

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO DE PESCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**AVALIAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMA INTENSIVO DE  
TRUTICULTURA ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS**

**Munike de Almeida Bispo Moraes**

**Orientadora: Dra. Cacilda Thais Janson Mercante**

**Coorientadora: Dra. Yara Aiko Tabata**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo  
Outubro - 2014**

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO DE PESCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**AVALIAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMA INTENSIVO DE  
TRUTICULTURA ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS**

**Munike de Almeida Bispo Moraes**

**Orientadora: Dra. Cacilda Thais Janson Mercante**

**Coorientadora: Dra. Yara Aiko Tabata**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo  
Outubro - 2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação. Instituto de Pesca, São Paulo

M827a

Moraes, Munique de Almeida Bispo

Avaliação de efluentes de sistema intensivo de tricultura através de indicadores ambientais / Munique de Almeida Bispo Moraes. – São Paulo, 2014. vii, 71f. ; il. ; graf. ; tab.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

Orientadora: Cacilda Thais Janson Mercante

Coorientadora: Yara Aiko Tabata

1. Cargas de nutrientes. 2. Balanço de massa. 3. Alevinos. 4. Juvenis. 5. Adultos. 6. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). I. Mercante, Cacilda Thais Janson. II. Título

CDD 639.211



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
**INSTITUTO DE PESCA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

“AVALIAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMA INTENSIVO DE  
TRUTICULTURA ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS”

**AUTOR:** Munique de Almeida Bispo Moraes

**ORIENTADOR:** Cacilda Thais Janson Mercante

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de  
MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de Concentração em  
Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Cacilda Thais Janson Mercante

Prof. Dr. Raoul Henry

Profa. Dra. Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza

Data da realização: 17 de outubro de 2014

Presidente da Comissão Examinadora  
Profa. Dra. Cacilda Thais Janson Mercante

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém  
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.*

Arthur Schopenhauer

Dedico à minha família, pelo amor, dedicação, incentivo e toda contribuição para minha formação como ser humano.

## **Agradecimientos**

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e ao meu anjo da guarda por todas as oportunidades e pela presença constante em minha vida.

Ao Instituto de Pesca/APTA/SAA pela viabilização deste trabalho junto ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca.

À FAPESP (Fundação para o Amparo da Pesquisa no Estado de São Paulo) pela concessão do auxílio financeiro utilizado na realização deste trabalho, conforme o Processo n.º 2010/07658-3.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de Mestrado concedida.

À minha orientadora, Dra. Cacilda Thais Janson Mercante, pela oportunidade, carinho, paciência, amizade, excelente orientação, valiosos ensinamentos e dedicação à minha formação, desde a elaboração do projeto até a redação final dos manuscritos.

À minha coorientadora, Dra. Yara Aiko Tabata da APTA Regional Vale do Paraíba, pela paciência, amizade, valiosos ensinamentos, sugestões, discussões e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Clovis Ferreira do Carmo (Instituto de Pesca/APTA/SAA) pela amizade, valiosas contribuições, discussões e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Marcos Guilherme Rigolino (APTA Regional Vale do Paraíba) *in memoriam* pelos valiosos ensinamentos e discussões durante a execução deste trabalho.

À Dra. Neuza Sumico Takahashi pelo bom convívio e pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos pesquisadores e funcionários do Instituto de Pesca de São Paulo que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação e desenvolvimento deste trabalho, pelo bom convívio e auxílio.

À Assistente Técnica Lilian Paula Faria Pereira e ao Técnico Luiz Claudio dos Santos Evangelista do Laboratório de Recursos Hídricos do Instituto de Pesca de São Paulo pela amizade, companheirismo, todo apoio concedido e momentos de descontração.

Aos meus companheiros de Mestrado, Simone Perin, Ricardo Gargiulo e Juliana Macedo, pela amizade, conversas filosóficas, companheirismo ao longo deste longo e tão curto tempo e pelos momentos alegres e divertidos que passamos juntos.

Ao Dr. André Martins Vaz dos Santos (Universidade Federal do Paraná) e ao Dr. Carlos Massatoshi Ishikawa (Instituto de Pesca/APTA/SAA) pela participação na minha banca de qualificação e pelas valiosas sugestões que contribuíram muito para o aprimoramento deste trabalho.

Ao Dr. Raoul Henry (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho) e à Dra. Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) pela participação na minha banca de defesa e pelas valiosas sugestões que contribuíram muito para o aprimoramento deste trabalho.

A minha amiga Joelma Matões pela amizade, conselhos, apoio e momentos de descontração.

E por último, mas, sem sombra de dúvidas, não menos importantes, minha família: minha mãe Neuci Moraes e meu pai José Antonio de Moraes, por todo amor, dedicação, paciência, confiança e apoio. Mãe e Pai, sem vocês e todos os seus esforços sem medidas priorizando minha formação acadêmica, este sonho não teria se realizado. Minha irmã Rafaela Moraes e meu irmão Henrique Moraes, por sempre acreditarem em mim e darem forças para eu prosseguir nesse caminho árduo, mas também prazeroso. Minha cunhada Dani Oliveira pela torcida, apoio e incentivo. Vocês todos são meu porto seguro, perto de vocês me sinto ainda mais forte e confiante. Amo muito vocês!!! Obrigada por tudo!!!

A todos, de coração, o meu MUITO OBRIGADO!!!

## **Sumário**

## Sumário

Agradecimentos.....	i
Sumário.....	iv
Resumo geral.....	vi
Abstract.....	vii
Introdução geral.....	1
Objetivos gerais.....	5
Área de estudo.....	5
Apresentação da Dissertação.....	7
Referências bibliográficas.....	7
Produção bibliográfica durante o Mestrado (2012 - 2014).....	10
Capítulo I - Uso de indicadores ambientais como método de avaliação de efluente de triticultura.....	13
Resumo.....	14
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Materiais e métodos.....	17
Área de estudo.....	17
Descrição do sistema de criação e manejo alimentar.....	18
Amostragem e variáveis limnológicas.....	18
Análise estatística.....	20
Indicadores ambientais.....	20
Resultados.....	22
Discussão.....	26
Conclusões.....	30
Agradecimentos.....	31
Referências bibliográficas.....	31
Capítulo II - Avaliação dos efluentes de triticultura através do balanço de massa diário de nutrientes.....	35
Resumo.....	36
Abstract.....	37
Introdução.....	37
Materiais e métodos.....	39
Área de estudo.....	39
Descrição do sistema e manejo alimentar.....	40
Amostragem e variáveis limnológicas.....	40
Análise estatística.....	42
Cálculo das cargas e do balanço de massa dos nutrientes.....	42
Resultados.....	42
Discussão.....	47
Conclusões.....	50
Agradecimentos.....	51
Referências bibliográficas.....	51
Considerações finais.....	56

## **Avaliação de efluentes de sistema intensivo de truticultura através de indicadores ambientais**

### **Resumo Geral**

A descarga de nutrientes para o meio ambiente advinda da piscicultura pode causar a deterioração da qualidade da água através do enriquecimento do corpo hídrico receptor por compostos nitrogenados e fosfatados. A aplicação de indicadores ambientais com a finalidade de quantificar os resíduos gerados pela produção de organismos aquáticos ainda é muito pouco utilizada na piscicultura nacional. O presente estudo teve por objetivo geral usar os indicadores ambientais como ferramenta para quantificar a descarga de nutrientes via efluentes de truticultura e avaliar a eficiência das práticas de manejo empregadas no sistema produtivo. As coletas foram realizadas em dois períodos distintos. O primeiro contemplando três meses no ano de 2010 considerando a entrada e saída do sistema produtivo como um todo. E o segundo, no ano de 2012, ao longo de 24 horas considerando saídas independentes por setor produtivo. Concentrações de fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) foram determinadas no afluente e nos efluentes do sistema de produção. No primeiro experimento, os indicadores ambientais foram calculados com base na quantidade estimada de PT e NT contidos na ração e na quantidade desses nutrientes convertidos em biomassa de peixe. E, para os dois experimentos, nos valores das cargas de nutrientes e no balanço de massa. Durante os três meses de estudo, a truticultura foi caracterizada como sistema exportador de nutrientes. A partir dos resultados do balanço de massa diário, os setores de juvenis e de adultos foram relacionados às maiores descargas de nutrientes via efluentes, associadas ao manejo alimentar e ao metabolismo dos peixes. Os indicadores ambientais evidenciaram que as práticas de manejo empregadas na truticultura não foram eficientes devido à descarga excessiva de nutrientes. Portanto, com a finalidade de reduzir essa descarga e seus impactos no corpo hídrico receptor, recomendam-se adequações do manejo, tais como melhora na assimilação do fósforo e nitrogênio considerando o estágio de desenvolvimento dos peixes, controle da quantidade de ração ofertada, utilização de densidades de estocagem adequadas e tratamento dos efluentes.

Palavras-chave: cargas de nutrientes, balanço de massa, alevinos, juvenis, adultos, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)

# Assessment of effluents from intensive trout farming system through environmental indicators

## Abstract

The discharge of nutrients to the environment via fish farming can cause deterioration of water quality by enriching the receiving water body by nitrogen and phosphate compounds. The application of environmental indicators in order to quantify the waste generated by the production of aquatic organisms is still little used in national fish farming. This study aimed to use environmental indicators as a tool to quantify nutrients discharge via trout farming effluents and evaluate the efficiency of the management practices used in the production system. Sampling was performed in two distinct periods. The first contemplating three months in 2010 considering as a whole the affluent and effluent of the production system. And the second, in 2012, was during 24 hours considering independent effluents by productive sector. Concentrations of total phosphorus (TP), orthophosphate ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), total nitrogen (TN) and ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) were determined in affluent and effluents of the production system. In the first experiment, the environmental indicators were calculated based in the estimated amount of TP and TN contained in the feed and in the amount of these nutrients converted into fish biomass. And, for two experiments, the indicators were calculated based on the values of nutrient loads and in mass balance. During the three months of study, the trout farming was characterized as nutrient export system. From the results of the daily mass balance, the sectors of juveniles and adults were related to higher nutrients discharges via effluents associated with feeding management and fish metabolism. The environmental indicators showed that the management practices used in the trout farming system were not efficient due to excessive discharge of nutrients. Therefore, in order to reduce this discharge and its impacts on receiving water body, recommended adequacies of management such as improvement assimilation of phosphorus and nitrogen considering the stage of fish development, control of the amount of feed offered, the use of appropriate stocking densities and effluents treatment.

Keywords: nutrients loads, mass balance, fingerlings, juveniles, adults, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)

# **Introdução geral**

## **Introdução geral**

A aquicultura é um segmento econômico em expansão, por sua capacidade de produzir alimento saudável e nutritivamente rico, representando uma importante fonte de proteínas, além de ter importância social, por ser uma atividade geradora de empregos (OSTI, 2013). Em 2012, a produção aquícola mundial aumentou 6,9% com total de 66,6 milhões de toneladas quando comparada ao ano de 2011 (62,0 milhões de toneladas) (FAO, 2014).

A produção de pescado nacional para o ano de 2011 foi de 1.431.974,4 t, registrando-se incremento de aproximadamente 13,2% em relação a 2010. A pesca extrativa marinha continuou sendo a principal fonte de produção de pescado nacional, sendo responsável por 553.670,0 t (38,7% do total de pescado), seguida pela aquicultura continental (544.490,0 t; 38,0%), pesca extrativa continental (249.600,2 t; 17,4%) e aquicultura marinha (84.214,3 t; 6%) (BRASIL, 2013).

A produção aquícola nacional foi de 628.704,3 t, representando um incremento de 31,1% em relação à produção de 2010. Comparando-se a produção atual com o montante produzido em 2009 (415.649,0 t), fica evidente o crescimento do setor no país, com um incremento de 51,2% na produção durante o triênio 2009-2011. Seguindo o padrão observado nos anos anteriores, a maior parcela da produção aquícola é oriunda da aquicultura continental, na qual se destaca a piscicultura continental representando 86,6% da produção total nacional (BRASIL, 2013).

No período de 2008 a 2010, houve aumento de 40% na produção de trutas, 3.662,6 toneladas em 2008, 4.381,4 toneladas em 2009 e 5.122,7 toneladas em 2010 (BRASIL, 2012). Entretanto, em 2011, houve redução da produção de trutas para 3.277,2 toneladas devido ao aumento do incentivo a produção de peixes nativos, com destaque ao tambaqui (BRASIL, 2013).

A truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), uma das espécies mais cultivadas da família Salmonidae, é natural da vertente Pacífica da América do Norte e da parte ocidental da Península de Kamchatka e Bacia de Okhotsk da Rússia, entretanto, atualmente apresenta distribuição circunglobal (TABATA, 2008; FAO, 2011). No Brasil, foi introduzida pela

primeira vez, na Serra da Bocaina em 1949 e no Rio Macaé (Rio de Janeiro) em 1952 (LAZZAROTTO e CARAMASCHI, 2009). Atualmente, ocorre em todos os estados das regiões Sul e Sudeste, limitada às zonas de altitude (WELCOME, 1988), por apresentarem temperaturas amenas (CLIMA, 2007) e águas bem oxigenadas, características essenciais para seu cultivo. Nestas regiões, os rios apresentam baixa vazão de água, o que impede a implantação de grandes truticulturas (TABATA, 2008).

Esta espécie é uma das mais estudadas e cultivadas no mundo pela sua flexibilidade, manifestada na capacidade de sobrevivência e reprodução tanto em ambientes naturais como também em represas, tanques, laboratórios de incubação, tanques-rede, entre outros, aliada ao seu alto grau de domesticação (aceita alimento artificial desde alevino e ambos os sexos amadurecem em cativeiro) e a seu elevado valor comercial (TABATA, 1997). Entretanto, a truticultura é um segmento pouco estudado no Brasil (AMARAL, 2007), notadamente em relação ao seu potencial de impacto ambiental devido à qualidade da água despejada no corpo hídrico receptor (CAMEL *et al.*, 2014).

Pesquisas relacionadas à reprodução, ao crescimento e à produção de espécies aquáticas com potencial econômico têm-se desenvolvido mais amplamente quando comparadas à qualidade da água na aquicultura. No entanto, devido à escassez de água e à deterioração dos ambientes aquáticos, estudos que visem avaliar sua qualidade na criação de organismos são necessários (MERCANTE *et al.*, 2011).

A piscicultura, como outras criações de animais pode gerar problemas ambientais devido à descarga excessiva de nutrientes via efluente, principalmente fósforo (MIRRASOOLI *et al.*, 2012; AMÉRICO *et al.*, 2013; ARAÚJO-SILVA *et al.*, 2014; CAMEL *et al.*, 2014), com potencial de eutrofização da água continental e degradação dos ecossistemas aquáticos (AZEVEDO *et al.*, 2011; KOÇER *et al.*, 2013; NOROOZRAJABI *et al.*, 2013; YALCUK *et al.*, 2014).

O efeito deste efluente no ambiente aquático varia em função do tamanho do sistema produtivo, da quantidade de biomassa estocada, da

natureza e volume de água utilizado, das práticas de manejo, da qualidade da ração que é ofertada aos organismos cultivados, do acúmulo e tipo de poluente e da capacidade de assimilação do corpo hídrico receptor (BOAVENTURA *et al.*, 1997; PIEDRAHITA, 2003; BUREAU e HUA, 2010).

Em 2010, a exportação anual de nutrientes para o ambiente advindo da aquicultura continental foi de 0,9 milhões de toneladas de fósforo (P) e 5 milhões de toneladas de nitrogênio (N) (BOUWMAN *et al.*, 2013). O principal fator relacionado à descarga excessiva de nutrientes via efluente é a ração introduzida ao sistema de criação (BUREAU *et al.*, 2003; BUREAU e HUA, 2010; WANG *et al.*, 2012), seja diretamente pela dispersão do alimento não ingerido ou pelos produtos metabólicos gerados pelos organismos (AMIRKOLAIE, 2011).

Em truticulturas, a perda de alimento tem sido citada como a maior contribuição de resíduos gerados (REID *et al.*, 2009), pois são responsáveis pela exportação de aproximadamente 5 kg de fósforo nos corpos hídricos para cada tonelada de ração usada (BOYD e QUEIROZ, 2001; GREEN *et al.*, 2002). Por esta razão, a alimentação tem sido o principal problema na truticultura e requer atenção especial (KARABULUT *et al.*, 2010).

Diante desse cenário, se faz necessária avaliação da eficiência com que a ração, os nutrientes e a água são usados na aquicultura. Para essa avaliação é proposta a utilização de indicadores ambientais na quantificação de nutrientes e outros possíveis poluentes gerados pela produção. Dentre os indicadores ambientais sugeridos por BOYD e QUEIROZ (2001) e BOYD *et al.* (2007) neste trabalho aplicam-se: 1. carga de nutrientes (relação entre a vazão e as concentrações de nutrientes no afluente e efluente do sistema); 2. balanço de massa (descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em sistema com fronteiras definidas); 3. quantidade estimada de nutrientes contidos na ração ( $E_R$ ); 4. quantidade de nutrientes convertidos em biomassa de peixe ( $N_B$ ); 5. conversão alimentar aparente (relação entre o total de ração fornecida e a quantidade de peixe produzido).

Dessa forma, propõe-se a aplicação desses indicadores ambientais como ferramenta para determinação da carga poluidora gerada pelo sistema de

truticultura, podendo contribuir para a sustentabilidade ambiental dessa atividade através da avaliação da eficiência das práticas de manejo empregadas no sistema produtivo.

### **Objetivos gerais**

- Quantificar as descargas de nutrientes via efluentes de sistema intensivo de truticultura através de indicadores ambientais;
- Verificar através dos indicadores ambientais se as práticas de manejo empregadas no sistema produtivo foram eficientes.

### **Área de estudo**

O Trutário São José, empreendimento comercial (Figura 1) situa-se no Parque Nacional Serra da Bocaina (PNSB) a 35 km da cidade de Bananal, São Paulo (SP), Brasil, situado a 1160 m de altitude (22°50'03,92"S e 44°25'46,33"O) (Figura 2). O PNSB tem 104.000 ha de área de Mata Atlântica (22°40'/23°20'S e 44°24'/44°54'O) localizado na divisa entre os Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo. Para os núcleos urbanos, como Angra dos Reis, Mambucaba e Paraty, que circundam esse Parque, sua conservação é vital, pois abrange grande parte das nascentes que fornecem água potável à população (BATISTA *et al.*, 2009). O riacho (classificado como de 1ª ordem) que abastece o sistema de truticultura estudado encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica Paraíba do Sul (UGRHI 2).



**Figura 1.** Vista parcial do empreendimento comercial localizado no Parque Nacional da Serra da Bocaina, São Paulo, Brasil.



**Figura 2.** Mapa da América do Sul destacando a região onde o sistema de truticultura está localizado (Serra da Bocaina, São Paulo, SP, Brasil). Fonte: CAMEL *et al.* (2014).

Embora o Brasil esteja situado em região de clima tropical e subtropical, a truta se adaptou bem às regiões montanhosas onde as temperaturas são amenas, próximas a 22 °C no mês mais quente e por pelo menos quatro meses, é superior a 10 °C. No verão, a temperatura média da água é de 15 °C, com máxima de 21 °C e mínima de 12 °C. No inverno, a temperatura média da água é de 12 °C, com máxima de 15 °C e mínima de 8 °C (CLIMA, 2007).

## **Apresentação da Dissertação**

A dissertação está apresentada na forma de dois capítulos como manuscritos que seguem as normas das revistas *Aquaculture Research* (B1) (Capítulo I) e *Acta Limnologica Brasiliensia* (B3) (Capítulo II). Após a incorporação das sugestões realizadas pela banca serão enviados para publicação. A produção bibliográfica gerada durante o desenvolvimento da dissertação está citada após as referências bibliográficas.

### **Capítulo I - Uso de indicadores ambientais como método de avaliação de efluente de truticultura**

O estudo objetivou quantificar as descargas de nutrientes no efluente de sistema intensivo de truticultura através da aplicação de indicadores ambientais.

### **Capítulo II - Avaliação dos efluentes de truticultura através do balanço de massa diário de nutrientes**

O estudo objetivou quantificar a descarga diária de nutrientes através do balanço de massa no efluente de setores de criação em sistema intensivo de truticultura.

## **Referências bibliográficas**

- AMARAL, G.F. 2007 *Análise do segmento de trutas: abordagens de cadeia produtiva e turismo rural*. Rio de Janeiro. 118p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Disponível em: <[http://r1.ufrrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao\\_gisele\\_amaral.pdf](http://r1.ufrrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao_gisele_amaral.pdf)> Acesso em: 27 mar. 2014.
- AMÉRICO, J.H.P.; TORRES, N.H.; MACHADO, A.A.; CARVALHO, S.L. 2013 Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. *Revista Científica ANAP Brasil*, 6(7): 137-150.
- AMIRKOLAIE, K.A. 2011 Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3: 19-26.

- ARAÚJO-SILVA, S.L.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Effluent of a polyculture system (tilapias and shrimps): assessment by mass balance of nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Protection*, 5: 799-804.
- AZEVEDO, P.A.; PODEMSKI, C.L.; HESSLEIN, R.H.; KASIAN, S.E.M.; FINDLAY, D.L.; BUREAU, D.P. 2011 Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. *Aquaculture*, 311: 175-186.
- BATISTA E.R.; SANTOS, R.F., ANTONIO, S.M. 2009 Construção e análise de cenários de paisagem em área do Parque Nacional da Serra da Bocaina. *Revista Árvore*, 33(6): 1095-1108.
- BOAVENTURA, R.; PEDRO, A.M.; COIMBRA, J.; LENCASTRE, E. 1997 Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental Pollution*, 95(3): 379-387.
- BOUWMAN, A.F.; BEUSEN, A.H.W.; OVERBEEK, C.C.; BUREAU, D.P.; PAWLOWSKI, M.; GLIBERT, P.M. 2013 Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 21(2): 112-156.
- BOYD, C.E. e QUEIROZ, J. 2001 Feasibility of retention structure, settling basins and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming. *Reviews in Fisheries Science*, Boca Raton, 9(2): 43-67.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. 2007 Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 15: 327-360.
- BRASIL. (2012, *on line*) *Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2010*. Disponível em: <[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%20MPA%202010.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%20MPA%202010.pdf)> Acesso em: 13 fev. 2014.
- BRASIL. (2013, *on line*) *Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2011*. Disponível em: <[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL.pdf)> Acesso em: 13 fev. 2014.
- BUREAU, D.P e HUA, K. 2010 Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, 41: 777-792.
- BUREAU, D.P.; GUNTHER, S.J.; CHO, C.Y. 2003 Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, 65(1): 33-38.
- CAMEL, B.P.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TABATA, Y.A.; OSTI, J.A.S.; ISHIKAWA, C.M.; CERQUEIRA, M.A.S.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Water quality assessment of a trout farming effluent, Bocaina, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(10): 909-915.

- CLIMA. (2007, on line) *Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/pdf/saopaulo-geografia.pdf>> Acesso em: 21 jan. 2014.
- FAO. 2011 *Small-scale rainbow trout farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO), Rome, 92 p.
- FAO. 2014 *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO), Rome, 223 p.
- GREEN, J.A.; BRANNON, E.L.; HARDY, R.W. 2002 Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Production-scale study. *Aquaculture Nutrition*, 8: 291-298.
- KARABULUT, H.A.; YANDI, I.; ARAS, N.M. 2010 Effects of different feed and temperature conditions on growth, meat yield, survival rate, feed conversion ratio and condition factor in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(22): 2818-2823.
- KOÇER, M.A.T.; KANYILMAZ, M.; YILAYAZ, A.; SEVGILI, H. 2013 Waste loading into a regulated stream from land-based trout farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 3: 187-195.
- LAZZAROTTO, H. e CARAMASCHI, E.P. 2009 Introdução da truta no Brasil e na Bacia do Rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro: histórico, legislação e perspectivas. *Oecologia Brasiliensis*, 13(4): 649-659.
- MERCANTE, C.T.J.; CARMO, C.F.; RODRIGUES, C.J.; OSTI, J.A.S.; MAINARDES-PINTO, C.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TUCCI, A.; DI GENARO, A.C. 2011 Limnologia de viveiro de tilápias do nilo: avaliação diurna visando boas práticas de manejo. *Boletim do Instituto de Pesca*, 37(1): 73-84.
- MIRRASOOLI, E.; NEZAMI, S.; GHORBANI, R.; KHARA, H.; TALEBI, M. 2012 The impact of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farm effluents on water quality. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 4(4): 330-334.
- NOROOZRAJABI, A.; GHORBANI, R.; ABDI, O.; NABAVI, E. 2013 The impact of rainbow trout farm effluents on water physicochemical properties of Daryasar Stream. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5: 342-346.
- OSTI, J.A.S. 2013 *Características limnológicas e do fitoplâncton de viveiro de criação de tilápia-do-nilo e de wetlands construídas para o tratamento do efluente*. Jaboticabal. 112p. (Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho). Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/100596>> Acesso em: 14 mai. 2014.
- PIEDRAHITA, R.H. 2003 Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226: 35-44.
- REID, G.K.; LIUTKUS, M.; ROBINSON, S.M.C.; CHOPIN, T.R.; BLAIR, T.; LANDER, T.; MULLEN, J.; PAGE, F.; MOCCIA, R.D. 2009 A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture

waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research*, 40: 257-273.

TABATA, Y.A. 1997 Truticultura: situação mundial e no Brasil. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE AQUICULTURA, 1., São Paulo. *Anais...* São Paulo: INFOPECA.

TABATA, Y.A. 2008 Biotecnologias aplicadas a truticultura. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21: 456-460.

WANG, X.; OLSEN, L.M.; REITAN, K.I.; OLSEN, Y. 2012 Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3): 267-283.

WELCOME, R.L. 1988 International introductions of inland aquatic species. Food and Agriculture Organization (FAO), *Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 294: 1-318.

YALCUK, A.; PAKDIL, N.B.; KANTÜRER, O. 2014 Investigation of the effects of fish farms in Bolu (Turkey) on aquatic pollution. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 3: 1-13.

### **Produção bibliográfica durante o Mestrado (2012-2014)**

#### **Resumos publicados em Anais de Congressos**

1. MORAES, M.A.B.; MERCANTE, C.T.J.; TABATA, Y.A.; CARMO, C.F.; RIGOLINO, M.G.; CAMEL, B.P.; FARIA-PEREIRA, L.P. 2012 Avaliação de impacto ambiental através da descarga de nutrientes em sistema intensivo de truticultura - Campos do Jordão (SP). In: IV Encontro de Pós-Graduandos do Instituto de Pesca, 2012, Santos. Resumos do 4º Encontro de Pós-graduandos do Instituto de Pesca, Santos, SP, 8 e 9 de agosto de 2012. p. 5-5.

2. MORAES, M.A.B.; CAMEL, B.P.; CARMO, C.F.; TABATA Y.A.; ISHIKAWA, C.M.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. 2013 Produção de ortofosfato no cultivo de trutas e sua influência sobre a qualidade da água. In: XX Encontro Brasileiro de Ictiologia, 27 de janeiro a 01 de fevereiro de 2013, Maringá - PR.

3. MORAES, M.A.B.; SILVA, S.L.A.; MERCANTE, C.T.J.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; Vaz-dos-Santos, A.M.; MARQUES, H.L.A. 2013 Balanço de massa de nitrogênio e fósforo de sistema de policultivo (tilápias e camarões). In: XIV

Congresso Brasileiro de Limnologia, 2013, Bonito - Mato Grosso do Sul. Águas Brasileiras: conservação, gestão e sustentabilidade.

4. MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; TABATA Y.A.; ISHIKAWA, C.M.; CAMEL, B.P.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Aplicação de indicadores ambientais em sistema intensivo de truticultura. In: V Encontro de Pós-Graduandos do Instituto de Pesca, 2014. Resumos do 5º Encontro de Pós-graduandos do Instituto de Pesca, São Paulo, SP, 5 e 6 de agosto de 2014.

5. SANTANA, J.M.; REIS, A.; MORAES, M.A.B.; TEIXEIRA, P.C.; PETESSE, M.L.; FERREIRA, C.M. 2014 O hematócrito como biomarcador de toxicidade do formaldeído. In: V Encontro de Pós-Graduandos do Instituto de Pesca, 2014. Resumos do 5º Encontro de Pós-graduandos do Instituto de Pesca, São Paulo, SP, 5 e 6 de agosto de 2014.

#### **Resumos expandidos publicados em Anais de Congressos**

1. MORAES, M.A.B.; CAMEL, B.P.; CARMO, C.F.; TABATA, Y.A.; OSTI, J.A.S.; ISHIKAWA, C.; MERCANTE, C.T.J. 2013 Dinâmica do fósforo em sistema intensivo de trutas. In: XI Reunião Científica do Instituto de Pesca, 2013, São Paulo. Inserção da pesca e aquicultura na Economia Verde, novos desafios e possibilidades no manejo pesqueiro, parques aquícolas e pesca esportiva sustentável, p. 263-265.

2. MORAES, M.A.B.; CAMEL, B.P.; MERCANTE, C.T.J.; CARMO, C.F.; ISHIKAWA, C.M.; CERQUEIRA, M.A.S.; OSTI, J.A.S.; FARIA-PEREIRA, L.P.; COSTA, B.A.; OKAWARA, R.Y. 2013 Avaliação nictemeral da concentração de sólidos totais em suspensão na água em um sistema intensivo de criação de trutas (*Oncorhynchus mykiss*). In: XI Congresso de Ecologia do Brasil, 2013, Porto Seguro - BA. Biodiversidade e Sustentabilidade, p. 1-3.

#### **Artigos científicos publicados**

1. MERCANTE, C.T.J.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MORAES, M.A.B.; Pereira, J.S.; LOMBARDI, J.V. 2014 Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) farming system:

water quality and environmental changes. *Acta Limnologica Brasiliensia* (Online), 26(1): 9-17.

2. SILVA, S.L.A.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Effluent of a polyculture system (tilapias and shrimps): assessment by mass balance of nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Protection* (Online), 5: 799-804.

3. CAMEL, B.P.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TABATA, Y.A.; OSTI, J.A.S.; ISHIKAWA, C.M.; CERQUEIRA, M.A.S.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Water quality assessment of a trout farming effluent, Bocaina, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 6: 909-915.

### **Artigos científicos aceitos para publicação**

1. DI GENARO, A.C.; SENDACZ, S.; MORAES, M.A.B.; MERCANTE, C.T.J. 2015 Dynamics of Cladocera Community in a tropical hypereutrophic environment (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Journal of Water Resource and Protection* (Online).

**Capítulo I**  
**Uso de indicadores ambientais como**  
**método de avaliação de efluente de**  
**triticultura**

# **Uso de indicadores ambientais como método de avaliação de efluente de truticultura**

MunIQUE de Almeida Bispo MORAES<sup>1</sup>, Yara Aiko TABATA<sup>2</sup>, Cacilda Thais Janson MERCANTE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Especializado em Recursos Hídricos, Instituto de Pesca, Avenida Francisco Matarazzo, 455, CEP 05001-900, São Paulo, SP, Brasil. Email: muniquebio@gmail.com

<sup>2</sup> Estação Experimental de Salmonicultura, Agência Paulista de Tecnologia e Agronegócios, APTA Regional Vale do Paraíba, Campos do Jordão, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Especializado em Recursos Hídricos, Instituto de Pesca, Avenida Francisco Matarazzo, 455, CEP 05001-900, São Paulo, SP, Brasil.

## **Resumo**

O presente estudo objetivou quantificar as descargas de nutrientes no efluente de truticultura e avaliar a eficiência das práticas de manejo empregadas no sistema produtivo através da aplicação de indicadores ambientais. Concentrações de fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) foram determinadas no afluente e efluente do sistema de produção. Os indicadores foram calculados com base nos valores das cargas de nutrientes, no balanço de massa, na quantidade estimada de PT e NT contidos na ração e na quantidade desses nutrientes convertidos em biomassa de peixe. Durante o período de estudo, a truticultura exportou 8,27 kg de PT, 5,74 kg de P-PO<sub>4</sub>, 36,95 kg de NT e 28,11 kg de N-NH<sub>4</sub>. Da ração ofertada durante o período estudado, 24,75 kg (100%) estavam disponíveis como P e 118,80 kg como N (100%), destes, 9,32 kg de P (38%) e 29,12 kg de N (25%) foram convertidos em biomassa pelo peixe e 15,43 kg de P (62%) e 89,68 kg de N (75%) foram exportados via efluente. A conversão alimentar inadequada demonstrou quantidades excessivas de resíduos perdidos via efluente. Esses resultados evidenciam que as práticas de manejo empregadas na truticultura não foram adequadas. Portanto, com a finalidade de reduzir essa descarga excessiva e seus impactos no corpo hídrico receptor (eutrofização), recomendam-se ajustes no manejo, tais como melhora na assimilação do fósforo e nitrogênio considerando o estágio de desenvolvimento dos peixes, controle da quantidade de ração ofertada, utilização de densidades de estocagem adequadas e tratamento dos efluentes.

Palavras-chave: cargas de nutrientes, balanço de massa, conversão alimentar, eutrofização, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)

## **Use of environmental indicators as method of effluent assessment from trout farming system**

## Abstract

This study aimed to quantify the nutrient discharges of effluent from trout farming system and assess the efficiency of management practices used in production system through the application of environmental indicators. Concentrations of total phosphorus (TP), orthophosphate (PO<sub>4</sub>-P), total nitrogen (TN) and ammonium (NH<sub>4</sub>-N) were determined in affluent and effluent of the production system. Environmental indicators were calculated based on values of nutrient loads, in mass balance, in estimated amount of TP and TN contained in the feed and in the amount of these nutrients converted into fish biomass. During the study period, the trout farming exported 8.27 kg of TP, 5.74 kg of PO<sub>4</sub>-P, 36.95 kg of TN and 28.11 kg of NH<sub>4</sub>-N. Of feed supplied during the study period, 24.75 kg (100%) were available such P and 118.80 kg such N (100%). From these, 9.32 kg of P (38%) and 29.12 kg of N (25%) were converted into fish biomass and 15.43 kg of P (62%) and 89.68 kg of N (75%) were exported via effluent. The inadequate feed conversion demonstrated excessive amounts of waste via effluent. These results indicate that the management practices used in the trout farming were not adequate. Therefore, in order to reduce this excessive discharge and its impacts on the receiving water body (eutrophication) are recommended adequacies in management such as improvement on assimilation of phosphorus and nitrogen in feed for trout considering the stage of organisms' development, control the amount of feed offered, the use of appropriate stocking densities and effluent treatment.

Keywords: nutrients loads, mass balance, feed conversion, eutrophication, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)

## Introdução

A exportação anual de nutrientes para o ambiente advindo da aquicultura continental, em 2010, foi de 0,9 milhões de toneladas de fósforo (P) e 5 milhões de toneladas de nitrogênio (N) (BOUWMAN *et al.*, 2013). Esses resíduos descartados via efluente, através do cultivo de organismos aquáticos, podem apresentar elevado potencial de poluição dos corpos hídricos receptores (AMÉRICO *et al.*, 2013; KOÇER *et al.*, 2013; YALCUK *et al.*, 2014).

A tricultura, se não bem manejada, apresenta potencial de descarga excessiva de nutrientes que tem origem, principalmente, na ração introduzida no sistema, seja diretamente pela dispersão ou pelos produtos metabólicos gerados pelos peixes (ALPASLAN e PULATSU, 2008; AMIRKOLAIE, 2011). Esse potencial depende do tamanho do empreendimento, da quantidade de biomassa, da natureza e volume de água utilizado, das práticas de manejo e da qualidade da ração que é oferecida ao peixe (BOAVENTURA *et al.*, 1997).

O alimento é o parâmetro mais importante relacionado ao impacto ambiental (BUREAU *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2012), pois do total de fósforo e nitrogênio fornecidos na dieta, cerca de 30% estarão presentes na biomassa dos organismos cultivados e o restante vai para o meio via efluente (FRASCA-SCORVO *et al.*, 2013), com capacidade de ocasionar o processo de eutrofização. Portanto, poderá haver um maior ou menor aporte destes nutrientes, importantes no metabolismo animal, para o ambiente dependendo do teor e forma em que se encontram na dieta, associado à qualidade e quantidade de ração fornecida (ARARIPE *et al.*, 2006).

Algumas indústrias têm produzido rações com baixa qualidade para que possam ser comercializadas a preços menores, podendo ocorrer o uso de rações com baixa digestibilidade e níveis de nutrientes inadequados (ABIMORAD *et al.*, 2012). Isso, associado ao excesso de alimento ofertado, prejudica a produção (diminuição da taxa de crescimento) e, conseqüentemente, aumenta a excreção de nutrientes para o meio ambiente, causando a deterioração da qualidade da água através do enriquecimento do corpo hídrico receptor por compostos nitrogenados e fosfatados (AZEVEDO *et al.*, 2011; MIRRASOOLI *et al.*, 2012; NOROOZRAJABI *et al.*, 2013). Portanto, a ração alocada deve ser proporcional ao consumo dos organismos.

No Brasil, não há legislação que considere o teor de nutrientes na composição da ração como proposta para redução do impacto ambiental. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), colegiado federal do Ministério do Meio Ambiente, 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 através das resoluções 357 de 2005 e 430 de 2011, ou seja, regulamenta somente o limite permitido das concentrações de nutrientes no efluente descartado de acordo com o enquadramento do corpo hídrico (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

A aplicação de indicadores ambientais com a finalidade de quantificar a carga poluidora gerada pela produção de organismos aquáticos e seus efeitos sobre a qualidade da água ainda é muito pouco utilizada no Brasil (ARAÚJO-SILVA *et al.*, 2014; CAMEL *et al.*, 2014). Considerando a conservação do meio ambiente e o cuidado que se deve ter com a utilização racional dos

recursos aquáticos (FAO, 2012), são necessários estudos que enfoquem os aspectos citados anteriormente. Para essa avaliação é sugerida a aplicação de indicadores ambientais em sistemas aquaculturais, a fim de estimar o desempenho ambiental do empreendimento, avaliando a eficiência com que os recursos são utilizados (BOYD e QUEIROZ, 2001; BOYD *et al.*, 2007).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi quantificar as descargas de nutrientes no efluente de sistema intensivo de truticultura que apresentam potencial de eutrofização e avaliar a eficiência das práticas de manejo empregadas no sistema produtivo através da aplicação de indicadores ambientais.

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

O presente estudo foi realizado em sistema intensivo de truticultura (Trutário São José), localizado no Parque Nacional Serra da Bocaina (PNSB) a 35 km da cidade de Bananal, São Paulo (SP), Brasil, na Bacia Hidrográfica Paraíba do Sul situado a 1160 m de altitude (22°50'03,92"S e 44°25'46,33"O) (Fig. 1). Área de Mata Atlântica que abrange grande parte das nascentes que fornecem água potável à população (BATISTA *et al.*, 2009), situada em região de clima tropical e subtropical, nas regiões montanhosas onde as temperaturas estão próximas a 22 °C no mês mais quente e por pelo menos quatro meses, é superior a 10 °C. No verão, a temperatura média da água é de 15 °C, com máxima de 21 °C e mínima de 12°C. No inverno, a temperatura média da água é de 12 °C, com máxima de 15 °C e mínima de 8 °C (CLIMA, 2007).



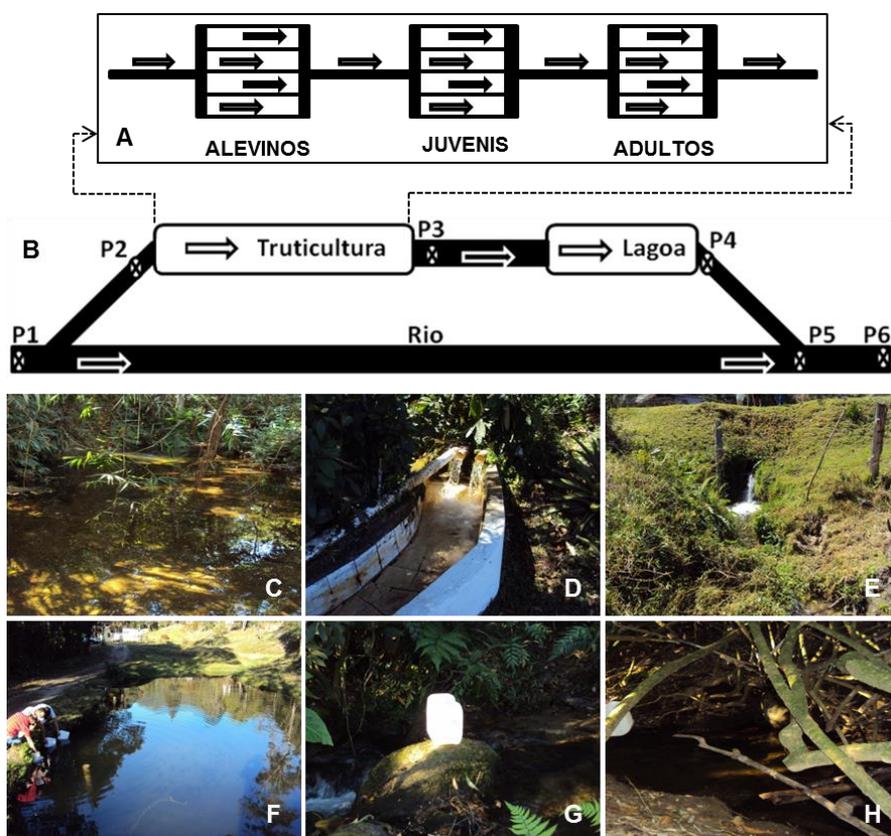
**Figura 1.** Mapa da América do Sul destacando a região onde o sistema de truticultura está localizado (Serra da Bocaina, São Paulo, SP, Brasil). Fonte: CARMEL *et al.* (2014).

### **Descrição do sistema de criação e manejo alimentar**

O sistema utilizado para a criação de trutas foi *raceway* caracterizado pelo regime intensivo de produção com alto fluxo contínuo de água. O povoamento do trutário foi realizado com 56.000 peixes em diferentes estágios de desenvolvimento distribuídos em doze tanques de alvenaria (1 metro de profundidade) e separados em três setores de produção, o primeiro com 40.000 alevinos com peso médio de 2 g, distribuídos em 4 tanques de 2 m<sup>3</sup> cada; o segundo com 10.000 juvenis com peso médio de 20 g, distribuídos em 4 tanques de 5 m<sup>3</sup> cada e o terceiro com 6.000 adultos com peso médio de 200 g, distribuídos em 4 tanques de 19 m<sup>3</sup> cada (Fig. 2A). Em todos os tanques o arraçoamento foi realizado pelo produtor de duas a três vezes diárias com ração extrusada contendo 40% de proteína bruta, considerando o estágio de desenvolvimento dos indivíduos e a estimativa da biomassa total (alevinos - de 5 a 7% da biomassa total; juvenis e adultos - de 3 a 5% da biomassa total). Durante o período de estudo foram ofertados 2.475 kg de ração com produção de 1.165 kg de peixes.

### **Amostragem e variáveis limnológicas**

As análises contemplaram o período de 02 de setembro a 25 de novembro de 2010 (13 coletas), realizadas semanalmente em triplicatas em seis pontos distintos. A distribuição dos pontos de amostragem (Fig. 2B) seguiu a seguinte ordem: P1 - à montante da truticultura (Fig. 2C); P2 - afluente da truticultura (Fig. 2D); P3 - efluente da truticultura (Fig. 2E); P4 - saída após a passagem pela lagoa de estabilização (Fig. 2F); P5 - zona de mistura (Fig. 2G) e P6 - no corpo hídrico receptor (riacho), a 60 metros de distância do efluente (Fig. 2H).



**Figura 2.** A = Representação do sistema de truticultura organizado em três setores: alevinos, juvenis e adultos; B = Desenho esquemático do empreendimento localizado na Serra da Bocaina (SP), onde: C = P1 (à montante do sistema de produção); D = P2 (afluente); E = P3 (efluente); F = P4 (saída após a passagem pela lagoa de estabilização); G = P5 (zona de estabilização); H = P6 (no corpo hídrico receptor (riacho), a 60 metros de distância do efluente). Fonte: CARMEL *et al.* (2014).

Em campo, foram analisadas as variáveis pH, oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) com sonda multiparâmetros marca Horiba modelo U53G. O cálculo da porcentagem de saturação foi realizado a partir das

concentrações de oxigênio dissolvido, temperatura da água e altitude do local estudado. Amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água. As amostras para a análise dos totais (PT e NT) foram congeladas. As amostras para a análise dos dissolvidos foram imediatamente filtradas em bomba a vácuo utilizando filtro Millipore AP-20 de porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$  e congeladas. No laboratório do Instituto de Pesca, as amostras foram analisadas quanto à concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e nitrogênio total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por VALDERRAMA (1981), ortofosfato ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por STRICKLAND e PARSONS (1960) e íon amônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por APHA *et al.* (2005). A fração de amônia ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) foi estimada a partir dos valores determinados de íon amônio, pH e temperatura da água de acordo com EMERSON *et al.* (1975). Para o cálculo da vazão ( $\text{L s}^{-1}$ ) foi utilizado o método do flutuador proposto por MARQUES e ARGENTO (1988).

### **Análise estatística**

Os dados das variáveis após transformação  $\log(x+1)$  foram analisados através do teste Kruskal-Wallis seguido pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) para verificação das variações espaciais (ZAR, 2010). O nível de significância adotado foi 0,05.

### **Indicadores ambientais**

As cargas de nutrientes foram determinadas por meio do produto entre os valores de vazão ( $\text{L s}^{-1}$ ) e das concentrações de nutrientes (fósforo total - PT, ortofosfato - P- $\text{PO}_4$ , nitrogênio total - NT e íon amônio - N- $\text{NH}_4$ ) em  $\mu\text{g L}^{-1}$  na água de abastecimento ( $C_A$ ) e no efluente ( $C_E$ ) do sistema de triticultura, por meio da seguinte equação:

$$C = [ ] \cdot Q \text{ Equação 1}$$

sendo C = carga de PT, P- $\text{PO}_4$ , NT e N- $\text{NH}_4$  ( $\text{kg dia}^{-1}$ ), [ ] = concentração da variável ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), Q = vazão da água ( $\text{L s}^{-1}$ ).

Posteriormente, para quantificar a quantidade de resíduos gerados pela atividade de truticultura, foi calculado o balanço de massa ( $\text{kg dia}^{-1}$ ) do PT, P- $\text{PO}_4$ , NT e N- $\text{NH}_4$  por meio da carga de nutrientes que sai via efluente e subtraída da água de abastecimento do sistema, seguindo a equação:

$$\text{BM}_C = C_E - C_A \text{ Equação 2}$$

sendo  $\text{BM}_C$  = balanço de massa entre as cargas de PT, P- $\text{PO}_4$ , NT e N- $\text{NH}_4$  ( $\text{kg dia}^{-1}$ ),  $C_E$  = carga da variável considerada no efluente do sistema ( $\text{kg dia}^{-1}$ ),  $C_A$  = carga da variável considerada na água de abastecimento do sistema ( $\text{kg dia}^{-1}$ ).

Ao longo do período de estudo, nos desfrutes, os peixes foram contados e pesados para obtenção da produtividade total de trutas. A conversão alimentar do sistema de criação foi estimada através da relação entre o total de ração fornecida e a quantidade em kg de peixe retirado em cada despesca.

A carga de nutrientes de um sistema de produção via arraçoamento foi estimada por meio da quantidade de fósforo e nitrogênio contidos no total de ração ofertada (Equação 3), dos teores desses elementos que foram convertidos em biomassa de peixe (Equação 4) e do perdido via efluente (Equação 5) (BOYD e QUEIROZ, 2001; BOYD *et al.*, 2007). Estes autores assumiram que a truta apresenta 25% (0,25 kg) de matéria seca, sendo que a matéria seca contém 3,2% (0,032 kg) de fósforo e 10% (0,10 kg) de nitrogênio. As rações comerciais utilizadas na truticultura continham 1,0% (0,010 kg) de fósforo e 4,8% (0,048 kg) de nitrogênio. Para os cálculos, foi assumido que 5% do total de ração ofertado foram perdidos como alimento não ingerido (BUREAU *et al.*, 2003). Considerando a produção de peixe e o fornecimento de ração, aplicaram-se no presente estudo as seguintes equações:

$$E_R = R_O \cdot N_R \text{ Equação 3}$$

sendo  $E_R$  = entrada de nutrientes via ração (em  $\text{kg período}^{-1}$  de P ou N),  $R_O$  = quantidade de ração ofertada ( $\text{kg período}^{-1}$ ),  $N_R$  = quantidade de nutriente (kg) por kg de ração.

$$N_B = P \cdot MS \cdot N_{MS} \text{ Equação 4}$$

sendo  $N_B$  = nutriente convertido em biomassa de peixe (kg de P ou N),  $P$  = produção de peixe (kg),  $MS$  = quantidade de matéria seca por kg de peixe (kg),  $N_{MS}$  = quantidade de nutriente (P ou N) por kg de matéria seca de peixe (kg).

Para calcular a quantidade de PT e NT da ração perdidos via efluente do sistema de produção durante o período de estudo (3 meses) aplicou-se a seguinte equação:

$$BM_R = E_R - N_B \text{ Equação 5}$$

sendo  $BM_R$  = balanço de massa entre a entrada de nutrientes via ração e a quantidade de nutrientes convertida em biomassa de peixe (kg de P ou N período<sup>-1</sup>),  $E_R$  = entrada de nutrientes via ração (em kg de P ou N período<sup>-1</sup>),  $N_B$  = nutriente convertido em biomassa de peixe (kg de P ou N).

## Resultados

A criação estudada utilizou sistema de *raceway*, recebendo fluxo constante de água com vazão média em 38,26 L s<sup>-1</sup>, mantendo tempo de residência em torno de 1 hora e 40 minutos em todo o sistema.

As variáveis porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido ( $H = 81,26$ ;  $P < 0,001$ ), temperatura da água ( $H = 12,02$ ;  $P = 0,034$ ), fósforo total ( $H = 154,67$ ;  $P < 0,001$ ), ortofosfato ( $H = 127,47$ ;  $P < 0,001$ ), nitrogênio total ( $H = 20,79$ ;  $P = 0,001$ ) e íon amônio ( $H = 57,33$ ;  $P < 0,001$ ) demonstraram diferenças espaciais através do teste SNK (Tabela 1).

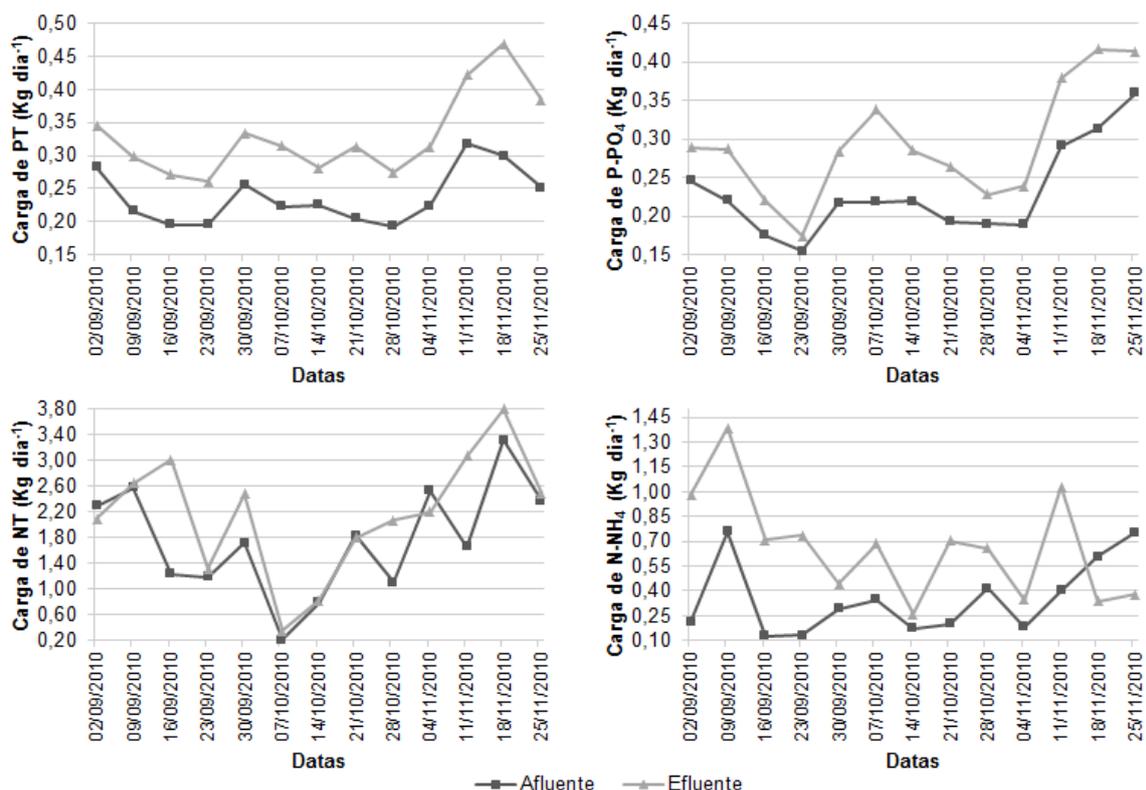
Ocorreu a formação de dois padrões distintos [P1 e P2] e [P3, P4, P5 e P6] ( $p < 0,05$ ) relacionados aos valores de oxigênio dissolvido e dos nutrientes. Após passagem pelo sistema produtivo houve redução nos valores de porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido. Em relação aos nutrientes, houve incremento no sentido da entrada (P1) para a saída do efluente do sistema (P3), sem efeito de retenção na lagoa de estabilização (P4), com pequena diluição nas concentrações quando alcançou o corpo hídrico receptor (P5 e P6).

**Tabela 1.** Média e intervalo de confiança (95%) das variáveis analisadas durante o período de estudo na truticultura. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de SNK (0,05). Valores de referência na última coluna.

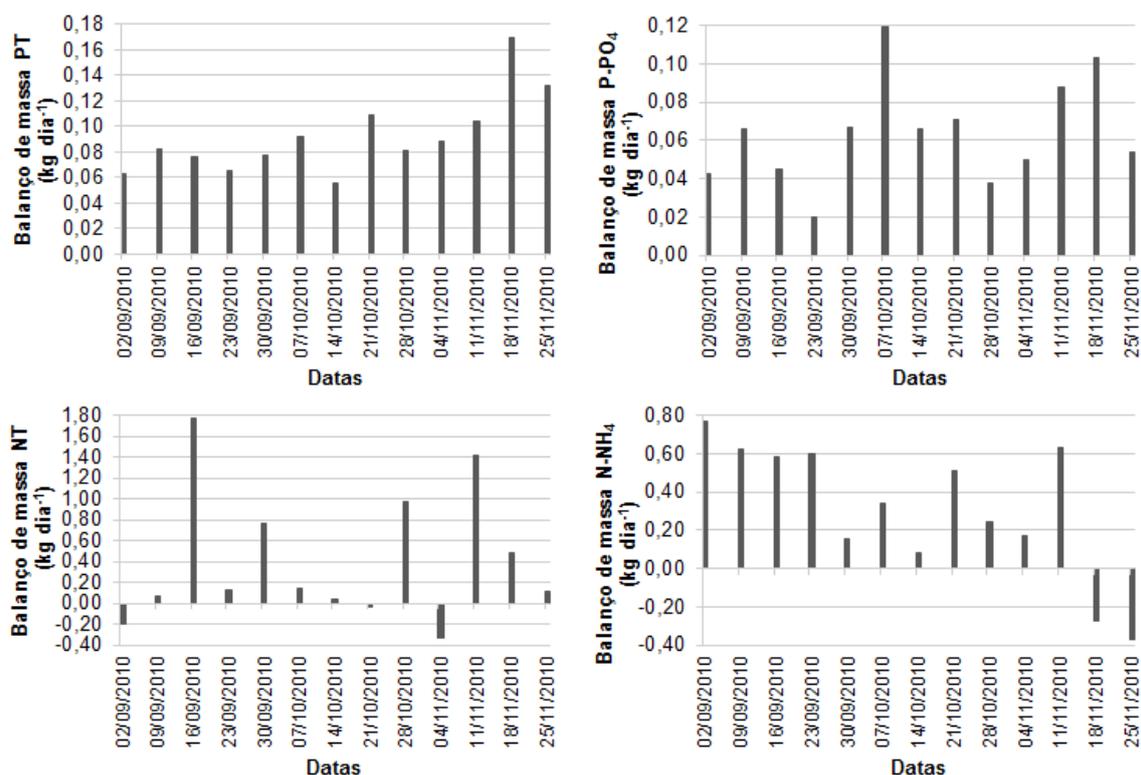
Variáveis	Pontos						Valores de referência
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
pH	6,94 <sup>a</sup> ±0,39	6,99 <sup>a</sup> ±0,34	6,71 <sup>a</sup> ±0,44	6,77 <sup>a</sup> ±0,39	6,82 <sup>a</sup> ±0,38	6,72 <sup>a</sup> ±0,39	6,00-9,00*
% Sat OD	126,94 <sup>a</sup> ±9,65	124,46 <sup>a</sup> ±7,64	104,80 <sup>b</sup> ±4,01	105,60 <sup>b</sup> ±3,70	105,61 <sup>b</sup> ±5,33	109,31 <sup>b</sup> ±6,62	≥ 80,00*
T (°C)	16,51 <sup>a</sup> ±1,00	16,66 <sup>a</sup> ±0,87	17,52 <sup>b</sup> ±0,99	17,60 <sup>b</sup> ±0,86	17,23 <sup>ab</sup> ±0,86	17,05 <sup>ab</sup> ±0,84	≤ 20,00*
PT (µg L <sup>-1</sup> )	70,45 <sup>a</sup> ±3,55	72,92 <sup>a</sup> ±4,19	100,73 <sup>b</sup> ±4,92	102,03 <sup>b</sup> ±8,95	87,86 <sup>c</sup> ±4,73	88,63 <sup>c</sup> ±3,91	≤ 100,00**
P-PO <sub>4</sub> (µg L <sup>-1</sup> )	71,42 <sup>a</sup> ±3,19	69,34 <sup>a</sup> ±2,80	88,83 <sup>b</sup> ±6,55	90,86 <sup>b</sup> ±5,00	86,53 <sup>b</sup> ±4,08	86,77 <sup>b</sup> ±4,76	-
NT (µg L <sup>-1</sup> )	578,22 <sup>a</sup> ±204,97	529,28 <sup>a</sup> ±134,97	657,51 <sup>b</sup> ±151,77	681,26 <sup>b</sup> ±187,59	525,74 <sup>a</sup> ±122,37	463,89 <sup>a</sup> ±103,75	≤ 2.180,00**
N-NH <sub>4</sub> (µg L <sup>-1</sup> )	109,74 <sup>a</sup> ±36,14	104,77 <sup>a</sup> ±35,40	213,05 <sup>b</sup> ±65,08	209,24 <sup>b</sup> ±54,79	182,05 <sup>b</sup> ±51,56	176,62 <sup>b</sup> ±43,38	≤ 3.700,00 se pH ≤ 7,50**
N-NH <sub>3</sub> (µg L <sup>-1</sup> )	11,43 <sup>a</sup> ±7,88	9,80 <sup>a</sup> ±7,04	13,86 <sup>a</sup> ±11,62	14,59 <sup>a</sup> ±12,33	13,37 <sup>a</sup> ±9,02	10,73 <sup>a</sup> ±9,34	≤ 20,00***

pH = potencial hidrogeniônico; % Sat OD = porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido; T = temperatura da água; PT = fósforo total; P-PO<sub>4</sub> = ortofosfato; NT = nitrogênio total; N-NH<sub>4</sub> = íon amônio; N-NH<sub>3</sub> = amônia. \*SABAUT, 1976; \*\*BRASIL, 2005; \*\*\*PORRELLO *et al.*, 2003.

Quando calculadas as cargas dos nutrientes, destacaram-se o aporte de fósforo total, ortofosfato, nitrogênio total e íon amônio no efluente do sistema (Fig. 3). O cálculo do balanço de massa mostrou que a produção de trutas exportou nutrientes ao longo do período estudado (3 meses) (Fig. 4) (Tabela 2).



**Figura 3.** Cargas dos nutrientes, fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) (kg dia<sup>-1</sup>), na água de abastecimento (preto) e efluente (cinza) do sistema de criação de trutas ao longo do período de estudo.

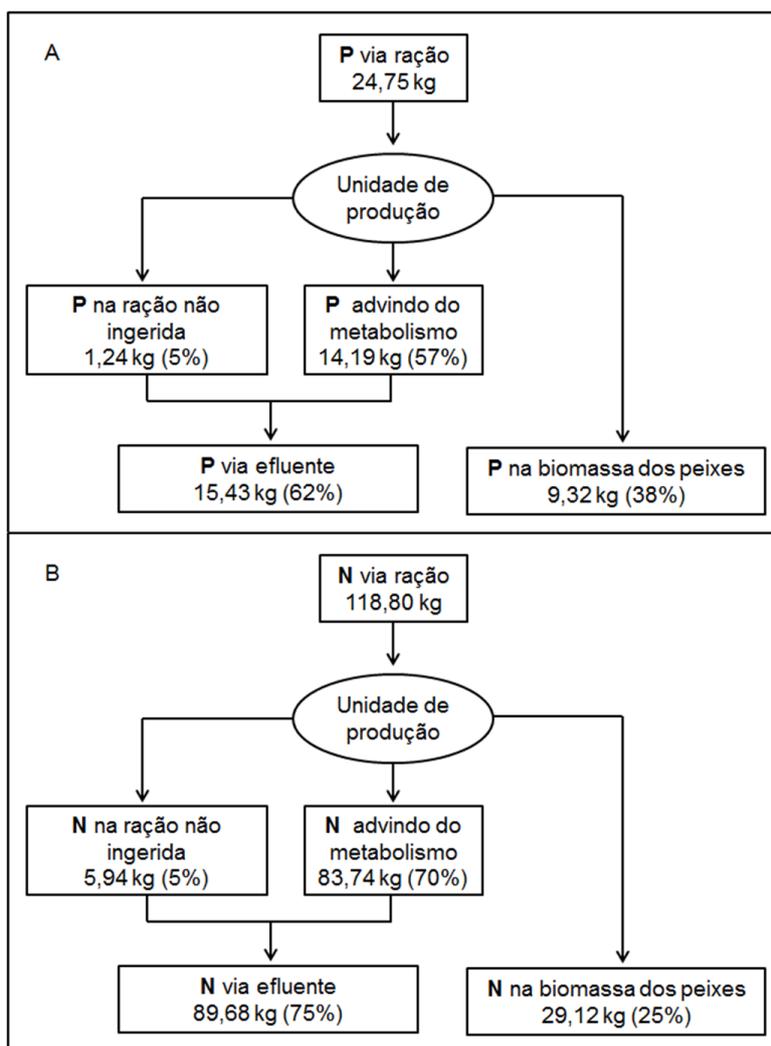


**Figura 4.** Balanço de massa dos nutrientes, fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) (kg dia<sup>-1</sup>) do sistema de criação de trutas ao longo do período de estudo.

**Tabela 2.** Valores médios do balanço de massa do fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) durante o período de estudo.

	PT	P-PO <sub>4</sub>	NT	N-NH <sub>4</sub>
Balanço de massa (kg)	8,27	5,74	36,95	28,11

A taxa de conversão alimentar média do sistema foi 2,12:1. Da ração ofertada durante o período de estudo, 24,75 kg (100%) foram constituídos por P (Fig. 5A) e destes, 9,32 kg (38%) foram convertidos em biomassa pelo peixe e 15,43 kg (62%) foram exportados via efluente. Para o NT (Fig. 5B), 118,80 kg de N (100%) foram ofertados via ração ao longo do período de estudo e destes, 29,12 kg (25%) foram convertidos em biomassa de peixe e 89,68 kg (75%) foram exportados via efluente.



**Figura 5.** Fluxos de nutrientes em sistema intensivo de truticultura durante o período de estudo (3 meses) (kg período<sup>-1</sup>): A = fósforo total (PT); B = nitrogênio total (NT).

## Discussão

Embora o sistema estudado seja considerado de pequeno porte devido à disponibilidade de água (produção de até 20 toneladas de trutas por ano), este representa o perfil de 70% dos sistemas intensivos de truticultura localizados nas regiões Sudeste e Sul do Brasil (AMARAL, 2007).

Considerando os valores recomendados para as variáveis físicas e químicas no monitoramento da qualidade da água para produção de trutas, os resultados demonstraram valores aceitáveis de pH, oxigênio dissolvido e temperatura da água. O pH manteve-se levemente ácido, condição favorável para o cultivo, pois quanto mais alcalino, mais tóxica é a amônia excretada

pelos peixes (ARANA, 2004). A água manteve-se bem oxigenada durante o período de estudo, com valores de porcentagem de saturação de oxigênio superiores ao mínimo recomendado para criação de trutas (80%) (SABAUT, 1976). A temperatura da água não excedeu 19,50 °C, valor adequado para o crescimento dos animais (FAO, 2011).

Os incrementos nas concentrações dos nutrientes após passagem pelo sistema produtivo (P3) podem ser atribuídos ao arraçoamento. Fato relatado por outros autores (BARTOLI *et al.*, 2007; KOÇER *et al.*, 2013; MERCANTE *et al.*, 2014), que atribuíram o aporte de nutrientes ao alimento desperdiçado e/ou não aproveitado, uso de ração desbalanceada e metabolismo dos peixes.

As concentrações de fósforo total e de ortofosfato apresentaram incremento de 38,14% e 28,11% respectivamente no efluente (100,73 83  $\mu\text{g L}^{-1}$  de PT e 88,83  $\mu\text{g L}^{-1}$  de P-PO<sub>4</sub>) em relação à água de abastecimento (72,92  $\mu\text{g L}^{-1}$  de PT e 69,34  $\mu\text{g L}^{-1}$  de P-PO<sub>4</sub>). Segundo HARDY e GATLIN (2002), essa dinâmica se deve ao manejo alimentar com uso de rações de baixa qualidade e metabolismo dos peixes. Com respeito às concentrações de fósforo no efluente do sistema, a porcentagem de amostragens em não conformidade com o enquadramento legal foi de 61,5% ( $\leq 100 \mu\text{g L}^{-1}$ ), devido ao incremento após a passagem pelo sistema produtivo (BRASIL, 2005).

Embora a concentração de nitrogênio total não tenha ultrapassado o limite recomendado para efluentes ( $\leq 2.180,00 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (BRASIL, 2005), houve incremento de 24,23% (657,51  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em relação ao afluente (529,28  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), proveniente do metabolismo do peixe, densidade de estocagem e da maior dependência de ração (ARARIPE *et al.*, 2006).

A concentração de N-NH<sub>4</sub> no efluente não excedeu o limite recomendado pela legislação vigente ( $\leq 3.700,00 \mu\text{g L}^{-1}$  se o pH  $\leq 7,50$ ) (BRASIL, 2005), entretanto, houve incremento de 103,35% (215,05  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em relação à água de abastecimento (104,77  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), relacionado à alimentação e excreção dos peixes.

A amônia, depois do oxigênio dissolvido, é o principal fator limitante na piscicultura, visto que esse resíduo nitrogenado pode atingir rapidamente concentrações tóxicas em sistemas intensivos, causando redução da

sobrevivência, do crescimento e ocasionando a morte dos peixes (ARANA, 2004). A sua toxicidade, em águas continentais, é influenciada pelo pH e temperatura da água (EMERSON *et al.*, 1975) e a truta arco-íris é considerada uma das espécies mais sensíveis à sua presença na água. Neste estudo, com os valores de temperatura abaixo de 20 °C e com a água levemente ácida, as concentrações de N-NH<sub>3</sub> não excederam o limite seguro para o cultivo de trutas ( $\leq 20 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (PORRELLO *et al.*, 2003), representando fração de aproximadamente 7,8% de N-NH<sub>4</sub> no sistema produtivo.

Após a passagem pela lagoa de estabilização (P4) houve incremento na concentração de PT (1,29%), P-PO<sub>4</sub> (2,28%) e NT (3,61%) em relação ao efluente. Embora este resultado seja estatisticamente não significativo, o mesmo indica que a *wetland* não foi eficiente. Entre os diferentes aspectos para melhorar este sistema de tratamento deve-se considerar sua dimensão proporcional à área de produção e o tempo de residência da água (CARMEL *et al.*, 2014).

A contribuição do empreendimento no corpo hídrico receptor (P6) em relação ao P1 resultou em incremento de 25,81% de PT, 21,49% P-PO<sub>4</sub> e 60,94% de N-NH<sub>4</sub> demonstrando que a distância de 60 m não foi suficiente para ocorrer recuperação do corpo hídrico receptor em relação à montante da truticultura. Esse aumento na disponibilidade de nutrientes no ambiente pode ocasionar alterações no ecossistema aquático (SAREMI *et al.*, 2013), como mudança no metabolismo do ecossistema (aumento da produtividade primária) e na composição da comunidade bentônica (KIRKAGAÇ *et al.*, 2009; ROSA *et al.*, 2013).

Através do cálculo do balanço de massa a truticultura foi caracterizada como sistema exportador de nutrientes devido às elevadas cargas de nutrientes no efluente decorrentes da relação entre a alta vazão e as maiores concentrações de nutrientes na saída do sistema. Essa relação da vazão na determinação das cargas de nutrientes fica mais evidente quando se comparam diferentes sistemas produtivos. De acordo com a Tabela 3, embora a maior concentração de fósforo tenha sido obtida no efluente de ranicultura (BORGES *et al.*, 2012), a truticultura apresentou a maior carga de PT via

efluente devido à vazão mais elevada quando comparada aos outros sistemas produtivos.

**Tabela 3.** Concentrações médias de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT), vazão (saída) e das cargas geradas no efluente por dia em diferentes sistemas de produção dos animais.

Sistemas	Concentração ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )		Vazão ( $\text{L s}^{-1}$ )	Carga ( $\text{kg dia}^{-1}$ )		Autores
	PT	NT		PT	NT	
Truticultura	100,73	657,51	38,26	0,33	2,17	Presente estudo
Ranicultura	6.090,00	-	0,02	0,01	-	BORGES <i>et al.</i> (2012)
Policultivo	90,59	472,97	4,46	0,03	0,17	ARAÚJO-SILVA <i>et al.</i> (2014)

Em países como Dinamarca, Noruega e Estados Unidos da América, onde rigorosas regulamentações ambientais regem a operação das truticulturas, o teor de fósforo na ração de truta e a conversão alimentar aparente (CAA) não podem exceder 0,9-1,0% e 1,0, respectivamente (BERGHEIM e BRINKER, 2003; MacMILLAN *et al.*, 2003). Entretanto, no Brasil, somente as concentrações dos nutrientes no efluente são consideradas pela legislação vigente.

Nesse sentido, notou-se através de pesquisas realizadas no Brasil (BORGES *et al.*, 2012; ARAÚJO-SILVA *et al.*, 2014; MERCANTE *et al.*, 2014) que a quantificação das cargas pode ser uma ferramenta útil para caracterização do impacto, pois contempla a vazão e não somente as concentrações de nutrientes, permitindo a comparação entre diferentes sistemas, métodos de criação e avaliação da eficiência das práticas de manejo empregadas no sistema produtivo.

Em relação ao P retido na biomassa de trutas (38%) (Fig. 5A), o valor foi maior que os obtidos por BARTOLI *et al.* (2007) em truticultura na Itália (19%) e WANG *et al.* (2012) em indústria de salmão na Noruega (30%). Em relação ao N retido na biomassa de trutas (25%) (Fig. 5B), os valores foram menores que os obtidos por BARTOLI *et al.* (2007) (49%), NORÒI *et al.* (2011) em truticultura nas Ilhas Faroe (32%) e WANG *et al.* (2012) (38%). Esses

resultados podem ser explicados pela diferença na composição das rações, manejo alimentar (quantidade e qualidade da ração ofertada, horário e frequência de arraçoamento ao longo do dia) e metabolismo dos peixes. A quantidade de P e N exportados via efluente (62% e 75%, respectivamente) indica que a maior parcela dos nutrientes que entraram via ração foram descartados no meio aquático, pois, para cada quilo de ração ofertada, 6,23 g de PT e 36,23 g de NT foram exportados via efluente.

Tais estimativas podem ser corroboradas através do cálculo de CAA, indicador ambiental, que resultou em taxa inadequada (2,12), demonstrando que houve sobra de alimento ofertado e baixa retenção na biomassa dos peixes. Segundo MUNGKUNG *et al.* (2013), a redução da CAA de 2,1:1 para 1,7:1 pode levar a uma diminuição de 20% nos resíduos da aquicultura, fator ligado à questão ambiental, uma vez que está relacionada ao metabolismo dos peixes (absorção e excreção de nutrientes), interferindo nas concentrações de matéria orgânica (CYRINO *et al.*, 2010). Portanto, se a CAA da truticultura estudada fosse 1,7:1 ao invés de 2,12:1, o sistema teria exportado uma quantidade menor de nutrientes via efluente (4,98 g de PT e 28,98 g de NT).

## **Conclusões**

A aplicação do balanço de massa como método de avaliação do efluente de truticultura evidenciou a exportação de nutrientes. A taxa de conversão alimentar inadequada demonstrou baixa eficiência na utilização de alimentos evidenciada também pelo resultado do cálculo da quantidade de nutrientes convertidos em biomassa de peixes, o que implicou em quantidades excessivas de resíduos perdidos via efluente. Esses resultados evidenciam que as práticas de manejo empregadas na truticultura não foram adequadas. Portanto, com a finalidade de reduzir essa descarga excessiva e seus impactos no corpo hídrico receptor, recomendam-se adequações no manejo, tais como melhora na assimilação do fósforo e nitrogênio considerando o estágio de desenvolvimento dos peixes, controle da quantidade de ração ofertada, utilização de densidades de estocagem adequadas e tratamento dos efluentes.

## Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo) pela concessão do auxílio financeiro utilizado na realização deste estudo, conforme o Processo n.º 2010/07658-3. A CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado. Ao estimado Dr. Marcos Guilherme Rigolino, Pesquisador Científico da Estação Experimental de Truticultura, *in memoriam*.

## Referências bibliográficas

- ABIMORAD, E.G.; GONÇALVES, G.S.; CASTELLANI, D. 2012 A crise dos alimentos e os reflexos na aquicultura brasileira. *Pesquisa & Tecnologia*, 9(2): 1-4.
- ALPASLAN, A. e PULATSU, S. 2008 The effect of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage culture on sediment quality in Kesikköprü Reservoir, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 65-70.
- AMARAL, G.F. 2007 *Análise do segmento de trutas: abordagens de cadeia produtiva e turismo rural*. Rio de Janeiro. 118p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Disponível em: <[http://r1.ufrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao\\_gisele\\_amaral.pdf](http://r1.ufrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao_gisele_amaral.pdf)> Acesso em: 27 mar. 2014.
- AMÉRICO, J.H.P.; TORRES, N.H.; MACHADO, A.A.; CARVALHO, S.L. 2013 Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. *Revista Científica ANAP Brasil*, 6(7): 137-150.
- AMIRKOLAIE, K.A. 2011 Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3: 19-26.
- APHA; AWWA; WPCF. 2005 *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1085p.
- ARANA, L.V. 2004 *Princípios químicos de qualidade da água em aqüicultura: Uma revisão para peixes e camarão*. 2. ed. Florianópolis: UFSC. 231p.
- ARARIPE, M.N.B.A.; SEGUNDO, L.F.F.; LOPES, J.B.; ARARIPE, H.G.A. 2006 Efeito do cultivo de peixes em tanques rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. *Revista Científica de Produção Animal*, 8(2): 56-65.
- ARAÚJO-SILVA, S.L.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Effluent of a polyculture system (tilapias and shrimps): assessment by mass balance of nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Protection*, 5: 799-804.

- AZEVEDO, P.A.; PODEMSKI, C.L.; HESSLEIN, R.H.; KASIAN, S.E.M.; FINDLAY, D.L.; BUREAU, D.P. 2011 Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. *Aquaculture*, 311: 175-186.
- BARTOLI, M.; NIZZOLI, D.; LONGHI, D.; LAINI, A.; VIAROLI, P. 2007 Impact of a trout farm on the water quality of an Apennine Creek from daily budgets of nutrients. *Chemistry and Ecology*, 23: 1-11.
- BATISTA E.R.; SANTOS, R.F., ANTONIO, S.M. 2009 Construção e análise de cenários de paisagem em área do Parque Nacional da Serra da Bocaina. *Revista Árvore*, 33(6): 1095-1108.
- BERGHEIM, A. e BRINKER, A. 2003 Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering*, 27: 61-77.
- BOAVENTURA, R.; PEDRO, A.M.; COIMBRA, J.; LENCASTRE, E. 1997 Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental Pollution*, 95(3): 379-387.
- BORGES, F.F.; AMARAL, L.A.; DE STEFANI, M.V. 2012 Characterization of effluents from bullfrog (*Lithobates catesbeianus*, Shaw, 1802) grow-out ponds. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu, 24(2): 160-166.
- BOUWMAN, A.F.; BEUSEN, A.H.W.; OVERBEEK, C.C.; BUREAU, D.P.; PAWLOWSKI, M.; GLIBERT, P.M. 2013 Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 21(2): 112-156.
- BOYD, C.E. e QUEIROZ, J. 2001 Feasibility of retention structure, settling basins and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming. *Reviews in Fisheries Science*, Boca Raton, 9(2): 43-67.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. 2007 Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 15: 327-360.
- BRASIL. (2005, on line) Resolução nº. 357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 17 mar. 2014.
- BRASIL. (2011, on line) Resolução nº. 430, de 13 de Maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 19 mar. 2014.
- BUREAU, D.P.; GUNTHER, S.J.; CHO, C.Y. 2003 Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, 65(1): 33-38.
- CAMEL, B.P.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TABATA, Y.A.; OSTI, J.A.S.; ISHIKAWA, C.M.; CERQUEIRA, M.A.S.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Water quality assessment of a trout farming

- effluent, Bocaina, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(10): 909-915.
- CLIMA. (2007, *on line*) *Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/pdf/saopaulo-geografia.pdf>> Acesso em: 21 jan. 2014.
- CYRINO, J.E.P; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. 2010 A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39: 68-87.
- EMERSON, K.; RUSSO, R.; LUND, R.; THURSTON, R. 1975 Aqueous ammonia equilibrium calculations: effects of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32: 2379-2383.
- FAO. 2011 *Small-scale rainbow trout farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO), Rome, 92 p.
- FAO. 2012 *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO), Rome, 209 p.
- FRASCA-SCORVO, C.M.D.; SCORVO-FILHO, J.D.; ALVES, J.M.C. 2013 Manejo alimentar e tanques rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 10(2): 1-7.
- HARDY, R.W. e GATLIN, D. 2002 Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA. MEMORIAS DEL SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 6., Cancún, 3-6/sep./2002. *Anais...* Cancún: p.23-34.
- KIRKGAÇ, M.U.; PULATSU, S.; TOPCU, A. 2009 Trout farm effluent effects on water sediment quality and benthos. *Clean Journal*, 37(4-5): 386-391.
- KOÇER, M.A.T.; KANYILMAZ, M.; YILAYAZ, A.; SEVGILI, H. 2013 Waste loading into a regulated stream from land-based trout farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 3: 187-195.
- MacMILLAN, J.R.; HUDDLESTON, T.; WOOLLEY, M.; FOTHERGILL, K. 2003 Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms. *Aquaculture*, 226: 91-99.
- MARQUES, J.S. e ARGENTO, M.S.F. 1988 O uso de flutuadores para avaliação da vazão de canais fluviais. *Geociências*, 7: 173-186.
- MERCANTE, C.T.J.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MORAES, M.A.B.; PEREIRA, J.S.; LOMBARDI, J.V. 2014 Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) farming system: water quality and environmental changes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26(1): 9-17.
- MIRRASOOLI, E.; NEZAMI, S.; GHORBANI, R.; KHARA, H.; TALEBI, M. 2012 The impact of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farm effluents on water quality. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 4(4): 330-334.
- MUNGKUNG, R.; AUBIN, J.; PRIHADI, T.H.; SLEMBROUCK, J.; VAN DER WERF, H.M.; LEGENDRE, M. 2013 Life cycle assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production*, 57: 249-256.

- NORÒI, G.; GLUD, R.N.; GAARD, E.; SIMONSEN, K. 2011 Environmental impacts of coastal fish farming: carbon and nitrogen budgets for trout farming in Kaldbaksfjørður (Faroe Islands). *Marine Ecology Progress Series*, 431: 223-241.
- NOROOZRAJABI, A.; GHORBANI, R.; ABDI, O.; NABAVI, E. 2013 The impact of rainbow trout farm effluents on water physicochemical properties of Daryasar Stream. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5: 342-346.
- PORRELLO, S.; FERRARI, G.; LENZI, M.; PERSIA, E. 2003 Ammonia variations in phytotreatment ponds of land-based fish farm wastewater. *Aquaculture*, 219: 485-494.
- ROSA, R.S.; AGUIAR, A.C.F.; BOËCHAT, I.G.; GÜCKER, B. 2013 Impacts of fish farm pollution on ecosystem structure and function of tropical headwater streams. *Environmental Pollution*, 174: 204-213.
- SABAUT, J.J. 1976 Cria de la trucha. CIPASA. Alimentos piscícolas. España. 24p.
- SAREMI, A.; SAREMI, K.; SAREMI, A.; SADEGHI, M.; SADEGHI, H. 2013 The effect of aquaculture effluents on water quality parameters of Haraz River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(2): 445-453.
- STRICKLAND, J.D.H. e PARSONS, T.R.A. 1960 A manual of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Ottawa, 125: 1-185.
- VALDERRAMA, J.C. 1981 The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural water. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- WANG, X.; OLSEN, L.M.; REITAN, K.I.; OLSEN, Y. 2012 Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3): 267-283.
- YALCUK, A.; PAKDIL, N.B.; KANTÜRER, O. 2014 Investigation of the effects of fish farms in Bolu (Turkey) on aquatic pollution. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 3: 1-13.
- ZAR, J.H. 2010 *Biostatistical Analysis*. 5<sup>th</sup> ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 944p.

**Capítulo II**  
**Avaliação dos efluentes de truticultura**  
**através do balanço de massa diário de**  
**nutrientes**

## **Avaliação dos efluentes de truticultura através do balanço de massa diário de nutrientes**

Assessment of effluents from trout farming through daily mass balance of nutrients

Munique de Almeida Bispo Moraes<sup>1</sup>, Yara Aiko Tabata<sup>2</sup>, Cacilda Thais Janson Mercante<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Especializado em Recursos Hídricos, Instituto de Pesca, Avenida Francisco Matarazzo, 455, CEP 05001-900, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: muniquebio@gmail.com

<sup>2</sup> Estação Experimental de Salmonicultura, Agência Paulista de Tecnologia e Agronegócios, APTA Regional Vale do Paraíba, Campos do Jordão, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: yara@apta.sp.gov.br

<sup>3</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Especializado em Recursos Hídricos, Instituto de Pesca, Avenida Francisco Matarazzo, 455, CEP 05001-900, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: cthais@pesca.sp.gov.br

**Resumo: Introdução:** O balanço de massa tem sido aplicado recentemente na aquicultura brasileira. Em relação à truticultura, poucos trabalhos tem utilizado essa metodologia como indicador ambiental, notadamente quando se considera cada fase de desenvolvimento. A maioria dos estudos realizados com alevinos, juvenis e adultos de trutas concentra-se nas áreas de hematologia, nutrição e crescimento. O balanço de massa diário permite uma estimativa precisa da descarga de nutrientes, pois o esforço amostral ao longo de 24 horas possibilita monitorar as amplas oscilações ao longo do dia. **Objetivo:** O presente estudo objetivou quantificar a descarga diária de nutrientes através do balanço de massa no efluente de setores de criação em sistema intensivo de truticultura. **Métodos:** As concentrações de fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) foram determinadas no afluente e nos efluentes do sistema de produção. Os indicadores ambientais foram calculados com base nos valores das cargas de nutrientes e no balanço de massa diário. **Resultados:** Ao longo das 24 horas de investigação, o sistema intensivo de truticultura exportou em média 0,262 kg de PT, 0,109 kg de P-PO<sub>4</sub>, 3,11 kg de NT e 0,18 kg de N-NH<sub>4</sub>. Os setores de juvenis e adultos foram responsáveis pela maior fração da descarga desses nutrientes via efluente. **Conclusões:** A partir da quantificação da descarga diária de nutrientes concluiu-se que o manejo alimentar (horários e frequência do arraçoamento) e a densidade de estocagem influenciaram diretamente os resultados da exportação de NT e PT via efluentes da truticultura. Com a finalidade de reduzir essas exportações recomendam-se

adequações no manejo alimentar buscando maior eficiência na digestibilidade do fósforo e nitrogênio considerando o estágio de desenvolvimento das trutas.

**Palavras-chave:** cargas de nutrientes, balanço de massa, alevinos, juvenis, adultos.

**Abstract: Introduction:** The mass balance has been recently applied in Brazilian aquaculture. Regarding trout farming, few studies have used this methodology as an environmental indicator, especially when considering each stage of fish development. The majority of the studies performed with fingerlings, juveniles and adults of trouts focuses on hematology, nutrition and growth. The daily mass balance allows an accurate estimate of the nutrients discharge because the sampling effort over 24 hours enables to monitor the wide variations throughout the day. **Aim:** This study aimed to quantify the daily discharge of nutrients through the mass balance in the effluents of production sectors in intensive trout farming system. **Methods:** The concentrations of total phosphorus (TP), orthophosphate (PO<sub>4</sub>-P), total nitrogen (TN) and ammonium (NH<sub>4</sub>-N) were determined in affluent and effluents of the production system. The environmental indicators were calculated based on the values of nutrient loads and in daily mass balance. **Results:** During the 24 hours, the intensive trout farming system exported on average 0.262 kg of TP, 0.109 kg of PO<sub>4</sub>-P, 3.11 kg of TN and 0.18 kg of NH<sub>4</sub>-N. The sectors of juveniles and adults were responsible for the largest fraction of these nutrients discharge via effluents. **Conclusions:** From the quantification of daily nutrients discharge concluded that feeding management (hours and frequency of feeding) and stocking density influenced directly the export results of TP and TN via trout farming effluents. In order to reduce these exports are proposed adjustments in feed management seeking greater efficiency in the digestibility of phosphorus and nitrogen considering the stage of trout development.

**Keywords:** nutrients loads, mass balance, fingerlings, juveniles, adults.

## Introdução

A produção de trutas é pequena quando comparada às produções de outros peixes no Brasil (BRASIL, 2013), sendo um segmento pouco estudado com relação as suas implicações econômicas e ambientais (AMARAL, 2007; CARMEL *et al.*, 2014).

A deterioração da qualidade da água é de grande preocupação em sistemas intensivos de produção de peixes. Essa preocupação não se refere apenas às necessidades dos animais em cultivo, mas também à qualidade da água que será despejada no corpo hídrico receptor (BARAK e RIJN, 2000), pois o impacto ambiental dos efluentes de pisciculturas está associado principalmente ao incremento de resíduos orgânicos que são descartados via

efluente (ARARIPE *et al.*, 2006; ALPASLAN e PULATSU, 2008; AMÉRICO *et al.*, 2013).

Esses resíduos podem ser divididos em sólidos, como alimento não consumido/não digerido, e em dissolvidos, como subproduto do metabolismo, tais como amônia e ortofosfato, que são excretados principalmente pelas brânquias e rins (BERGHEIM e BRINKER, 2003). A geração desses resíduos é determinada pela genética, idade, tamanho dos peixes, fatores ambientais, frequência de alimentação e qualidade dos alimentos ofertados aos organismos (BOAVENTURA *et al.*, 1997; LAZZARI e BALDISSEROTTO, 2008; FRASCA-SCORVO *et al.*, 2013).

A maioria das discussões sobre a aquicultura e o ambiente envolve a identificação de impactos e a definição do conceito de "aquicultura sustentável". No entanto, a questão não deve ser como a sustentabilidade está definida, mas sim como ela pode ser medida (BOYD *et al.*, 2007).

A geração de resíduos por pisciculturas pode ser quantificada através do monitoramento da água. Em *raceways*, como o fluxo de água é conhecido, as concentrações de nutrientes podem ser facilmente transformadas em cargas e, através da diferença entre a entrada e a saída do sistema, o balanço de massa de nutrientes pode ser calculado (BARTOLI *et al.*, 2007).

Relatos na literatura sobre balanços de massa em pisciculturas tem evidenciado elevado grau de descarga de nutrientes no ambiente natural que pode causar grandes impactos em sistemas oligotróficos (BARTOLI *et al.*, 2007; ARAÚJO-SILVA *et al.*, 2014; CARMEL *et al.*, 2014).

Essa metodologia tem sido aplicada recentemente na aquicultura brasileira (ARAÚJO-SILVA *et al.*, 2014; MERCANTE *et al.*, 2014). Em relação à truticultura, poucos trabalhos tem utilizado o balanço de massa como indicador ambiental (CARMEL *et al.*, 2014), notadamente, quando se considera cada fase de desenvolvimento dos peixes. A maioria dos estudos realizados com alevinos, juvenis e adultos de trutas concentra-se nas áreas de hematologia, nutrição e crescimento (KARABULUT *et al.*, 2010; GUZEL e ARVAS, 2011; TAHMASEBI-KOBYANI *et al.*, 2011).

Segundo BARTOLI *et al.* (2007), o balanço de massa diário permite uma estimativa precisa da descarga de nutrientes, pois o esforço amostral ao longo de 24 horas possibilita monitorar as amplas oscilações ao longo do dia.

Dessa forma, o estudo objetivou quantificar a descarga diária de nutrientes através do balanço de massa no efluente de setores de criação em sistema intensivo de truticultura.

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

O presente estudo foi realizado em sistema intensivo de truticultura (Trutário São José), localizado no Parque Nacional Serra da Bocaina (PNSB) a 35 km da cidade de Bananal, São Paulo (SP), Brasil, na Bacia Hidrográfica Paraíba do Sul situado a 1160 m de altitude (22°50'03,92"S e 44°25'46,33"O) (Figura 1). Área de Mata Atlântica que abrange grande parte das nascentes que fornecem água potável à população (BATISTA *et al.*, 2009), situada em região de clima tropical e subtropical, nas regiões montanhosas onde as temperaturas estão próximas a 22 °C no mês mais quente e por pelo menos quatro meses, é superior a 10 °C. No verão, a temperatura média da água é de 15 °C, com máxima de 21 °C e mínima de 12°C. No inverno, a temperatura média da água é de 12 °C, com máxima de 15 °C e mínima de 8 °C (CLIMA, 2007).



**Figura 1.** Mapa da América do Sul destacando a região onde o sistema de truticultura está localizado (Serra da Bocaina, São Paulo, SP, Brasil). Fonte: CAMEL *et al.* (2014).

### **Descrição do sistema de criação e manejo alimentar**

O sistema utilizado para a criação de trutas foi *raceway* caracterizado pelo regime intensivo de produção com alto fluxo contínuo de água. O povoamento do trutário foi realizado com 24.100 peixes que estavam em diferentes estágios de desenvolvimento distribuídos em doze tanques de alvenaria e separados em três setores de produção (Figura 2A). Ao longo do dia, os alevinos, juvenis e adultos foram arraçoados três vezes (08:00h, 14:00h e 20:00h) com ração extrusada (40% proteína bruta). De acordo com o estágio de desenvolvimento dos indivíduos e a estimativa da biomassa estocada (26 kg no setor de alevinos, 453,25 kg no setor de juvenis e 388 kg no setor de adultos) o produtor determinou a quantidade diária de ração por setor (2 kg para os alevinos, 23 kg para os juvenis e 19 kg para os adultos) considerando taxa de alimentação de 7% da biomassa total de alevinos e taxa de 5% da biomassa total de juvenis e adultos.

### **Amostragem e variáveis limnológicas**

As análises foram realizadas a cada 3 horas em quatro pontos distintos, com início às 10:00h do dia 25 de novembro de 2012 e término às 07:00h do dia 26 de novembro de 2012, caracterizando uma avaliação nictemeral, com

total de oito coletas realizadas. A distribuição dos pontos de amostragem (Figura 2A) seguiu a seguinte ordem: AB - afluente (Figura 2B); E<sub>AL</sub> - efluente do setor de alevinos (Figura 2C); E<sub>JV</sub> - efluente do setor de juvenis (Figura 2D) e E<sub>AD</sub> - efluente do setor de adultos (Figura 2E).



**Figura 2.** A = Desenho esquemático do empreendimento localizado na Serra da Bocaina (SP), organizado em três setores, com o número de indivíduos e o peso médio, onde: B = AB (afluente); C = E<sub>AL</sub> (efluente do setor de alevinos); D = E<sub>JV</sub> (efluente do setor de juvenis); E = E<sub>AD</sub> (efluente do setor de adultos); setas = fluxo direcional da água no sistema de produção.

Em campo, foram analisadas as variáveis pH, oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) com sonda multiparâmetros marca Horiba modelo U53G. O cálculo da porcentagem de saturação foi realizado a partir das concentrações de oxigênio dissolvido, temperatura da água e altitude do local estudado. Amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água. As amostras para a análise dos totais (PT e NT) foram congeladas. As amostras para a análise dos dissolvidos foram imediatamente filtradas em bomba a vácuo utilizando filtro Millipore AP-20 de porosidade de  $0,45 \mu\text{m}$  e congeladas. No laboratório do Instituto de Pesca, as amostras foram analisadas quanto à concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e nitrogênio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por VALDERRAMA (1981), ortofosfato ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por STRICKLAND e PARSONS (1960) e íon amônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) segundo metodologia descrita por APHA *et al.* (2005). Para o cálculo da vazão ( $\text{L s}^{-1}$ ) foram utilizados o método volumétrico (LEOPOLDO e SOUSA, 1979) e o método do flutuador (MARQUES e ARGENTO, 1988).

## **Análise estatística**

Para interpretação dos efeitos das variáveis físicas e químicas monitoradas durante o experimento, os dados após transformação  $\log(x+1)$  foram analisados através do teste Kruskal-Wallis seguido pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) para verificação das variações espaciais (ZAR, 2010). O nível de significância adotado foi 0,05. Para verificar o grau de importância e o efeito conjunto das variáveis aferidas foi realizada Análise de Componentes Principais (ACP) (MANLY, 2008).

## **Cálculo das cargas e do balanço de massa dos nutrientes**

Os valores de oxigênio dissolvido e as concentrações de nutrientes (fósforo total - PT, ortofosfato - P-PO<sub>4</sub>, nitrogênio total - NT e íon amônio - N-NH<sub>4</sub>) na água de abastecimento e no efluente dos diferentes setores de criação da truticultura foram multiplicados pela vazão da água para obtenção dos valores das cargas (kg dia<sup>-1</sup>). Para quantificar a quantidade de resíduos gerados pela atividade de truticultura, foi calculado o balanço de massa diário por meio da carga de nutrientes que sai via efluente e subtraída da água de abastecimento do sistema.

## **Resultados**

A criação estudada utilizou sistema de *raceway*, recebendo fluxo constante de água com vazão média em 4,13 L s<sup>-1</sup> no setor dos alevinos (E<sub>AL</sub>), 16,87 L s<sup>-1</sup> no setor dos juvenis (E<sub>JV</sub>) e 19,15 L s<sup>-1</sup> no setor dos adultos (E<sub>AD</sub>).

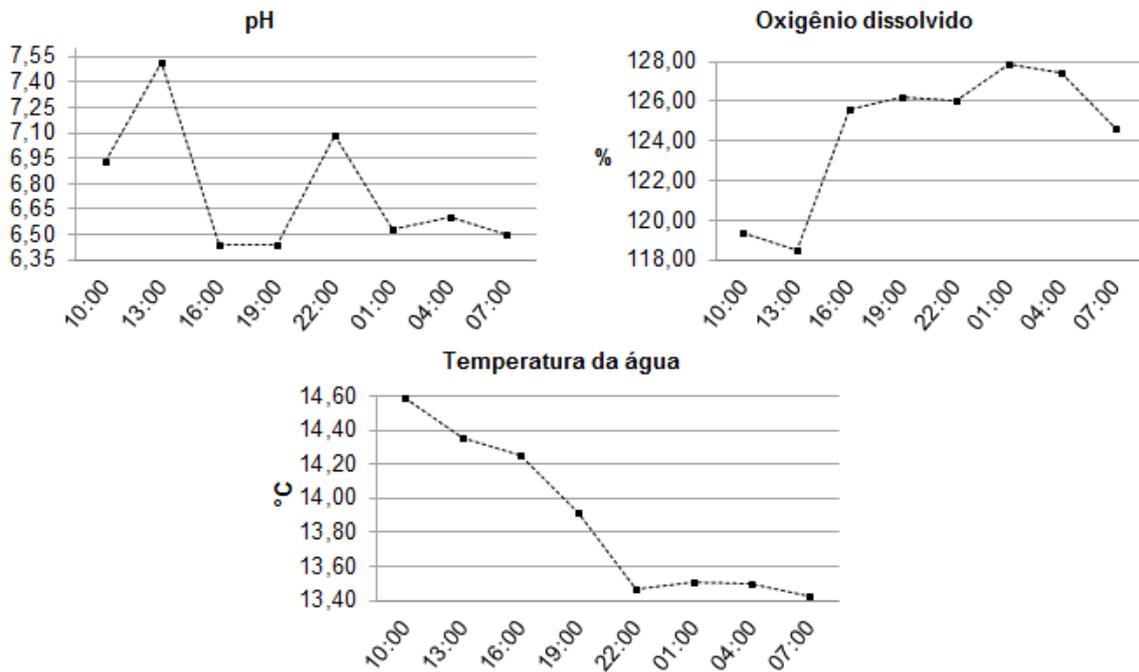
Com relação aos nutrientes, ocorreu incremento no sentido da entrada (AB) para a saída dos efluentes do sistema (E<sub>AL</sub>, E<sub>JV</sub> e E<sub>AD</sub>), sendo que as maiores concentrações foram obtidas nos setores dos juvenis e adultos. A porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido (H = 21,56; P < 0,001), a temperatura da água (H = 9,58; P = 0,023), o fósforo total (H = 54,79; P < 0,001), o ortofosfato (H = 50,81; P < 0,001), o nitrogênio total (H = 29,26; P < 0,001) e o íon amônio (H = 28,59; P < 0,001) variaram significativamente entre os pontos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Média e intervalo de confiança (95%) das variáveis analisadas durante 24 horas em truticultura. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de SNK (0,05). Valores de referência na última coluna.

Variáveis	Pontos				Valores de referência
	AB	E <sub>AL</sub>	E <sub>JV</sub>	E <sub>AD</sub>	
pH	6,83 <sup>a</sup> ±0,33	6,88 <sup>a</sup> ±0,23	6,61 <sup>a</sup> ±0,13	6,71 <sup>a</sup> ±0,25	6,00-9,00*
% Sat OD	129,82 <sup>a</sup> ±2,82	124,58 <sup>b</sup> ±2,00	121,13 <sup>c</sup> ±1,69	122,22 <sup>bc</sup> ±1,83	≥ 80,00*
T (°C)	14,35 <sup>a</sup> ±0,42	13,82 <sup>ac</sup> ±0,21	13,67 <sup>bc</sup> ±0,17	13,66 <sup>bc</sup> ±0,16	≤ 20,00*
PT (µg L <sup>-1</sup> )	13,66 <sup>a</sup> ±2,30	34,05 <sup>b</sup> ±5,40	78,95 <sup>c</sup> ±11,54	109,80 <sup>c</sup> ±11,21	≤ 100,00**
P-PO <sub>4</sub> (µg L <sup>-1</sup> )	4,49 <sup>a</sup> ±1,31	8,26 <sup>a</sup> ±3,83	31,80 <sup>b</sup> ±4,50	46,16 <sup>b</sup> ±4,72	-
NT (mg L <sup>-1</sup> )	2,05 <sup>a</sup> ±0,24	2,53 <sup>b</sup> ±0,24	3,02 <sup>c</sup> ±0,19	3,00 <sup>c</sup> ±0,31	≤ 2,18**
N-NH <sub>4</sub> (µg L <sup>-1</sup> )	115,37 <sup>a</sup> ±6,73	134,74 <sup>b</sup> ±9,51	182,87 <sup>c</sup> ±27,01	161,31 <sup>c</sup> ±13,85	≤ 3.700,00 se pH ≤ 7,5**

AB = afluente; E<sub>AL</sub> = efluente do setor de alevinos; E<sub>JV</sub> = efluente do setor de juvenis; E<sub>AD</sub> = efluente do setor de adultos; pH = potencial hidrogeniônico; % Sat OD = porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido; T = temperatura da água; PT = fósforo total; P-PO<sub>4</sub> = ortofosfato; NT = nitrogênio total; N-NH<sub>4</sub> = íon amônio. \*SABAUT, 1976; \*\*BRASIL, 2005.

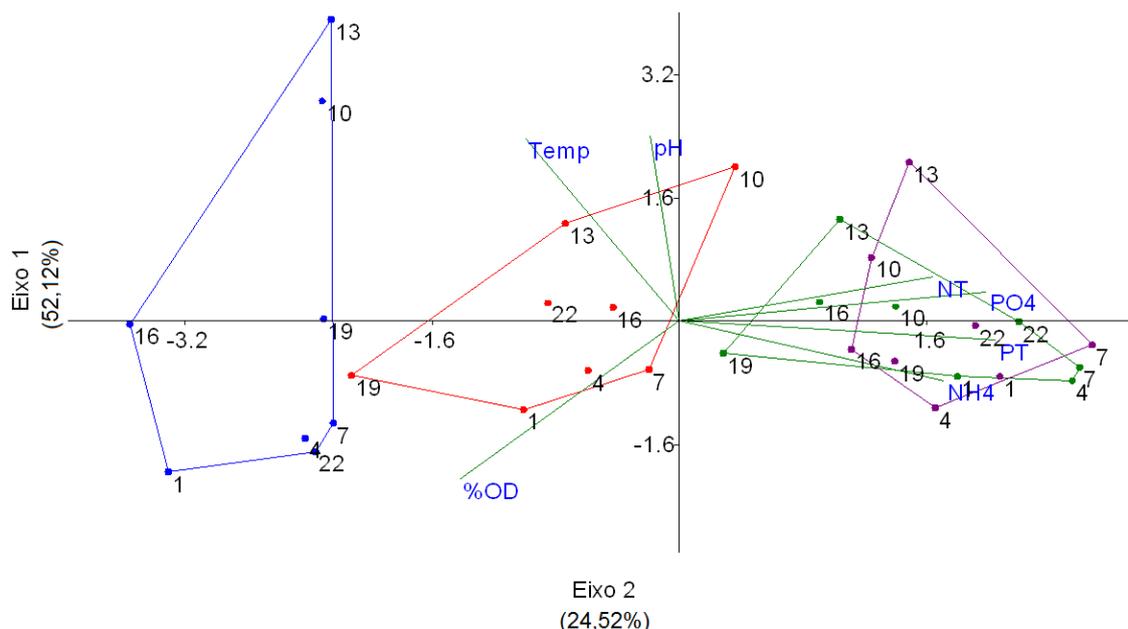
A Figura 3 mostra a relação entre a variação diária do pH, da porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido e da temperatura da água, variáveis associadas ao bem-estar das trutas.



**Figura 3.** Variação diária do pH, oxigênio dissolvido (%) e temperatura da água (°C) em sistema intensivo de truticultura.

A análise de componentes principais resumiu em seus dois primeiros componentes 76,64% da variabilidade total dos dados analisados (Figura 4) (Tabela 2). O eixo 1 (52,12%) resumiu as diferenças entre os setores. No lado negativo do eixo 1 estão agrupadas as unidades amostrais relacionadas à água de abastecimento e ao setor de alevinos, associadas às maiores porcentagens de saturação de oxigênio dissolvido. No lado positivo do eixo 1 estão agrupadas as unidades amostrais relacionadas aos setores de juvenis e adultos, associados às maiores concentrações de nutrientes.

O eixo 2 (24,52%) resumiu, principalmente, as diferenças entre os horários de coleta. No lado positivo do eixo 2 estão agrupadas as unidades amostrais das coletas realizadas entre 10:00, 13:00 e 16:00 horas, associadas aos maiores valores de pH e temperatura da água. No lado negativo do eixo 2 estão agrupadas as unidades amostrais referentes às coletas realizadas entre 19:00 e 07:00 horas, associadas às maiores porcentagens de saturação de oxigênio dissolvido.



**Figura 4.** Ordenação biplot pela Análise de Componentes Principais (ACP) das unidades amostrais geradas a partir de sete variáveis ambientais. Onde: as horas de coleta correspondem aos números 10 (10:00h), 13 (13:00h), 16 (16:00h), 19 (19:00h), 22 (22:00h), 1 (01:00h), 4 (04:00h) e 7 (07:00h); as linhas (*convex hull*) unem a nuvem representada pelas horas em que as coletas foram realizadas em cada ponto: afluente (azul), alevinos (vermelho), juvenis (verde) e adultos (roxo).

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas com os dois primeiros eixos da ACP (valores em negrito correspondem às variáveis que tiveram maior correlação com os eixos, acima de 0,5).

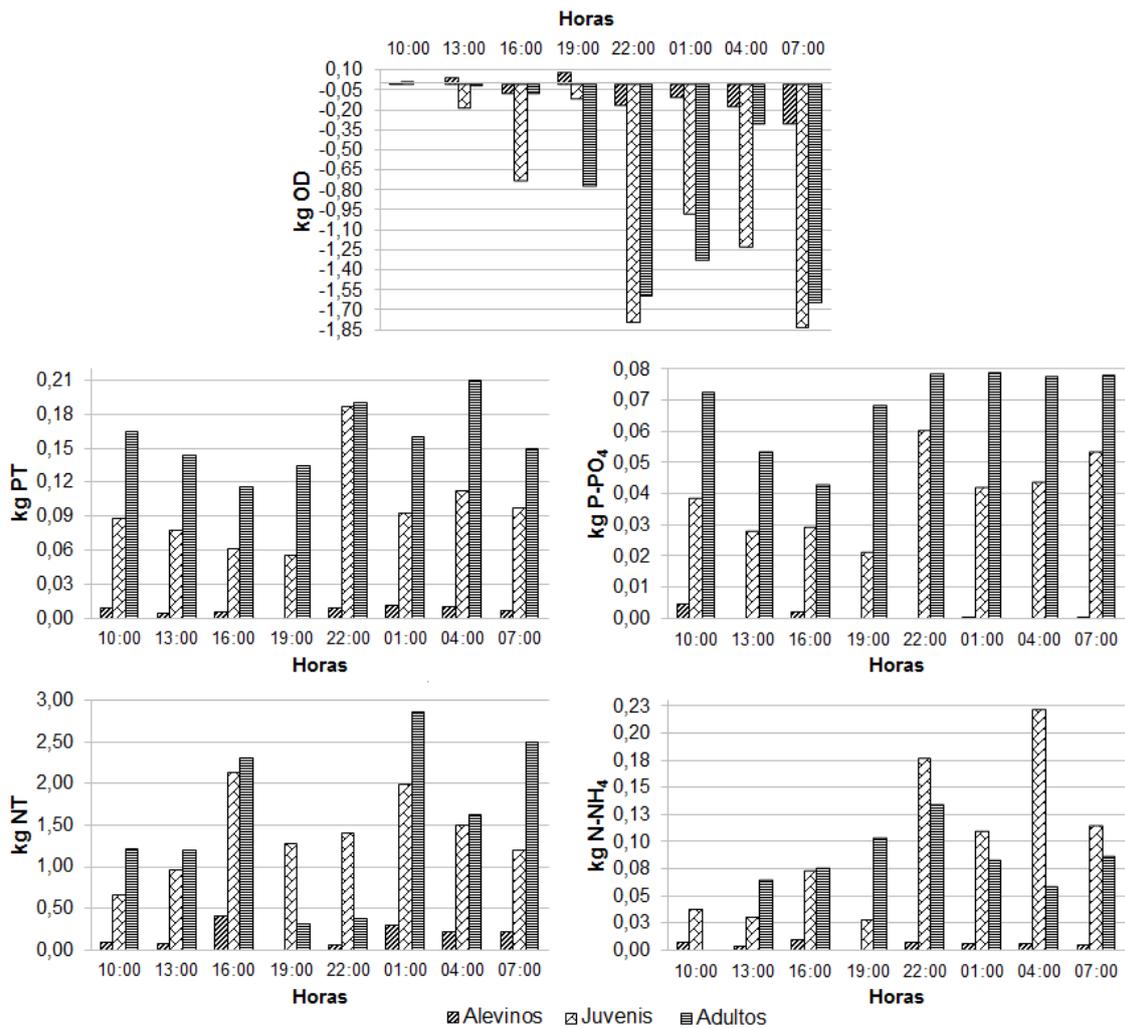
Variáveis	Abreviações	Componentes principais	
		Eixo 1	Eixo 2
pH	pH	-0,087	<b>0,772</b>
Oxigênio dissolvido	%OD	<b>-0,663</b>	<b>-0,651</b>
Temperatura	Temp	-0,467	<b>0,760</b>
Fósforo total	PT	<b>0,953</b>	-0,077
Ortofósforo	PO4	<b>0,924</b>	0,125
Nitrogênio total	NT	<b>0,764</b>	0,187
Íon amônio	NH4	<b>0,796</b>	-0,245
<b>Explicabilidade</b>		<b>52,12%</b>	<b>24,52%</b>

Quando calculadas as cargas dos nutrientes, destacaram-se o aporte de fósforo total, ortofósforo, nitrogênio total e íon amônio no efluente de todos os setores de criação. O cálculo do balanço de massa mostrou que a truticultura exportou nutrientes ao longo das 24 horas de investigação. Em relação aos

valores de oxigênio dissolvido, houve redução devido ao consumo via respiração (Tabela 3) (Figura 5).

**Tabela 3.** Balanço de massa diário ( $BM_D$ ) (valores médios) do oxigênio dissolvido (OD) fósforo total (PT), ortofosfato (P- $PO_4$ ), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N- $NH_4$ ) nos setores de criação em truticultura. Na última linha valor médio do balanço de massa diário ( $BM_D$ ) da truticultura.

		<b>OD</b> <b>(kg dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>PT</b> <b>(kg dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>P-<math>PO_4</math></b> <b>(kg dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>NT</b> <b>(kg dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>N-<math>NH_4</math></b> <b>(kg dia<sup>-1</sup>)</b>
	Afluente	4,13	0,005	0,002	0,73	0,04
Alevinos	Efluente	4,04	0,012	0,003	0,90	0,05
	$BM_D$	<b>- 0,09</b>	<b>0,007</b>	<b>0,001</b>	<b>0,17</b>	<b>0,01</b>
	Afluente	16,79	0,020	0,007	3,00	0,17
Juvenis	Efluente	15,94	0,116	0,046	4,39	0,27
	$BM_D$	<b>- 0,85</b>	<b>0,096</b>	<b>0,039</b>	<b>1,39</b>	<b>0,10</b>
	Afluente	18,99	0,023	0,008	3,41	0,19
Adultos	Efluente	18,28	0,181	0,076	4,96	0,27
	$BM_D$	<b>- 0,71</b>	<b>0,159</b>	<b>0,069</b>	<b>1,55</b>	<b>0,08</b>
Truticultura	$BM_D$	<b>- 1,65</b>	<b>0,262</b>	<b>0,109</b>	<b>3,11</b>	<b>0,18</b>



**Figura 5.** Balanço de massa (kg) de oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT) e íon amônio (N-NH<sub>4</sub>) nos três setores de criação em sistema intensivo de truticultura ao longo de 24 horas.

## Discussão

Considerando os valores recomendados para as variáveis físicas e químicas no monitoramento da qualidade da água para produção de trutas, os resultados demonstraram valores aceitáveis de pH, oxigênio dissolvido e temperatura da água em todos os setores (SABAUT, 1976; FAO, 2011).

Embora o pH tenha se mantido levemente ácido, ao longo do dia observou-se oscilações com maiores valores entre 10:00h e 16:00h e menores valores no período noturno. As variações diárias do pH podem estressar os organismos, mesmo que o valor absoluto esteja dentro da faixa de tolerância (CECCARELLI *et al.*, 2000), interferindo na produtividade.

Essas oscilações podem ter relação, principalmente, com o processo respiratório dos organismos cultivados, pois em sistemas lóticos como no caso da truticultura, a renovação contínua da água diminui o tempo de residência da água no sistema e, conseqüentemente, dificulta a permanência do fitoplâncton (BOYD e QUEIROZ, 2001). Situação diferente ocorre em sistemas lênticos, como na produção de tilápias e camarões em viveiros escavados, onde a produção primária é o principal fator relacionado às variações ao longo do dia (RODRIGUES *et al.*, 2010, MERCANTE *et al.*, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2012).

As maiores porcentagens de saturação de oxigênio dissolvido foram obtidas na água de abastecimento e no setor de alevinos (Tabela 1), enquanto que o maior consumo ocorreu no setor dos juvenis (Tabela 3; Fig. 5) devido à maior densidade de estocagem e à maior taxa de arraçoamento (ARARIPE *et al.*, 2006; BARTOLI *et al.*, 2007).

Ao longo do dia, as maiores porcentagens de saturação de oxigênio foram obtidas nas coletas realizadas entre 19:00h e 07:00h (Fig. 4), associadas principalmente à queda da temperatura da água. Entretanto, foi neste período em que ocorreu o maior consumo de oxigênio (Fig. 5), pois as trutas são mais ativas à noite (YOUNG, 1999; COOKE *et al.*, 2000).

A descarga de nutrientes via efluentes pode variar em função da qualidade dos alimentos e da estratégia de alimentação (TELLO *et al.*, 2010), sendo que a descarga do íon amônio e do ortofosfato está associada principalmente à atividade metabólica dos peixes, enquanto que a descarga de fósforo e nitrogênio se associa aos alimentos não ingeridos e à eliminação de fezes (BARTOLI *et al.*, 2007).

As maiores concentrações de nutrientes foram obtidas nos setores de juvenis e adultos, fato provavelmente associado à maior densidade de estocagem, ao aumento na quantidade de ração fornecida e ao metabolismo dos peixes como observado por outros autores (HARDY e GATLIN, 2002; BARTOLI *et al.*, 2007; KOÇER *et al.*, 2013). O limite recomendado de nitrogênio na legislação vigente foi excedido nos três setores de criação, enquanto que valores acima do recomendado de fósforo pela legislação foram

obtidos no efluente do setor dos adultos (BRASIL, 2005), evidenciando o manejo inadequado.

As concentrações de nutrientes nos efluentes oscilaram ao longo de 24 horas. Essa variação pode ser associada, principalmente, à frequência de alimentação, horários de arraçoamento e metabolismo dos peixes (BUREAU *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2012; TEODOROWICZ, 2013). Os nutrientes, principalmente o íon amônio, começam a ser excretados após aproximadamente quatro horas da ingestão da ração (BRETT e ZALA, 1975), o que pode explicar os picos de excreção de nutrientes verificados no presente estudo após esse intervalo de tempo.

Com a finalidade de melhorar o desempenho dos peixes na assimilação de nutrientes da ração, deve-se considerar o manejo adequado que recomenda frequência de alimentação acima de quatro vezes diárias para alevinos, devido ao crescimento mais acelerado e à baixa capacidade de armazenar alimento. No caso de juvenis e adultos, diminuir a frequência alimentar diária para duas vezes, devido à capacidade de armazenar alimento (FAO, 2011; FRASCA-SCORVO *et al.*, 2013). Além disso, devem-se escolher os horários de acordo com o metabolismo do peixe, pois a truta apresenta picos de alimentação ao amanhecer e ao anoitecer (YAMAMOTO *et al.*, 2002; SHIMA *et al.*, 2003).

Embora todos os setores tenham sido caracterizados como exportadores de nutrientes, as maiores cargas foram obtidas nos setores de juvenis e adultos. Esses resultados podem ser relacionados ao tamanho dos peixes. Os peixes menores têm, geralmente, melhor eficiência alimentar quando comparados aos peixes maiores (EINEN e ROEM, 1997).

O setor de adultos foi responsável pela maior descarga de fósforo total, ortofosfato e nitrogênio total, enquanto que o setor de juvenis foi responsável pela maior exportação de íon amônio devido à maior biomassa de peixes. Os juvenis excretam mais amônia pelo alta taxa de crescimento (BARTOLI *et al.*, 2007; DUMAS *et al.*, 2010), o que resulta em maior atividade metabólica desses peixes.

A assimilação do PT da dieta pela truta arco-íris é relativamente baixa (COLOSO *et al.*, 2001), portanto, os elevados valores deste nutriente nos

efluentes obtidos no presente estudo, provavelmente se originaram dos resíduos fecais e metabólitos. Como o teor de PT na truta diminui com o aumento do peso do corpo, é sugerido que as necessidades dietéticas deste nutriente sejam mais elevadas nas fases iniciais quando comparadas aos adultos (HERNÁNDEZ *et al.*, 2004). Entretanto, as rações utilizadas nos setores de criação tinham a mesma quantidade de fósforo (1% PT por kg ração), o que pode explicar a maior descarga deste nutriente pelo setor de adultos devido a sua menor assimilação.

Com relação ao ortofosfato, a exportação foi menor quando comparado aos outros nutrientes em todos os setores. Esse resultado pode ser associado ao fato de uma quantidade significativa deste nutriente ser lixiviado da ração em curto espaço de tempo (REID e MOCCIA, 2006).

A excreção de nutrientes em truta arco-íris é mais elevada durante a noite (COLOSO *et al.*, 2003) devido ao metabolismo e ao hábito crepuscular (YOUNG, 1999; COOKE *et al.*, 2000), situação observada no efluente dos três setores de criação, podendo estar relacionada também ao manejo alimentar.

Corpos hídricos caracterizados pelas baixas concentrações de nitrogênio e fósforo são mais vulneráveis às perturbações externas (BOND *et al.*, 2014), como no caso do riacho que recebe os efluentes desses sistemas produtivos. Assim, faz-se necessário o emprego de práticas que visem à redução da descarga excessiva destes nutrientes.

## **Conclusões**

A quantificação do balanço de massa diário de nutrientes permitiu verificar que a truticultura é exportadora de nutrientes, principalmente os setores dos juvenis e dos adultos, relacionados à maior biomassa de peixes e metabolismo. As maiores descargas de nutrientes foram detectadas no período noturno, associadas ao manejo alimentar (horários e frequência de arraçoamento) e ao hábito noturno das trutas. Com a finalidade de reduzir essas exportações recomendam-se adequações no manejo alimentar buscando maior eficiência na digestibilidade do fósforo e nitrogênio considerando o estágio de desenvolvimento das trutas.

## Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo) pela concessão do auxílio financeiro utilizado na realização deste estudo, conforme o Processo n.º 2010/07658-3. A CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado. Ao estimado Dr. Marcos Guilherme Rigolino, Pesquisador Científico da Estação Experimental de Truticultura, *in memoriam*.

## Referências bibliográficas

- ALPASLAN, A. e PULATSU, S. 2008 The effect of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage culture on sediment quality in Kesikköprü Reservoir, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 65-70.
- AMARAL, G.F. 2007 *Análise do segmento de trutas: abordagens de cadeia produtiva e turismo rural*. Rio de Janeiro. 118p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Disponível em: <[http://r1.ufrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao\\_gisele\\_amaral.pdf](http://r1.ufrj.br/cpda/wp-content/uploads/2011/09/dissertacao_gisele_amaral.pdf)> Acesso em: 27 mar. 2014.
- AMÉRICO, J.H.P.; TORRES, N.H.; MACHADO, A.A.; CARVALHO, S.L. 2013 Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. *Revista Científica ANAP Brasil*, 6(7): 137-150.
- APHA; AWWA; WPCF. 2005 *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1085p.
- ARARIPE, M.N.B.A.; SEGUNDO, L.F.F.; LOPES, J.B.; ARARIPE, H.G.A. 2006 Efeito do cultivo de peixes em tanques rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. *Revista Científica de Produção Animal*, 8(2): 56-65.
- ARAÚJO, R.F.; LOURENÇO, C.B.; SILVA, R.S.; PALHETA, G.D.A.; SANTOS, M.L.S.; MELO, N.F.A.C. 2012 Dinâmica Nictemeral de Variáveis Ambientais em um Cultivo de Camarão Marinho na Região Amazônica. *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 12(1): 17-24.
- ARAÚJO-SILVA, S.L.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Effluent of a polyculture system (tilapias and shrimps): assessment by mass balance of nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Protection*, 5: 799-804.
- BARAK, Y. e RIJN, J.V. 2000 Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. *Aquacultural Engineering*, 22: 121-136.

- BARTOLI, M.; NIZZOLI, D.; LONGHI, D.; LAINI, A.; VIAROLI, P. 2007 Impact of a trout farm on the water quality of an Apennine Creek from daily budgets of nutrients. *Chemistry and Ecology*, 23: 1-11.
- BATISTA E.R.; SANTOS, R.F., ANTONIO, S.M. 2009 Construção e análise de cenários de paisagem em área do Parque Nacional da Serra da Bocaina. *Revista Árvore*, 33(6): 1095-1108.
- BERGHEIM, A. e BRINKER, A. 2003 Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering*, 27: 61-77.
- BOAVENTURA, R.; PEDRO, A.M.; COIMBRA, J.; LENCASTRE, E. 1997 Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental Pollution*, 95(3): 379-387.
- BOND, T.; SEAR, D.; SYKES, T. 2014 Estimating the contribution of in-stream cattle faeces deposits to nutrient loading in an English Chalk stream. *Agricultural Water Management*, 131: 156-162.
- BOYD, C.E. e QUEIROZ, J. 2001 Feasibility of retention structure, settling basins and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming. *Reviews in Fisheries Science*, Boca Raton, 9(2): 43-67.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. 2007 Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 15: 327-360.
- BRASIL. (2005, on line) Resolução nº. 357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 17 mar. 2014.
- BRASIL. (2013, on line) Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2011. Disponível em: <[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL.pdf)> Acesso em: 13 fev. 2014.
- BRETT, J.R. e ZALA, C.A. 1975 Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. *Journal of Fisheries Research Board Canadian*, 32: 2479-2486.
- BUREAU, D.P.; GUNTHER, S.J.; CHO, C.Y. 2003 Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, 65(1): 33-38.
- CAMEL, B.P.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TABATA, Y.A.; OSTI, J.A.S.; ISHIKAWA, C.M.; CERQUEIRA, M.A.S.; MERCANTE, C.T.J. 2014 Water quality assessment of a trout farming effluent, Bocaina, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(10): 909-915.
- CECCARELLI, P.S.; SENHORINI, J.A.; VOLPATO, G.L. 2000 *Dicas em piscicultura; perguntas e respostas*. Botucatu: Santa Gráfica Editora. 274p.

- COLOSO, R.M; BASANTES, S.P.; KING, K.; HENDRIX, M.A.; FLETCHER, J.W.; WEIS, P.; FERRARIS, R.P. 2001 Effect of dietary phosphorus and vitamin D<sub>3</sub> on phosphorus levels in effluent from the experimental culture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 202: 145-161.
- COLOSO, R.M; KING, K.; FLETCHER, J.W.; HENDRIX, M.A.; SUBRAMANYAM, M.; WEIS, P.; FERRARIS, R.P. 2003 Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. *Aquaculture*, 220: 801-820.
- COOKE, S.J.; CHANDROO, K.P.; BEDDOW, T.A.; MOCCIA, R.D.; MCKINLEY, R.S. 2000 Swimming activity and energetic expenditure of captive rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) estimated by eletroyogram telemetry. *Aquaculture Research*, 31: 495-505.
- CLIMA. (2007, on line) *Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/pdf/saopaulo-geografia.pdf>> Acesso em: 21 jan. 2014.
- DUMAS, A.; FRANCE, J.; BUREAU, D. 2010 Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research*, 41: 161-181.
- EINEN, O. e ROEM, A.J. 1997 Dietary protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. *Aquaculture Nutrition*, 3: 115-126.
- FAO. 2011 *Small-scale rainbow trout farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO), Rome, 92 p.
- FRASCA-SCORVO, C.M.D.; SCORVO-FILHO, J.D.; ALVES, J.M.C. 2013 Manejo alimentar e tanques rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 10(2): 1-7.
- GUZEL, S. e ARVAS, A. 2011 Effects of different feeding strategies on the growth of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *African Journal of Biotechnology*, 10(25): 5048-5052.
- HARDY, R.W. e GATLIN, D. 2002 Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA. MEMORIAS DEL SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 6., Cancún, 3-6/sep./2002. *Anais...* Cancún: p.23-34.
- HERNÁNDEZ, A.; SATOH, S.; KIRON, V.; WATANABE, T. 2004 Phosphorus retention efficiency in rainbow trout fed diets with low fish meal and alternative protein ingredients. *Fisheries Science*, 70: 580-586.
- KARABULUT, H.A.; YANDI, I.; ARAS, N.M. 2010 Effects of different feed and temperature conditions on growth , meat yield, survival rate, feed conversion ratio and condition factor in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(22): 2818-2823.
- KOÇER, M.A.T.; KANYILMAZ, M.; YILAYAZ, A.; SEVGILI, H. 2013 Waste loading into a regulated stream from land-based trout farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 3: 187-195.
- LAZZARI, R. e BALDISSEROTTO, B. 2008 Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(4): 591-600.

- LEOPOLDO, P.R. e SOUSA, A.P. 1979. Hidrometria. Botucatu: [s.n.].
- MANLY, B.J.F. 2008 *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. Porto Alegre: Bookman. 229p.
- MARQUES, J.S. e ARGENTO, M.S.F. 1988 O uso de flutuadores para avaliação da vazão de canais fluviais. *Geociências*, 7: 173-186.
- MERCANTE, C.T.J.; CARMO, C.F.; RODRIGUES, C.J.; OSTI, J.A.S.; MAINARDES-PINTO, C.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TUCCI, A.; DI GENARO, A.C. 2011 Limnologia de viveiro de tilápias do nilo: avaliação diurna visando boas práticas de manejo. *Boletim do Instituto de Pesca*, 37(1): 73-84.
- MERCANTE, C.T.J.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MORAES, M.A.B.; PEREIRA, J.S.; LOMBARDI, J.V. 2014 Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) farming system: water quality and environmental changes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26(1): 9-17.
- REID, G.K. e MOCCIA, R.D. 2006 Diel fluctuation of soluble phosphorus in the tank water of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), and relationships with feed inputs and dissolved oxygen. *Aquaculture Research*, 37: 1606-1610.
- RODRIGUES, C.J.; MERCANTE, C.T.J.; CARMO, C.F.; TUCCI, A.; OSTI, J.A.S.; ACD GENARO, A.C.D. 2010 Diurnal dynamic of inorganic carbon and oxygen dissolved in a Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) fish pond, São Paulo, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22(4): 466-473.
- SABAUT, J.J. 1976 Cria de la trucha. CIPASA. Alimentos piscícolas. España. 24p.
- SHIMA, T.; YAMAMOTO, T.; FURUITA, H.; SUZUKI, N. 2003 Effect of the response interval of self-feeders on the self-regulation of feed demand by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Aquaculture*, 224: 181-191.
- STRICKLAND, J.D.H. e PARSONS, T.R.A. 1960 A manual of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Ottawa, 125: 1-185.
- TAHMASEBI-KOBYANI, A.; KEYVANSHOKOOHA, S.; NEMATOLLAHIB, A.; MAHMOUDIC, N.; PASHA-ZANOOSID, H. 2011 Dietary administration of nucleotides to enhance growth, humoral immune responses, and disease resistance of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*, 30(1): 189-193.
- TELLO, A.; CORNER, R.A.; TELFER, T.C. 2010 How do land-based salmonid farms affect stream ecology? *Environmental Pollution*, 158: 1147-1158.
- TEODORIWICZ, M. 2013 Surface water quality and intensive fish culture. *Archive of Polish Fisheries*, 21: 65-111.
- VALDERRAMA, J.C. 1981 The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural water. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- WANG, X.; OLSEN, L.M.; REITAN, K.I.; OLSEN, Y. 2012 Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for

integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3): 267-283.

YAMAMOTO, T.; SHIMA, T.; FURUITA, H. 2002 Influence of feeding diets with and without fish meal by hand and by self-feeders on feed intake, growth and nutrient utilization of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 214: 289-305.

YOUNG M.K. 1999 Summer diel activity and movement of adult brown trout in high elevation streams in Wyoming, U.S.A. *Journal of Fish Biology*, 54: 181-189.

ZAR, J.H. 2010 *Biostatistical Analysis*. 5<sup>th</sup> ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 944p.

## **Considerações finais**

## Considerações finais

As atividades humanas provocam alterações nos ecossistemas aquáticos, sendo que, os despejos de efluentes provenientes da aquicultura constituem uma importante fonte de compostos nitrogenados e fosfatados que são lançados nos corpos d'água receptores podendo causar o processo de eutrofização artificial.

A aplicação de indicadores ambientais para a avaliação do efluente de truticultura é relevante, pois é ferramenta útil na quantificação de resíduos lançados no corpo hídrico receptor, podendo ser utilizada em outras atividades de aquicultura, permitindo comparações entre diferentes sistemas de produção (viveiros escavados, *raceways*, tanques rede, entre outros) e práticas de manejo.

O modelo de balanço de massa demonstrou ser um indicador ambiental adequado na caracterização do efluente em relação à descarga de nutrientes, possibilitando a quantificação de nutrientes perdidos via efluente.

Embora a conversão alimentar aparente (CAA) seja classificada como indicador de produção, neste trabalho foi utilizada como indicador ambiental. Na piscicultura, a ração é a principal fonte de matéria orgânica, amônia e fósforo e através do cálculo da CAA é possível verificar se ocorre perda de ração e conseqüentemente de nutrientes via efluente do sistema produtivo devido à baixa eficiência na utilização do alimento ou excesso de arraçoamento.

O estudo desenvolvido no Capítulo 1 contribui com uma das lacunas do setor produtivo com relação às questões ambientais, através da geração dos fluxogramas de nitrogênio e fósforo que funcionam como modelo que permite a simulação de diferentes cenários da atividade de aquicultura, utilizando os indicadores ambientais para quantificar a geração de resíduos e avaliar a eficiência com que os recursos são utilizados na produção dos organismos aquáticos, além de permitir a avaliação da eficiência das práticas de manejo empregadas nos sistemas produtivos, com a finalidade de melhorá-las reduzindo as descargas de nutrientes.

O estudo desenvolvido no Capítulo 2 é pioneiro no Brasil com relação à quantificação das descargas diárias de nutrientes geradas por cada fase de desenvolvimento das trutas, pois existiam somente trabalhos realizados nas áreas de hematologia, parasitologia, crescimento e nutrição. Os resultados obtidos no presente estudo possibilitaram a identificação dos setores de juvenis e adultos e do período noturno relacionados às maiores descargas de nutrientes devido ao metabolismo das trutas e ao manejo alimentar (horários e frequência de arraçoamento).