg de NT e PT eliminada através dos efluentes na despesca é expressiva, entretanto, proporcionalmente a quantidade que é inserida no sistema durante o ciclo de produção é pequena, correspondendo em média para os diferentes tamanhos de viveiro a 2,37% de NT e 2,05% de PT. Os viveiros de tamanho médio apresentaram o maior percentual de eliminação de NT na despesca que foi de 3,27%, sendo que deste percentual 45,10% é

eliminado em N1, 39,54% em N2 e 15,36% em N3 (Figura 8A). Para o PT nos viveiros de tamanho médio este percentual correspondeu a 2,90%, com 31,20, 44,23 e 24,57% deste percentual eliminados em N1, N2 e N3 respectivamente (Figura 8B).

Os valores referentes aos 3,27% de NT e 2,90% de PT exportados para o ambiente nos viveiros de tamanho médio (Tabela 12), referem-se somente a drenagem da despesca. Boyd e Queiroz (2001) determinaram que 16% de NT e 11,4% de PT são exportados ao ambiente durante o período de criação. Osti et al. (2016) também encontraram valores semelhantes acompanhando várias fases de engorda de tilápias durante 128 dias. Entretanto, para o efluente liberado somente no momento da despesca não há informações.

Com relação aos nutrientes acumulados no sedimento, viveiros de tamanho médio apresentaram um acúmulo de N significativamente maior que os viveiros pequenos, porém não diferiram dos viveiros grandes (Tabela 11). Com relação ao acúmulo de P, o tamanho do viveiro não interferiu na proporção acumulada. Os valores de N acumulados no sedimento são menores pois o N pode ser perdido no processo de desnitrificação ou volatilizado pela difusão da amônia (GROSS et al., 2000), já o fósforo pode ser absorvido facilmente pelo solo (MASUDA e BOYD, 1994) e isso explica o percentual acumulado no sedimento.

A aquicultura conduzida em viveiros escavados promove o acúmulo de resíduos no fundo dos viveiros. A matéria orgânica gerada pelas fezes e sobras de alimentação se decompõe ou se acumula no fundo dos viveiros (BOYD et al., 2010). A quantidade que fica acumulada nos viveiros depende da taxa de conversão alimentar em função da matéria seca da ração e da espécie de peixe. Em uma avaliação onde foi considerado uma taxa de conversão alimentar de 1,7, matéria seca da ração de 90% e matéria seca de tilápia de 25%, Chatvijitkul et al., (2017) calcularam uma taxa de conversão alimentar da matéria seca de 6,12, concluindo que em cada 200 kg de matéria seca de ração utilizada na alimentação gera 150 kg de resíduos.

A taxa de conversão alimentar da matéria seca encontrada foi de 3,89, considerando uma média de 91,7% de matéria seca para ração e 33,9% para os peixes (Tabela 9) e conversão alimentar de 1,438. Estes valores nos indicam que para cada 200 kg de matéria seca de ração utilizada na alimentação gera 133,2 kg de resíduos. Isso mostra a importância contínua aos cuidados com o manejo alimentar.

Em média, observa-se que 58,55% do N e 29,18% do P (Tabela 12) que foi inserido no sistema é eliminado nos efluentes da despesca ou durante a engorda. Boyd e Tucker, (2014), descrevem que em piscicultura eficientes 20-30% de N e 5-10% de P aplicados através da ração são eliminados nos efluentes. Boyd e McNevin (2015) indicam que 40% de N e 20% de P podem ser eliminados através dos efluentes. Entretanto, cabe ressaltar que o estudo não avaliou

somente o aporte de nutrientes via ração, bem como, não foram avaliadas como se deram as perdas durante o período de criação, pois parte destes nutrientes podem ter sido absorvido pelo fitoplâncton que também retornam aos peixes.

O aporte de nutrientes no ambiente aquático seja ele da indústria ou de atividades agrícolas, nesta inclui-se a aquicultura, devem ser monitorados e minimizados. Na atividade da aquicultura realizada em viveiros escavados de forma intensiva o momento da despesca se apresenta como ameaça não mais como impactos locais, pois em uma mesma bacia hidrográfica é comum estarem instaladas várias áreas destinadas a aquicultura e a somatória do volume diário de efluentes pode ser maior que a capacidade de autodepuração do ambiente.

4.4. Conclusão

A principal fonte de aporte de nutrientes na piscicultura intensiva de viveiros escavados observada neste trabalho é a ração, que é responsável por aproximadamente 93% de NT e 96% de PT. O volume de nutrientes não preocupa apenas pelo impacto ambiental que isto pode causar através dos nutrientes, mas também, por problemas causados aos peixes durante o período de engorda, o excesso de nutrientes provoca eutrofização que tem por consequência redução nos padrões de qualidade de água considerados ideais para os peixes, provocando estresse, aumentando o risco de doenças e até mortalidade.

Os resultados das análises da ração indicam que o teor de P presente no alimento está acima da necessidade exigida para a tilápia do Nilo, medidas corretivas devem ser adotadas para minimizar o aporte de P através do alimento. O manejo alimentar também pode ser aprimorado para melhorar as taxas de conversão alimentar que influencia diretamente na quantidade de resíduos produzidos.

As águas de abastecimento, especialmente as nascentes, devem permanecer protegidas, principalmente quanto a contaminação provocada por áreas agrícolas que estão em seu entorno, não apenas quanto a percolação de nutrientes, mas também com relação a risco de contaminação por agrotóxicos utilizados na agricultura. O aporte de nutrientes da água de abastecimento e da renovação representa 2,42% de NT e 1,45% de PT, mas podem ser diminuídos através de boas práticas de conservação.

Considerando a possibilidade de remoção dos sedimentos ao final da terminação, os viveiros de tamanho médio apresentaram maior retenção de nutrientes no sedimento, sendo que estes podem ser utilizados como fertilizantes na agricultura. O manejo correto ao final da

criação, tais como exposição ao sol e revolvimento do fundo dos viveiros pode ajudar na total decomposição desta matéria orgânica antes do início de outro ciclo produtivo. Ações realizadas durante a engorda também podem colaborar para diminuição da deposição dos sedimentos, tais como, melhorar a qualidade da ração e melhorar as condições da água durante a criação, mantendo níveis adequados de oxigênio dissolvido em toda coluna d'água, correção de pH e alcalinidade para que os microrganismos realizem a ciclagem dos nutrientes.

A quantidade de nutrientes lançados ao ambiente durante o processo de despesca apesar de representar apenas uma pequena porção do total inserido no sistema é liberado em um curto espaço de tempo, e medidas mitigadoras devem ser consideradas. Apesar dos viveiros de tamanho médio apresentarem maior impacto com relação ao NT eliminado durante a despesca, não podemos afirmar que este tamanho de viveiro não seja adequado a produção, pois boas práticas de manejo podem revolver esta situação.

5. CAPÍTULO 4. Considerações finais

O Brasil é um país com abundância em área de água e com condições ambientais e tecnológicas para se tornar um grande produtor mundial de peixes através da aquicultura. O grande desafio, assim como em outras atividades é desenvolver-se com sustentabilidade. A carne de peixe já representa 17% de toda proteína animal consumida no mundo, embora seja difícil competir com os custos de produção da carne de frango e suínos por exemplo, a população de maneira geral tende a buscar uma alimentação mais saudável.

As consequências ambientais que podem ser provocadas pela má condução da atividade de aquicultura em alguns locais podem ser irreversíveis. O aporte de nutrientes e matéria orgânica promovido pelos efluentes da atividade pode causar a eutrofização de determinados ambientes e, conseqüentemente, provocar a mortandade de espécies ou até extingui-las. É comum o gerenciamento de cada propriedade individualmente e geralmente a avaliação do impacto provocado pelos efluentes é realizada considerando o local ou a capacidade de autodepuração do corpo receptor. Entretanto, a intensificação das criações e das áreas utilizadas para produção dentro de uma mesma bacia hidrográfica pode provocar uma sobrecarga de nutrientes na qual o ambiente não tenha condições de reciclar.

Nesse sentido, a problemática da piscicultura ainda é o fator alimentação dos peixes, pois a ração além de representar 70% dos custos de produção, também é a maior responsável pelo aporte de nutrientes no meio aquático. As pesquisas com relação a nutrição são constantes, no entanto, ainda faltam regulamentações que limitem a quantidade máxima de fósforo que é incluído na ração e que determinem o uso de fontes de proteínas que tenham alto percentual de digestibilidade, evitando que os nutrientes não absorvidos pelos peixes sejam eliminados no ambiente pelos processos biológicos.

O lançamento indiscriminado de efluentes da piscicultura é preocupante, não apenas pela sua capacidade de poluição, pois na piscicultura intensiva o efluente pode ser comparado ao efluente doméstico em termos de carga de nutrientes. Além disso, várias pisciculturas têm usado como fonte de água de abastecimento a captação de água de rios onde os efluentes de outras pisciculturas são lançados. A água de nascentes avaliada neste trabalho já apresentou carga de nutrientes, que embora baixa, também contribui para o acúmulo de NT e PT durante o ciclo de produção. Avaliando apenas o aspecto de carga de nutrientes, quando se tratar da captação de água de rios, a tendência é que o aporte de nutrientes na água de abastecimento seja

maior, devido a várias fontes poluidoras que estão no entorno, podendo ser a agricultura, indústria, efluentes domésticos e a própria piscicultura.

A avaliação dos parâmetros apresentados na caracterização mostrou uma forte correlação entre a concentração dos sólidos presentes no efluente sobre o aumento na concentração de parâmetros do PT e NT o que indica que medidas devem ser tomadas para diminuição dos sólidos durante a terminação, evitando assim, problemas ambientais na liberação dos efluentes.

Diante das informações observadas na caracterização dos efluentes da despesca e da dinâmica do comportamento dos nutrientes dentro do sistema de criação algumas recomendações podem ser descritas no intuito de melhorar as condições do ambiente de produção, visando a melhoria na qualidade dos efluentes produzidos.

Com relação a ração:

Quanto menor a taxa de conversão alimentar, melhor será a taxa de conversão em relação a matéria seca da ração em biomassa de peixes;

Priorizar sempre o uso de ingredientes de qualidade e fontes de proteína de alta digestibilidade para os peixes;

Buscar formulações que mantenham o nível de fósforo da ração entre 0,7 e 1%, ou o mais próximo de 0,7%, com fontes de P digestíveis ou utilização de enzimas, como a fitase, para reduzir os níveis de inclusão de fósforo inorgânico nas rações;

Evitar a presença de “finos” na ração e sobras durante a alimentação. Essa porção do alimento é perdida para o ambiente e colabora para a eutrofização.

Com relação a manutenção dos padrões de qualidade da água durante a engorda:

Melhorar a concentração de oxigênio dissolvido em todo perfil da coluna d'água, mantendo acima de 5 mg/L, melhorando assim as condições para decomposição da matéria orgânica;

Realizar a correção da alcalinidade da água, procurando mantê-la acima de 50 mg/L conforme recomendado para espécie, a alcalinidade é consumida durante os processos de nitrificação e desnitrificação, por isso o monitoramento deve ser constante;

Uso de probióticos para auxiliar na decomposição da matéria orgânica e transformação dos compostos nitrogenados, diminuindo assim o acúmulo de sedimentos nos viveiros, desde que atendidas as condições de oxigênio dissolvido e alcalinidade da água;

O uso do gesso agrícola pode ser uma alternativa para redução dos sólidos suspensos, entretanto, seu uso não substitui os cuidados com a manutenção da alcalinidade da água, assim o uso do gesso pode ser benéfico, dessa forma, estudos referentes a dosagem devem ser realizados;

Reduzir as taxas de renovação e estimular os produtores a implantar sistemas de reuso das águas, promovendo a sustentabilidade da atividade.

Com relação aos efluentes da despesca e sedimentos:

As medidas corretivas para manutenção da qualidade da água durante a engorda irão melhorar a qualidade dos efluentes;

Os efluentes nas condições apresentadas não devem ser lançados diretamente no ambiente, principalmente após a primeira passagem da rede, a menos que o corpo receptor tenha condições de diluir a carga poluidora sem provocar alterações significativas ao meio;

As lagoas de decantação são uma alternativa eficiente, desde que planejadas e utilizadas adequadamente;

Áreas alagadas com a presença de plantas aquáticas são um excelente filtro para retenção dos sólidos e diminuição da carga de nutrientes;

É importante respeitar o período de descanso e deixar o fundo do viveiro secar, para que o processo de decomposição da matéria orgânica seja completo evitando a demanda de oxigênio no sedimento no início do próximo ciclo de produção.

O manejo dos sedimentos deve ser realizado ao final de cada engorda, o excesso dificulta a despesca e prejudica a qualidade da água, sendo necessário remoções periódicas;

A aplicação e melhora nas Boas Práticas de Manejo, pode diminuir consideravelmente os impactos ambientais, entretanto, o aumento da produtividade também depende de investimentos em infraestrutura e adequação das instalações, devendo ser considerado nos projetos de implantação um sistema de tratamento e reuso das águas utilizadas pela aquicultura realizada em viveiros escavados.

6. CAPÍTULO 5 - Sugestões para trabalhos futuros

Considerando a demanda existente e as promissoras expectativas para piscicultura de viveiros escavados, bem como, levando em consideração os achados deste trabalho e as observações realizadas durante o período de coletas seguem algumas sugestões de temáticas que podem ser utilizadas para pesquisas futuras complementando os estudos até aqui realizados:

- ✓ Monitorar diferentes níveis de inclusão e fontes de fósforo utilizados nas rações de terminação e avaliar as taxas de conversão em biomassa de peixes;
- ✓ Monitorar e avaliar a eficiência do uso simultâneo de aeradores de pás e do tipo chafariz, determinar posicionamento e quantidade de CV/número de peixes necessário para manter o oxigênio dissolvido na concentração recomendada para a espécie em toda coluna d'água;
- ✓ Avaliar o efeito do uso dos probióticos sobre os compostos nitrogenados e determinar as concentrações de alcalinidade e oxigênio dissolvido da água durante a terminação para que seu uso seja eficiente;
- ✓ Utilizar o gesso agrícola para redução dos sólidos em suspensão, determinar dose e periodicidade do uso;
- ✓ Avaliar o efeito de diferentes pontos de entrada de água nos viveiros, para evitar zonas mortas (atualmente se utiliza na maioria das propriedades uma única entrada na extremidade oposta ao monge);
- ✓ Buscar estratégias para redução das taxas de renovação ou implantar sistemas de reuso da água;
- ✓ Determinar a eficiência das lagoas de decantação, tempo de detenção hidráulica e necessidade do uso de macrófitas para melhorar a qualidade dos efluentes lançados no meio ambiente, ou ainda, para reutilização desta água;
- ✓ Desenvolver metodologia para despesca sem a drenagem dos viveiros;
- ✓ Determinar um tempo mínimo de descanso dos viveiros para que ocorra a total decomposição do sedimento e melhore a qualidade da água para o próximo ciclo de engorda;
- ✓ Avaliar a hidrodinâmica dentro dos viveiros de engorda, definindo aspectos construtivos, como profundidade, relação comprimento/largura e formato que

possibilitem a menor quantidade de pontos com zonas mortas e acúmulo de sedimentos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABD-ELRAHMAN, A.; CROXTON, M.; PANDE-CHETTRI, R.; TOOR, G. S.; SMITH, S.; HILL, J., In situ estimation of water quality parameters in freshwater aquaculture ponds using hyperspectral imaging system. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 66, (4), 463-472, 2011.

ABDEL-TAWWAB, M.; HAGRAS, A. E.; ELBAGHDADY, H. A. M.; MONIER, M. N., Effects of dissolved oxygen and fish size on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.): growth performance, whole-body composition, and innate immunity. *Aquaculture international*, 23, (5), 1261-1274, 2015.

ALEXANDER, K.A., ANGEL, D., FREEMAN, S., ISRAEL, D., JOHANSEN, J., KLETOU, D., MELAND, M., PECORINO, D., REBOURS, C., ROUSOU, M., SHORTEN, M. and POTTS, T. Improving sustainability of aquaculture in Europe: stakeholder dialogues on integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Environmental Science & Policy*, vol. 55, no. 1, pp. 96-106, 2016.

AOAC. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

APHA, A. P. H. A., Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, 2005.

BEVERIDGE, M.C.M., PHILLIPS, M.J., MACINTOSH, D.J., Aquaculture and the environment: the supply and demand for environmental goods and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. *Aquaculture research* 28: 797-807, 1997.

BHATNAGAR A., DEVI P., Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *Int. J. Environ. Sci.* 3, 6, 1980-2009, 2013.

BIESTERFELD, S.; FARMER, G.; RUSSELL, P.; FIGUEROA, L., Effect of alkalinity type and concentration on nitrifying biofilm activity. *Water Environ Res*, 75, (3), 196-204, 2003.

BOMFIM, M. A. D., Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. *Rev.Cient.Prod.Anim.*, v15, n2, p. 122-140, 2013.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P., Numerical Ecology with R. In Springer: New York, p 319, 2011.

BOSCOLO, W. R. ; FEIDEN, A. Industrialização de tilápias. Toledo, GFM Gráfica & Editora, 2007.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; ALLAN BOMBARDELLI, R.; SIGNOR, A.; GENTELINI, A. L.; ESTEVÃO DE SOUZA, B., Exigência de fósforo para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 27, (1), 2005.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; REIDEL, A.; BROLL, F.; HOLDEFER, A.; SANTOS, R. V.; MARANHÃO, T. C. F., Exigência de fósforo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de crescimento. *Varia Scientia*, 3, (1), 115-124. 2003.

BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J. M. A.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A., Nutrição de Peixes Nativos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.145-154, 2011.

BOUWMAN, A.F., BEUSEN, A.H.W., OVERBEEK, C.C., BUREAU, D.P., PAWLOWSKI, M. and GLIBERT, P.M. Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, vol. 21, no. 2, pp. 112-156. 2013.

BOYD, C. E. & QUEIROZ, J.F. Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. Cyrino, J.E.P. *et al. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. (pp. 25-43) São Paulo: TecArt. 2004

BOYD, C. E. and McNEVIN. A. A. Aquaculture, resource use, and the environment. JohnWiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA. 2015.

BOYD, C. E. and QUEIROZ, J.F., Nitrogen, phosphorus loads vary by system, USEPA should consider system variables in setting new effluent rules. *Global Aquaculture Advocate*, vol. 4, no. 6, pp. 84-86. 2001.

BOYD, C. E. Aquaculture sustainability and environmental issues. *World Aquaculture*, v.30, p.10-72, 1999.

BOYD, C. E., and CHAINARK, S. Advances in technology and practice for land-based aquaculture systems: ponds for finfish production. *New technologies in aquaculture, improving production efficiency, quality and environmental management*. pp. 984-1009, 2009.

BOYD, C. E., Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 226, (1), 101-112, 2003.

BOYD, C. E., Sustainable aquaculture practices: phytoplankton dynamics in aquaculture ponds. *Global Aquacult Advocate* Nov/Dec, 67-68, 2006.

BOYD, C. E., TUCKER, C., MCNEVIN, A., BOSTICK, A. and CLAY, J., Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, vol. 15, no. 4, pp. 327-360. 2007.

BOYD, C. E., Water quality in ponds for aquaculture. Auburn: International Center for Aquaculture, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. 1990.

BOYD, C. E., Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Auburn University, Alabama Agr. Exp. Sta, 1979.

BOYD, C. E.; GAUTIER, D., Effluent composition and water quality standards. *Global Aquaculture Advocate*, 3, (5), 6, 2000.

BOYD, C.E., TUCKER, C.S., Handbook for Aquaculture Water Quality. Craftmaster Printers, Auburn, Alabama, 2014.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. In *Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, Brasil, n° 92, pág. 89*, 2011.

BRASIL, Resolução CONAMA n° 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. In *n° 53, Seção 1, p. 58-63.*, União, D. O. d., Ed. República Federativa do Brasil: Brasília, 2005.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria n° 108, de 04 de setembro de 1991. Métodos analíticos para controle de alimentos para uso animal – métodos físicos, químicos e microbiológicos. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de setembro de 1991, Seção 1, p. 19813*, 1991.

BROL, J & MOLINARI, D. Piscicultura no Paraná: Rumo a 100 mil toneladas. *Aquaculture Brasil*, Ed. 5, Março/Abril, 2017.

BRUM, S. A.; AUGUSTO, P. O. M. As estratégias da Copacol (PR) na produção de tilápia em escala industrial pelo sistema vertical integrado. *PARANÁ COOPERTIVO, Técnico Científico, Curitiba, v.10, n.122, p. 06-20, ed. esp. 10*, 2015.

CASTELLANI, D.; BARRELLA, W. Impactos da atividade de piscicultura na Bacia do Rio Ribeira do Iguape, SP – Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 32, n. 2, p. 161-171, 2006.

CHATVIJITKUL, S.; BOYD, C. E.; DAVIS, D. A. and McNEVIN, A. A. Pollution potential indicators for feed-based fish and shrimp culture. *Aquaculture*, 477, p. 43-49, 2017.

CHIDICHIMA, A. Industrialização de tilápias: agregação de valor para uma cadeia emergente da agricultura familiar. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2014.

COLDEBELLA, A., GENTELINI, A. L., PIANA, P. A., COLDEBELLA, P. F., BOSCOLO, W. R. and FEIDEN, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. *Sustainability*, 10, 3, 2018.

COLT, J.; KROEGER, E., Impact of aeration and alkalinity on the water quality and product quality of transported tilapia—A simulation study. *Aquacultural engineering*, 55, 46-58, 2013.

CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W., Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356, 351-356, 2012.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. d. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIK, J. K., A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, (suppl spe), 68-87, 2010.

de OLIVEIRA SARTORI, A. G.; AMANCIO, R. D., Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança alimentar e nutricional*, 19, (2), 83-93, 2012.

DIETERICH, F.; BOSCOLO, W. R.; LOSCH, J. A.; FEIDEN, A.; FURUYA, W. M.; SIGNOR, A. A., Fontes de fósforo em rações orgânicas para alevinos e juvenis de tilápia-do-nilo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, (3), 417-424, 2012.

DUARTE, S.; REIG, L.; MASALÓ, I.; BLANCO, M.; OCA, J., Influence of tank geometry and flow pattern in fish distribution. *Aquacultural engineering*, 44, (2), 48-54, 2011.

DURBOROW, R. M.; CROSBY, D. M.; BRUNSON, M. W., Ammonia in fish ponds. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32, 2379-2383, 1997.

EDWARDS, Peter, Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends, *Aquaculture*, doi:10.1016/j.aquaculture.2015.02.001, 2015.

ELER, M.N.; MILLANI, T.J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 33-44, 2007.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. In FAO: Rome, p 200, 2016.

FEIDEN, A.; KLEIN, S.; FEIDEN, I.F. Assistência técnica e extensão rural para a agricultura familiar. In: SIGNOR, A.A.; ZIBETTI, A.P.; FEIDEN, A. (Org.) Produção orgânica animal. Toledo: GFM/Água Viva, p.15-22, 2011.

FIGUEIRÓ, C. S. M.; BASTOS de OLIVEIRA, D.; RUSSO, M. R.; CAIRES, A. R. L.; ROJAS, S. S., Fish farming water quality monitored by optical analysis: The potential application of UV–Vis absorption and fluorescence spectroscopy. *Aquaculture*. In press, accepted manuscript, Available online 22 February 2018.

FRIMPONG, E. A.; ANSAH, Y. B.; AMISAH, S.; ADJEI-BOATENG, D.; AGBO, N. W.; EGNA, H., Effects of two environmental best management practices on pond water and effluent quality and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Sustainability* 6, (2), 652-675, 2014.

GREEN, J. A.; BRANDON, E. L.; HARDY, R. H. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Production-scale study. *Aquaculture Nutrition*, v.8, p.291-298, 2002.

GROSS, A., BOYD, C.E., WOOD, C.W., Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacult. Eng.* 24, 1-14. 2000.

HARDY, R. W., Collaborative opportunities between fish nutrition and other disciplines in aquaculture: an overview. *Aquaculture*, 177, (1), 217-230, 1999.

HARDY, R. W.; GATLIN, D., Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 3, (6), 2003.

HARGREAVES, J. A.; TUCKER, C. S., *Managing ammonia in fish ponds*. Southern Regional Aquaculture Center Stoneville, vol. 4603, 2004.

HENRY-SILVA, G. G. e CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aqüicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 34(1): 163 - 173, 2008.

HIXSON, S.M. Fish nutrition and current issues in aquaculture: the balance in providing safe and nutritious seafood, in an environmentally sustainable manner. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 5, 234, 2014.

HU, J.; QIAO, Y.; ZHOU, L.; LI, S., Spatiotemporal distributions of nutrients in the downstream from Gezhouba Dam in Yangtze River, China. *Environ Sci Pollut Res*, 19, (7), 2849-2859. 2012.

IBAMA/SEMA/IAP- Resolução Conjunta nº 002/2008 – IBAMA/SEMA/IAP. Estabelece normas e procedimentos para regularização ambiental de TANQUES, VIVEIROS, AÇUDES, PEQUENOS RESERVATÓRIOS E LAGOAS DESTINADOS PARA PRODUÇÃO DE PEIXES EM ÁGUAS CONTINENTAIS no estado do Paraná. Curitiba, 16 de janeiro de 2008. Brasil. 2008.

JENNINGS, S.; STENTIFORD, G. D.; LEOCADIO, A. M.; JEFFERY, K. R.; METCALFE, J.D.; KATSIADAKI, I.; AUCHTERLONIE, N. A.; MANGI, S. C.; PINNEGAR, J. K.; ELLIS, T.; PEELER, E. J.; LUISETTI, T.; BAKER-AUSTIN, C.; BROWN, M.; CATCHPOLE, T. L.; CLYNE, F. J.; DYE, S. R.; EDMONDS, N. J.; HYDER, K.; LEE, J.; LEES, D. N.; MORGAN, O. C.; O'BRIEN, C. M.; OIDTMANN, B.; POSEN, P. E.; SANTOS, A. R.; TAYLOR, N. G. H.; D TURNER, A. D.; TOWNHILL, B. L. & VERNER-JEFFREYS, D. W. Aquatic food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment. *FISH and FISHERIES*, 17, 893–938, 2016.

KIEDRZYŃSKA, E.; KIEDRZYŃSKI, M.; URBANIAK, M.; MAGNUSZEWSKI, A.; SKŁODOWSKI, M.; WYRWICKA, A.; ZALEWSKI, M., Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecol Eng.*, 70, 337-348, 2014.

KUBITZA, Fernando. A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercados. *Panorama da aqüicultura*. Vol. 13, nº 76, Mar/abril, 2003.

MACEDO, C. F. & SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: Consequências e recomendações. *Boletim Instituto de Pesca*, São Paulo, 36(2): 149-163, 2010.

MASUDA, K., BOYD, C.E., Phosphorus fractions in soil and water of aquaculture ponds built on clayey, Ultisols at Auburn, Alabama. *J. World Aquacult. Soc.* 25, 379-395, 1994.

OCA, J.; MASALÓ, I., Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural engineering*, 36, (1), 36-44, 2007.

OCA, J.; MASALÓ, I.; REIG, L., Comparative analysis of flow patterns in aquaculture rectangular tanks with different water inlet characteristics. *Aquacultural engineering*, 31, (3), 221-236, 2004.

OMOFUNMI, O. E.; ADEWUMI, J. K.; ADISA, A. F.; ALEGBELEYE, S. O., To Assess the Impact Catfish Farm Effluents on Water Quality of Majidun Stream, South-West, Nigeria. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 10, (2), 8, 2016.

OSTI, J. A. S., MORAES, M. A. B., CARMO, C. F., MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. *Braz. J. Biol.*, 2016,

PADE BP3, Proposta de Atualização do Enquadramento da Bacia do Paraná 3 – BP3. *Produto 05: Projeções de Cargas Domésticas, Industriais e do Setor Agropecuário*. Revisão 1, Julho 2016, Instituto das Águas do Paraná, 2016.

PALÁCIO, S. M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; de PAULI, A. R.; PIANA, P. A.; QUEIROZ, C. B.; FABRIS, S. C.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T., Assessment of Anthropogenic Impacts on the Water Quality of Marreco River, Brazil, Based on Principal Component Analysis and Toxicological Assays. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, (9), 307. 2016.

PORRELLO, S.; LENZI, M.; PERSIA, E.; TOMASSETTI, P.; FINOIA, M. G., Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system: I. Dissolved and particulate nitrogen and phosphorus. *Aquaculture*, 219, (1), 515-529, 2003.

QUEIROZ, J.F.; SILVEIRA, M.P. Recomendações práticas para melhorar a qualidade da água e dos efluentes da aquicultura. *Embrapa Meio Ambiente*, Circular Técnica 12, Jaguariúna, SP, 2006.

QUINN, G. P.; MICHAEL, J. K., Experimental design and data analysis for biologists. In Cambridge University Press: Cambridge, 2002.

RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. d., Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. *Rev Bras Eng Agr Amb.*, 2005.

ROSS, R. M.; WATTEN, B. J.; KRISE, W. F.; DiLAURO, M. N.; SODERBERG, R. W., Influence of tank design and hydraulic loading on the behavior, growth, and metabolism of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural engineering*, 14, (1), 29-47, 1995.

SANTOS, A.A.O. and CAMARGO, A.F.M., Constructed wetlands for treatment of harvest effluents from grow-out ponds of the Amazon river prawn. *Aquaculture Research*, vol. 46, no. 11, pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1111/are.12423>. 2014.

SANTOS, E. S.; MOTA, S.; SANTOS, A. B.; MONTEIRO, C. A. B. and FONTENELE, R. M. M. Environmental sustainability evaluation of the treated sewage use in aquaculture. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.16, n.1, jan/mar 2011, p. 45-54, 2011.

SCHAMBER, C. R.; BOSCOLO, W. R.; NATALI, M. R. M.; MICHELATO, M.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M., Growth performance and bone mineralization of large Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed graded levels of available phosphorus. *Aquaculture Internacional*, v22, 5, pp 1711-1721, 2014.

SCHROEDER, G. L.; ALKON, A.; LAHER, M., Nutrient flow in pond aquaculture systems. Aquaculture and water quality. *Advances in World Aquaculture*, 3, 489-505, 1991.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Evolução da piscicultura no Brasil: Diagnóstico e Desenvolvimento da Cadeia Produtiva da Tilápia. *Instituto de Pesquisa Economica Aplicada – IPEA*, 2017.

SHIFFLETT, S. D.; CULBRETH, A.; HAZEL, D.; DANIELS, H.; NICHOLS, E. G. Coupling aquaculture with forest plantations for food, energy, and water resiliency. *Science of The Total Environment*, v. 571, p.1262-1270, 2016.

SIBRELL, P. L and TUCKER, T. W. Fixed Bed Sorption of Phosphorus from Wastewater Using Iron Oxide-Based Media Derived from Acid Mine Drainage. *Water Air Soil Pollut*, 223:5105–5117, 2012.

SIBRELL, P. L. and KEHLER, T. Phosphorus removal from aquaculture effluents at the Northeast Fishery Center in Lamar, Pennsylvania using iron oxide sorption media. *Aquacultural Engineering*, 72–73, 45–52, 2016.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JUNIOR, A. J.; MUNGIOLI, R. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. BNDES Setorial. p. 421-463, 2012.

StatSoft, I., STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. In Tulsa, USA, 2005.

SUSSEL, F.R. Tilapicultura no Brasil e entraves na produção. 2013. Disponível em: <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/TilapiculturaEntraves2013.pdf>>. Acessado em: 10 março 2018.

TIAGO, G.G.; GIANESELLA, S.M.F. O uso da água pela aqüicultura: estratégias e ferramentas de implementação de gestão. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-7. 2003.

TRIEU, T. T. N. and LU, M., Estimates of nutrient discharge from striped catfish farming in the Mekong River, Vietnam, by using a 3D numerical model. *Aquacult Int.*, 22:469–483, 2014.

TUCKER, C. S. and J. A. HARGREAVES. Environmental best management practices for aquaculture. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, USA. 2008.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*. v. 22 n. 63, p. 7-16. 2008.

TURCIOS, A. E.; PAPENBROCK, J., Sustainable treatment of aquaculture effluents—what can we learn from the past for the future? *Sustainability*, 6, (2), 836-856, 2014.

VON SPERLING, M., *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. ed.; Editora UFMG: Belo Horizonte, Vol. 1, p 472, 2014.

WANG, X., OLSEN, L.M., REITAN, K.I. and OLSEN, Y., Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 2, no. 3, pp. 267-283, 2012.

WATTEN, B. J.; BECK, L. T., Comparative hydraulics of a rectangular cross-flow rearing unit. *Aquacultural engineering*, 6, (2), 127-140, 1987.

WATTEN, B. J.; HONEYFIELD, D. C.; SCHWARTZ, M. F. Hydraulic characteristics of a rectangular mixed-cell rearing unit. *Aquacultural Engineering*, 24, 59–73, 2000.

WHO, *United Nations University. Protein and amino acid requirements in human nutrition*. World Health Organization: Vol. 935, 2007.

XU, Z.; BOYD, C. E., Reducing the monitoring parameters of fish pond water quality. *Aquaculture*, 465, 359-366, 2016.

ZIMMERMANN, S.; MOREIRA, H.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R., *Fundamentos da moderna aquicultura*. ULBRA: Canoas(RS), 2001.