

Impacto da criação de pacu na qualidade da água por meio de análise estatística multivariada: estudo de caso

Water quality impact of pacu breeding culture by multivariate statistical analysis: a case report

Argos Willian de Almeida Assunção¹

Pedro Gatti Junior¹

Antônio Sérgio Ferraudo²

Luiz Augusto do Amaral³

Resumo: O presente estudo avaliou, por meio de análises estatísticas multivariadas, o impacto na qualidade da água causado pela criação de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Amostragens foram realizadas quinzenalmente nos pontos de abastecimento e efluente do viveiro durante três meses, sendo realizadas análises de variáveis relacionadas com impacto ambiental na qualidade da água (pH, condutividade elétrica, DBO, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo total, ortofosfato, turbidez e material particulado suspenso). A análise de fatores agrupou as variáveis relacionadas com o impacto ambiental no primeiro fator em que, durante período de amostragem, o efluente apresentou maiores médias que o abastecimento, enquanto os demais fatores, não relacionados com impacto ambiental, apresentaram uma variação semelhante para os dois pontos de amostragem. Além disso, as variáveis relacionadas com o primeiro fator apresentaram maiores médias no efluente. O cultivo impactou a qualidade da água causando aumento das variáveis relacionadas com biomassa, matéria orgânica e eutrofização da água.

Palavras-chave: Efluente; Eutrofização; Piscicultura; Análise de fatores.

Abstract: This paper evaluated, by multivariate statistical analysis, the impact caused in the water quality by the culture of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Sampling was performed fortnightly, during three months, in pond's water supply and effluent sites. Were analyzed variables related to environmental impact in water quality (pH, electric conductivity, BOD, total nitrogen, amoniacal nitrogen, nitrite, nitrate, total phosphorus, orthophosphate, turbidity and suspended particulate material). The factorial analysis grouped in the first factor variables related to the environmental impact. The effluent showed higher means than the water supply for this factor, while other factors showed similar variation for the two sites. Furthermore, variables related to the first factor had higher means in effluent. The pacu breeding culture caused environmental impact on water quality increasing variables related to organic matter and water eutrophication.

Keywords: Effluent; Eutrophication; Pisciculture; Factor analysis.

1 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - PPGERN – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Rod. Washington Luís, km 325, SP - 310. CEP 13565-905 – São Carlos – SP – Brasil. e-mail:* argos_willian@yahoo.com.br (autor correspondente); pgattijunior@yahoo.com.br.

2 Dpto. de Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Via de acesso Dr. Paulo Donato Castellane, s/n. – CEP: 14.884-900 – Jaboticabal – SP - Brasil. e-mail: fsajago@gmail.com

3 Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP. Universidade Estadual Paulista. Via de acesso Dr. Paulo Donato Castellane, s/n. – CEP: 14.884-900 – Jaboticabal – SP - Brasil. e-mail: lamaryl@fcav.unesp.br

Introdução

Atualmente, a aquicultura apresenta um comércio difundido mundialmente, com produção em torno de 157 milhões de toneladas ao ano (FAO, 2012). A aquicultura é uma atividade em expansão (COSTA FILHO; GAYA, 2012) que, devido ao grande potencial hídrico brasileiro, representa uma alternativa viável, considerando o potencial de geração de empregos, a qualidade nutritiva do pescado, o baixo custo de produção e a depleção dos estoques naturais (ESTEVEES e ISHIKAVA, 2006).

Um peixe muito comercializado é o pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887), pertencente à família *Characidae*, largamente distribuído nas principais bacias hidrográficas do território brasileiro, sendo originalmente encontrado na Bacia do Prata e no Pantanal (BORGHETTI e CANZI, 1993; DAL PAI et al., 2000). É considerado um peixe onívoro, com forte tendência herbívora, alimentando-se de frutos, detritos orgânicos, crustáceos, moluscos e pequenos peixes. A produção mundial do pacu foi de 26.423 toneladas no ano de 2012 (FAO, 2012).

No entanto, os riscos potenciais associados ao crescimento da atividade aquícola têm chamado a atenção de pesquisadores e órgãos governamentais, especialmente, com relação aos impactos ambientais e à saúde pública.

As atividades aquícolas, na maioria dos casos, são desenvolvidas em áreas rurais, e seus efluentes são fonte de poluição e de contaminação dos corpos hídricos. Essa atividade pode ser implementada em vários níveis de produção, sendo que as características dos efluentes dependem basicamente da qualidade da água de abastecimento, da qualidade e da quantidade dos alimentos fornecidos, do tempo de residência do efluente dentro dos sistemas de criação, das espécies criadas, da densidade de estocagem e da biomassa dos organismos (SHILO e RIMON, 1982).

Geralmente, as liberações dos efluentes nas águas superficiais ocasionam alterações na qualidade da água, tais como: na vazão da água; aumento das concentrações de nutrientes, da matéria orgânica em suspensão; na demanda bioquímica de oxigênio, contaminação com substâncias químicas; e introdução de espécies exóticas nos ecossistemas aquáticos (ARANA, 2004). Aproximadamente 36% da ração ingerida é excretada (BRUNE et al., 2003) e 75% do fósforo e nitrogênio são perdidos nos efluentes (GUTIERREZ-WING e MALONE, 2006; PIEDRAHITA, 2003). Estimativas indicaram que as taxas de excreção de nutrientes por peixes mantidos por uma dieta com 35-40% de proteína e, com conversão alimentar de 1:1,5 são de aproximadamente 0,025 kg de nitrogênio e 0,033 kg de fósforo/kg de biomassa produzida (COCHAVA et al., 1990).

Os dejetos liberados pelos peixes modificam as características físicas, químicas e biológicas do tanque ou viveiro. Esses resíduos orgânicos, após ação microbiológica, fornecem nutrientes essenciais para o desenvolvimento de plâncton e de macrófitas aquáticas, podendo, quando em excesso, causar eutrofização do ambiente e alteração da composição e abundância de diversos organismos aquáticos (PÁDUA, 2001).

Além disso, durante o processo de criação de peixes, ocorre o acúmulo de resíduos orgânicos nos tanques e nos viveiros por adição de fertilizantes, excretas dos peixes e restos de ração não consumidos. A decomposição desse material é realizada, principalmente, por ação microbiológica, resultando no acúmulo de metabólitos tóxicos aos organismos aquáticos (amônia, nitrito e gás carbônico) (HUSSAR et al., 2004).

Diversos trabalhos indicam a piscicultura como atividade impactante na qualidade da água utilizada e demonstram os riscos relacionados com o descarte dos efluentes sem tratamento prévio

em corpos hídricos receptores (STEPHENS e FARRIS, 2004; YUCEL-GIER et al., 2007). Os efluentes de pisciculturas liberados em cursos d'água da Bacia do Rio Ribeira de Iguape, no Estado de São Paulo provocaram alterações nos valores de fósforo e nitrogênio totais e nitrato e amônia (CASTELLANI e BARRELLA, 2006).

Os principais impactos dos efluentes das atividades de aquicultura sobre os ecossistemas aquáticos são: o aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo na coluna d'água e o acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos (MIRES, 1996; DEGEFU et al., 2011). De acordo com CASABIANCA et al. (1997) a eutrofização diminui a riqueza de espécies favorecendo comunidades monoespecíficas. Além disso, pode aumentar a ocorrência de organismos patogênicos e introduzir novos patógenos (THOMPSON et al., 2002).

Atualmente, grande parte do efluente da aquicultura é lançado sem tratamento prévio nos cursos d'água. Esses aportes de matéria orgânica e poluentes têm gerado preocupação crescente com o elevado nível de eutrofização e poluição dos ambientes aquáticos, podendo, em longo prazo, inviabilizar o ecossistema receptor ecologicamente e socialmente (TUNDÍSI, 2005; CASTELLANI e BARRELLA, 2006).

CAMARGO (1992), avaliando o impacto de efluentes de fazendas de criação de trutas sobre o rio Tajuña (Espanha), constatou que os efeitos foram significativos sobre a qualidade da água do rio, visto que a um quilômetro do lançamento dos efluentes os valores de nutrientes ainda eram elevados. PEARSON (2001), ao analisar o impacto da implantação de tanques-redes com truta arco-íris em um lago da Suécia, constatou que os efluentes e os resíduos originários dessa atividade proporcionaram uma considerável degradação do ambiente aquático, tornando o hipolímnio anóxico em decorrência da decomposição da matéria orgânica.

No Brasil, a lei que regulamenta a classificação dos corpos hídricos e a qualidade da água para os diversos usos é a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005). A água destinada para utilização na aquicultura e atividade de pesca é enquadrada como água de classe dois, e são exigidos os seguintes padrões: pH entre 6 e 9, no mínimo de 5 mg.L⁻¹ de oxigênio dissolvido, até 100 unidades de turbidez, até 5 mg.L⁻¹ de DBO, 500 mg.L⁻¹ de sólidos dissolvidos totais, 0,05 mg.L⁻¹ de fósforo total, 10 mg.L⁻¹ de nitrato, 1 mg.L⁻¹ de nitrito e de 0,5 a 3,7 mg.L⁻¹ de nitrogênio amoniacal (varia de acordo com o pH).

A diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas nas áreas rurais apontam para uma tendência de um aproveitamento racional desse precioso recurso, com o mínimo de dano ao meio ambiente (HUSSAR et al., 2004). Dessa forma, o manejo ambiental, incluindo a remoção dos poluentes, é um aspecto essencial para a sustentabilidade das próprias atividades de aquicultura (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006).

O objetivo deste trabalho foi analisar o impacto na qualidade da água causado pela criação de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) por meio de análise estatística multivariada.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP (21° 15' S; 48° 18' W; 595 m acima do nível do mar), Campus de Jaboticabal/SP. O viveiro possuía 200 m² com profundidade média de 1,1 m. O abastecimento foi realizado com água proveniente de uma represa do CAUNESP com uma taxa de renovação média de 23,1% ao dia.

O viveiro foi dividido em quatro parcelas e as parcelas foram povoadas com pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmeberg, 1887) de dois tamanhos diferentes, duas parcelas foram povoadas com 25 peixes entre 400 e 500g cada e as outras duas parcelas com 75 jovens de até 100g cada. O

pacu é um peixe da família Characidae, originalmente encontrado na Bacia do Prata amplamente distribuído pelo Brasil (BORGHETTI e CANZI, 1993; DAL PAI et al., 2000). O viveiro tinha função de manutenção dos indivíduos para demais experimentos do setor, por isso, a divisão em parcelas e indivíduos de tamanho diferente. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia com ração extrusada, composta por 32% de proteína e 325 mg de vitamina C/kg, fabricada nos diâmetros de 4-6 mm e 6-8 mm. A composição da ração era de 6,5% extrato etéreo, 7% matéria fibrosa, 10% matéria mineral, 1,2% cálcio e 0,6% fósforo.

A amostragem foi realizada nos pontos de abastecimento e efluente do viveiro entre oito e nove horas da manhã, quinzenalmente, durante três meses (entre 31 de agosto e 23 de novembro de 2010), totalizando sete coletas. O pH, teor de oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp) e condutividade elétrica (Cond) foram determinados por meio medidores específicos (Lutron DO 5510 e Lutron CD-4304). A alcalinidade (Alcal) foi determinada segundo metodologia descrita por Golterman, Clyno, & Ohsntad, (1978). A dureza (Dur) total foi obtida pelo método colorimétrico (HACH, 1998). A turbidez foi mensurada por método nefelométrico, utilizando-se o aparelho Turbidimeter HACH DR 2100.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi determinada segundo método da medição manométrica do manual do Aparelho Aqualytic, modelo AL 320, que utiliza soluções de hidróxido de potássio a 45% e sensores de pressão internos. Os resultados são equivalentes aos obtidos pela metodologia da APHA (2005). A demanda química de oxigênio (DQO) foi quantificada segundo método colorimétrico (HACH, 1998). O nitrogênio total (Nitrogênio Total Kjeldahl - NKT) foi analisado pelo método semi-micro, e o fósforo total pelo método do persulfato (APHA, 2005).

O material particulado suspenso (MPS) foi calculado a partir de filtração de 300 mL de amostra em membranas de fibra de vidro (Whatman GF 52-C) de $45 \pm 0,5$ mm de diâmetro e 0,6-0,7 μ m de porosidade (APHA, 2005).

A partir das amostras filtradas foram analisados nitrogênio amoniacal dissolvido (N-NH₄), por meio do método do fenol, nitrito dissolvido (N-NO₂), pelo método colorimétrico, nitrato dissolvido, pelo método da redução por coluna de cádmio, e ortofosfato dissolvido, pelo método do cloreto estanhoso (APHA, 2005).

As comparações das variáveis de qualidade da água entre os pontos abastecimento e efluente do viveiro foram realizadas por meio de teste T de Student, para dados paramétricos, e teste Mann-Whitney, para dados não paramétricos.

A estrutura multivariada contida nos dados foi explorada pela análise de componentes principais para identificar pontos de coleta com propriedades específicas e, pela análise de fatores, buscou identificar o relacionamento dos processos ecológicos responsáveis pela variabilidade ocorrida condensando a variabilidade relevante original em novas variáveis (fatores) latentes ortogonais entre si. Os fatores são independentes entre si, não têm unidades e são variáveis padronizadas (Distribuição normal, média = 0 e variância = 1). São autovetores criados por combinações lineares das variáveis originais por meio dos autovalores da matriz de covariância original. Foram analisados somente os fatores apresentaram autovalores maiores do que um, conforme o critério de Kaiser (1958).

Os coeficientes das funções lineares que definem os fatores são usados para interpretar o seu significado, utilizando o sinal e o valor relativo dos coeficientes como uma indicação do peso a ser atribuído a cada variável. A diferença entre os pontos de coleta, a influência do tempo e a interação da coleta no tempo foi testada pelo General Linear Models (GLM) utilizando como análise de variância (ANOVA Fatorial). As diferenças significativas foram comparadas pelo teste de comparações múltiplas de Fisher (ou LSD). O programa utilizado foi o STATISTICA versão 9.1, Stat Soft, Inc (2010).

Resultados

Durante o experimento, a temperatura da água variou entre 22,6 e 27,4 °C, com dias mais quentes durante as últimas coletas. O OD variou entre 5,4 e 11,4 mg.L-1, o pH variou entre 6,1 e 7,7, condutividade elétrica da água variou entre 67,5 e 149,2 μ S.cm-1 e alcalidade variou entre 24,5 e 30,5 mg. L-1. Durante o experimento, as amostras de efluente apresentaram maiores médias de PT, NKT, MPS, turbidez e demanda de oxigênio em relação ao abastecimento (Tabela 1).

Tabela 1. Média e valor máximo das variáveis limnológicas da água de abastecimento e efluente de viveiro de criação de pacu (*Piaractus mesopotamicus*).

Variáveis Limnológicas	Unidade	Padrão resolução CONAMA 357	Abastecimento		Efluente	
			Média	Máximo	Média	Máximo
Temperatura t	°C	-	24,32	27,04	24,52	27,39
pH t	-	Entre 6 e 9	6,65	7,69	6,83	7,36
	μ S.cm-1	-	80,69	97,26	86,19	151,84
Oxigênio dissolvido t	mg.L-1	> 5,00	8,15	11,38	7,97	10,36
DBO m*	mg.L-1	< 5,00	3,09	7,33	16,94	32,66
DQO m*	mg.L-1	-	18,44	35,66	76,71	109,33
Nitrogênio Total m*	mg.L-1	-	0,80	1,28	2,29	3,43
Fósforo Total m*	mg.L-1	< 0,05	0,08	0,10	0,31	0,45
N-NO3 m*	μ g.L-1	< 10.000	279,09	376,73	34,73	68,25
N-NO2 t	μ g.L-1	< 1.000	9,74	22,82	5,28	12,77
N-NH4 t	μ g.L-1	< 3.700	56,10	165,56	161,18	923,66
P-PO4 t	μ g.L-1	-	0,70	1,45	1,55	4,68
Material Particulado m*	mg.L-1	< 500	15,08	20,69	54,60	77,53
Turbidez m*	UNT	< 100	22,57	26,33	64,95	117,33

Teste T Student; m Teste Mann-Whitney; * Diferença significativa ($p < 0,05$).

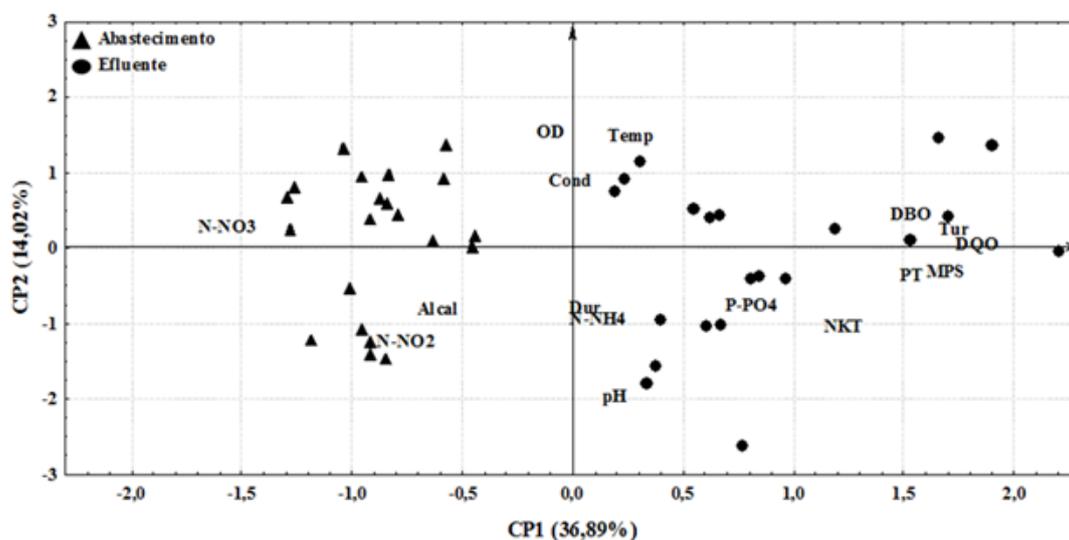
A análise exploratória de componentes principais (PCA) foi utilizada para identificar a relação das amostras do abastecimento e do efluente com as variáveis analisadas. Os componentes 1 e 2 (CP1 e CP2) captaram 50,9% da variabilidade dos dados (Figura 1).

Na PCA, as variáveis em pontos mais extremos são aquelas que mais contribuem para formação dos eixos. No caso do CP1 (37% da variabilidade dos dados), DQO, turbidez, DBO, PT, MPS e N-NO3 são as mais importantes. Todas elas, com a exceção do N-NO3, são associadas ao efluente, indicando o impacto produzido pelo viveiro ao longo de todo o

período analisado. As amostras de efluente apresentaram maior relação com alta concentração de nutrientes, demanda de oxigênio e presença de partículas na água, enquanto as amostras do ponto de abastecimento estiveram associadas com maiores concentrações de nitrato. A baixa concentração de nitrato no efluente pode ser explicada pela sua utilização pelo fitoplâncton.

As variáveis relacionadas ao CP2 foram temperatura e oxigênio dissolvido relacionadas inversamente ao pH. Essas variáveis indicam o efeito das condições climáticas em que, nos dias mais ensolarados são favorecidos maiores temperaturas e produção de oxigênio pela fotossíntese, enquanto que em dias chuvosos ocorre maior entrada de partículas como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que inibem a acidificação.

Figura 1. Gráfico biplot gerado pelos dois primeiros componentes principais, demonstrando a distribuição dos pontos de coleta e variáveis limnológicas.



A análise de fatores apresentou cinco fatores que explicaram 80,4% da variabilidade dos dados. Em todos os fatores, ocorreram diferença entre os pontos de coleta, semanas e a interação pontos de coleta e dias da semana, exceto os fatores F2 e F3 em que os pontos de amostragem não foram diferentes (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise de fatores demonstrando cinco fatores selecionados com as contribuições de cada variável para os fatores e sua interpretação.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Temperatura	0,092	-0,050	0,931	0,018	0,195
OD	-0,137	-0,690	0,129	0,279	0,096
Cond. Elétrica	0,002	-0,034	0,808	-0,181	-0,407
pH	0,108	0,801	-0,115	0,263	-0,112
Alcalinidade	-0,264	0,224	-0,015	-0,262	-0,745
Dureza	0,020	-0,041	0,025	0,295	-0,798

Valores em negrito indicam maior relevância para o fator da coluna correspondente.

DBO	0,884	-0,182	0,124	0,107	0,054
DQO	0,912	-0,069	0,087	0,255	0,110
PT	0,887	0,152	0,140	-0,067	0,067
NKT	0,712	0,287	-0,195	0,120	-0,256
MPS	0,938	0,090	-0,013	-0,134	0,067
Turbidez	0,912	-0,064	-0,086	-0,012	0,252
N-NH3	-0,047	-0,019	-0,303	0,822	-0,041
N-NO3	-0,868	0,165	-0,041	-0,207	0,309
N-NO2	-0,414	0,753	0,097	0,038	0,057
P-PO4	0,345	0,193	0,168	0,746	-0,022
Var. Captada	36,09%	12,24%	11,05%	10,78%	10,44%
Interpretação	M a t é r i a orgânica e demanda de O2	Nitritação	Decomposição	N u t r i e n t e s disponíveis	Presença de íons e carbonatos
A N O V A F a t o r i a l (valores de p)					
Amostra	0,000	0,951	0,548	0,002	0,045
Semana	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A m o s t r a x Semana	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001

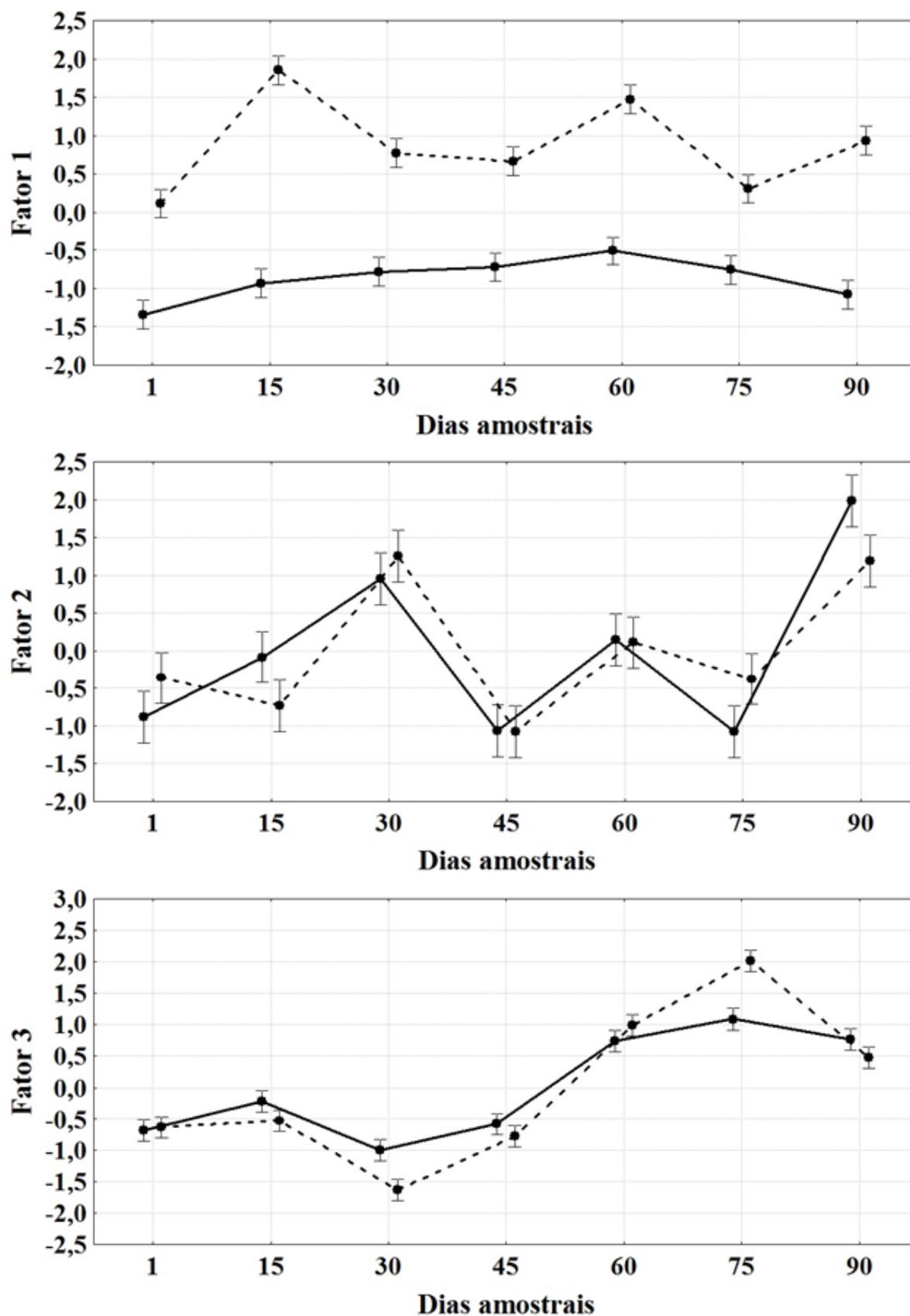
O fator F1, assim como PC1 (Figura 1), captou a variabilidade relacionado com o impacto ambiental na água causado pelo cultivo. O efluente apresentou maiores médias que o abastecimento em todas as semanas. No fator F2, foi observado o processo de nitrificação, mais especificamente a nitritação, em que ocorreu interação entre a concentração de nitrito e pH relacionado negativamente ao oxigênio dissolvido.

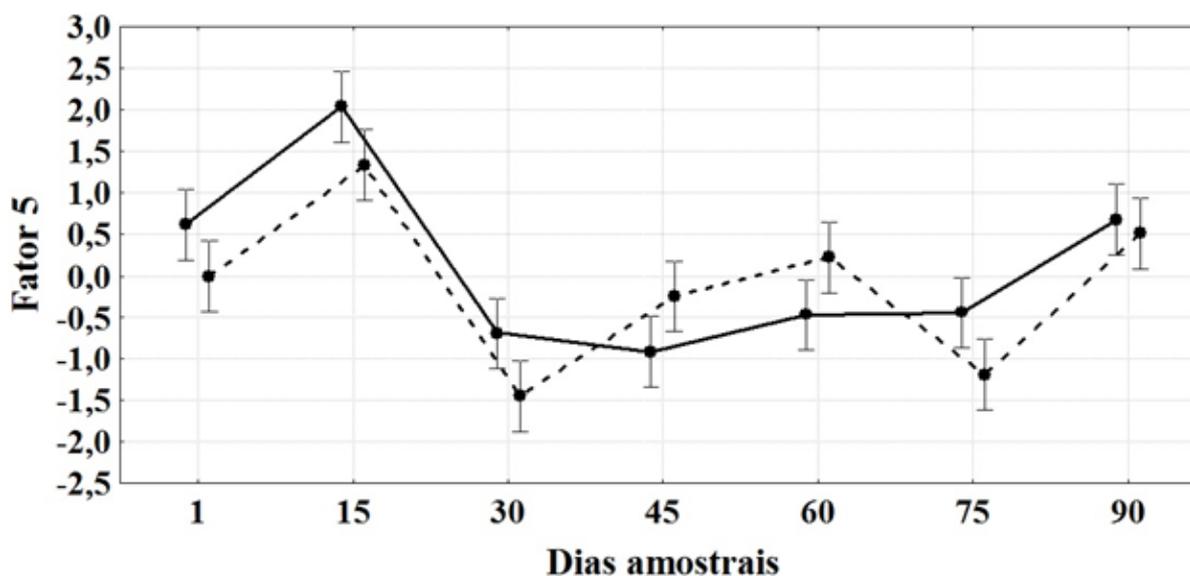
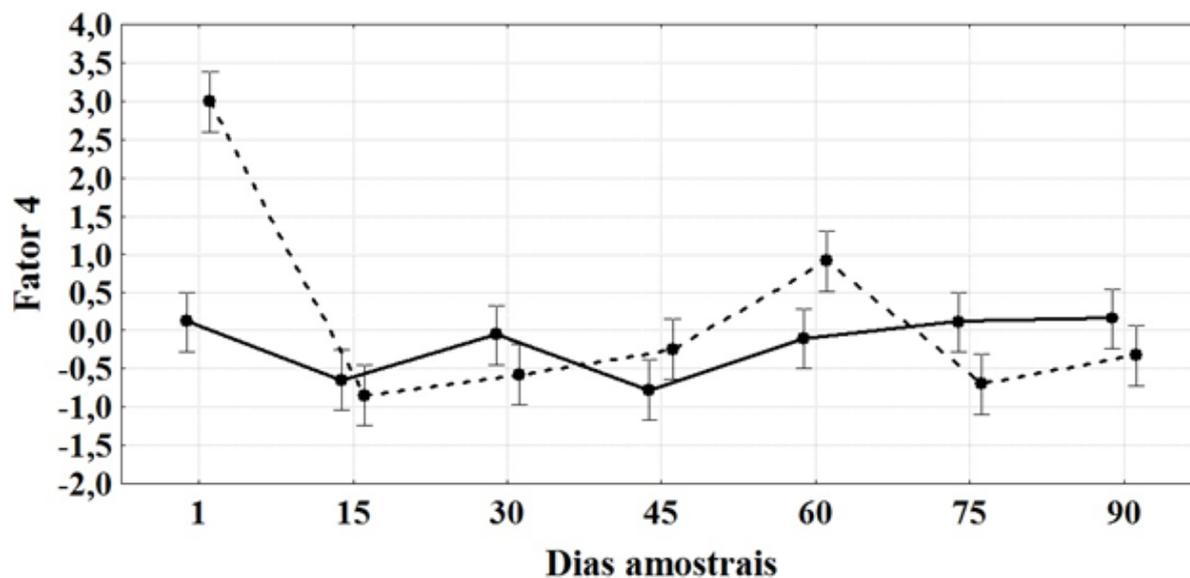
As variáveis em destaque no fator F3 foram temperatura e condutividade elétrica interagindo positivamente entre si. Esse fator está relacionado com a decomposição em que dias mais quentes favorecem a liberação de íons, cálcio, magnésio, carbonatos aumentando a condutividade elétrica (CUNHA-SANTINO e BIANCHINI Jr, 2004). As últimas semanas apresentaram maiores médias, uma vez que os dias ficaram mais quentes com a aproximação do verão.

O fator F4 está relacionado com a disponibilidade de nutrientes dissolvidos, uma vez que ocorreu interação entre N-NH₄ e P-PO₄ (MILSTEIN et al., 2005). Uma interação positiva entre alcalidade e dureza foi observada no fator F5, correspondendo à presença de íons e carbonatos na água.

O fator F1 apresentou médias diferentes entre o ponto de abastecimento e efluente durante todas as coletas, enquanto para os fatores F2, F3 e F5 demonstraram dinâmicas semelhantes nos dois pontos de amostragem. O fator F4 demonstrou que na primeira amostragem a concentração de nutrientes dissolvidos (P-PO₄ and N-NH₄) foi significativamente maior que o abastecimento, porém no decorrer do tempo as médias foram mais equivalentes, provavelmente devido à incorporação dos nutrientes pelo fitoplâncton (Figura 2).

Figura 2. Variabilidade apresentada pela água de abastecimento (linha contínua) e efluente do viveiro (linha pontilhada) captada pela análise de fatores.





Fator 1 = Biomassa, matéria orgânica e demanda de oxigênio; Fator 2 = Nitrificação; Fator 3 = Decomposição; Fator 4 = Disponibilidade de nutrientes; Fator 5 = Presença de íons e carbonatos.

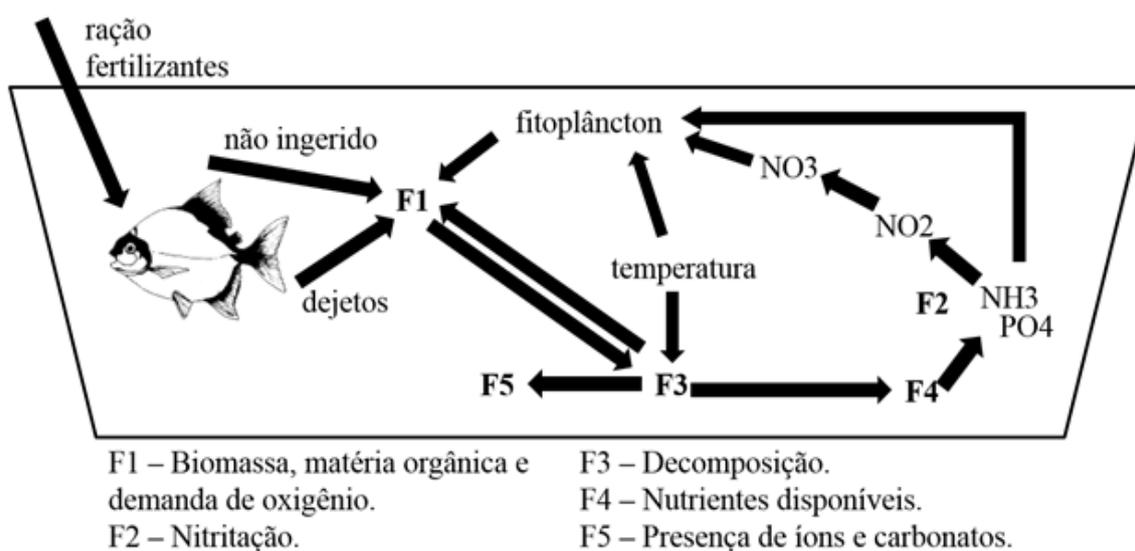
Discussão

Os resultados demonstraram que o cultivo de pacu provocou aumento das variáveis relacionadas à entrada de matéria orgânica e nutrientes, causando o aumento da produtividade e da demanda de oxigênio. Algumas variáveis indicaram que a água estava imprópria para a criação de organismos aquáticos e descarte em corpo hídrico considerado de classe dois, conforme recomendado pela Resolução CONAMA no 357 (BRASIL, 2005) (Tabela 1). Ocorreram valores de DBO e de fósforo total acima do permitido pela legislação nas amostras de efluente. Também, verificou-se um aumento na concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NH₄, NO₂ e NO₃), porém, para essas variáveis, a legislação permite concentrações muito altas e que dificilmente são encontrados em ambientes naturais. Além disso, apesar de o material particulado suspenso ter se mantido sempre dentro do permitido pela legislação, Boyd (2003) recomenda que sua concentração não deveria ser maior que 50 mg L⁻¹ (Tabela 1).

Em comparação a demais tipos de produção aquícola, o presente estudo apresentou concentrações ligeiramente superiores de nitrogênio e fósforo na água do efluente (2,29 mg L⁻¹ de NKT e 0,31 mg L⁻¹ de PT). Efluentes de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e camarão da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) demonstraram médias de 0,3 mg L⁻¹ de NKT e 0,05 mg L⁻¹ de PT e 0,68 mg L⁻¹ de NKT e 0,23 mg L⁻¹ de PT, respectivamente (BACCARIN; CAMARGO, 2005; HENARES et al., 2011). Efluentes de criação de rãs (*Lithobates catesbeianus*) chegaram a apresentar 6 mg.L⁻¹ de PT (BORGES; AMARAL; DE STÉFANI, 2012). Ao contrário de alguns trabalhos a concentração de nitrato foi menor no efluente comparado à fonte de abastecimento do viveiro de criação (HENARES et al., 2011; HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006), isso se deve ao consumo do nitrato pela elevada taxa de produção primária.

Apesar de os viveiros de criação de peixes serem construções artificiais, em relação ao metabolismo e produção primária, eles ainda mantêm uma dinâmica semelhante a ecossistemas aquáticos lênticos, rasos e eutróficos (RODRIGUES et al., 2010). Dentro dessa perspectiva, na aquicultura, a fração da dieta não consumida ou liberada junto com as fezes representa a principal causa de alterações na qualidade da água (ARANA, 2004), contribuindo para a formação de detritos. Esses detritos são gradualmente mineralizados, principalmente no fundo do viveiros (MUENDO et al., 2006), sendo convertidos pela atividade microbiana em dióxido de carbono, amônia, fosfatos e outras substâncias dissolvidas (BOYD, 1997). A decomposição aumenta a concentração de carbonatos e íons que influencia a alcalinidade e condutividade da água. O N-NH₄ liberado na decomposição sofre nitrificação formando N-NO₂ e, posteriormente, N-NO₃. Os nutrientes disponíveis na coluna d'água favorecem o crescimento de fitoplâncton e afetam a transparência da água (SIPAÚBA-TAVARES; MORAES; BRAGA, 1999), explicando o aumento da DBO, PT, NKT, turbidez e MPS no efluente (Figura 3).

Figura 3. Representação dos processos ecológicos captados pela análise de fatores (adaptado de Muendo et al., 2006).



A partir dos resultados individuais, submetidos às análises multivariadas, é possível identificar relações entre as variáveis da qualidade da água com os diferentes pontos amostrais (REPULA; QUINÁIA, 2009). No presente estudo, a análise de fatores permitiu uma interpretação da variabilidade dos dados relacionada com os processos ecológicos ocorridos dentro do viveiro,

possibilitando uma discussão dos principais impactos decorrentes da criação de pacu. A aplicação e interpretação da análise multivariada para os sistemas de criação de organismos aquáticos permite agrupar variáveis operacionais em novas variáveis teóricas de acordo com os processos ecológicos ocorridos em cada viveiro (MILSTEIN et al., 2005; MUENDO et al., 2006). A análise de componentes principais permitiu a relação entre variáveis e tratamentos para cada eixo (Figura 1), enquanto a análise de fatores possibilitou um aprofundamento, uma vez que foi possível verificar a dinâmica de cada fator no tempo e a comparação entre os dois pontos de coleta, abastecimento e efluente (Figura 2). Dessa forma, a análise de fatores foi uma importante ferramenta para reduzir o número de variáveis e possibilitar uma visão mais holística dos processos que ocorreram no viveiro. No fator F1, ficaram incluídas as principais variáveis relacionadas ao impacto ambiental decorrente do cultivo do pacu, permitindo avaliar e comparar a qualidade da água utilizando somente uma nova variável (F1) que foi interpretada como aumento de matéria orgânica e da demanda de O₂ (Tabela 2). Apesar de todos os fatores estarem interligados pela ciclagem de nutrientes, o F1 foi o principal responsável pela variação nas características da água, indicando que 36% dessa variação foi causada pelo impacto do cultivo de pacu (Tabela 2 e Figura 3). Além disso, essas análises permitiram identificar variáveis que podem ser utilizadas como indicadores de qualidade. O grande número de análises necessárias para avaliação da qualidade da água pode representar um fator limitante devido ao alto custo, assim o conhecimento da relação entre as variáveis é essencial para selecionar indicadores mais eficientes e mais baratos.

Conclusão

A criação de pacu apresentou impacto ambiental significativo na qualidade da água do efluente do viveiro, gerando elevação da concentração de fósforo total, nitrogênio total e material particulado suspenso, aumento nos níveis de turbidez e demanda bioquímica e química de oxigênio. As concentrações de fósforo e DBO no efluente estiveram acima do permitido na resolução CONAMA no 357 (2005). A análise multivariada de fatores permitiu verificar que a principal variação observada foi a entrada de matéria orgânica e aumento da demanda de oxigênio, incorporadas no Fator 1 e representando 36,09% da variação total dos dados. A abordagem estatística multivariada permitiu uma análise mais holística sobre os processos ecológicos ocorridos no viveiro, inclusive a alteração na qualidade da água decorrente do cultivo.

Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processos 2009/04578-1 e 2009/54103-0).

Referências

APHA, A. P. H. A. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th. ed. Washington: APHA, 2005.

ARANA, L. V. Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões. 2a. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.

BACCARIN, A. E.; CAMARGO, A. F. M. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. Brazilian Archives

of Biology and Technology, v. 48, n. 1, p. 81–90, jan. 2005.

BORGES, F. DE F.; AMARAL, L. A. DO; DE STÉFANI, M. V. Characterization of effluents from bullfrog (*Lithobates catesbeianus*, Shaw, 1802) grow-out ponds. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 24, n. 2, p. 160–166, jun. 2012.

BORGHETTI, J. R.; CANZI, C. The effect of water temperature and feeding rate on the growth rate of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) raised in cages. *Aquaculture*, v. 114, n. 1-2, p. 93–101, jul. 1993.

BOYD, C. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, v. 226, n. 1-4, p. 101–112, out. 2003.

BOYD, C. E. Manejo do solo e da qualidade da água em viveiro para aquicultura. Alabama: Auburn University, 1997.

BRASIL. Resolução n 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, de 17 de março de 2005. [s.l: s.n.]. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRUNE, D. E. et al. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 28, n. 1, p. 65–86, 2003.

CAMARGO, J. A. Temporal and spatial variations in dominance, diversity and biotic indices along a limestone stream receiving a trout farm effluent. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 63, n. 3-4, p. 343–359, jul. 1992.

CASABIANCA, M.-L. DE; LAUGIER, T.; COLLART, D. Impact of shellfish farming eutrophication on benthic macrophyte communities in the Thau lagoon, France. *Aquaculture International*, v. 5, n. 4, p. 301–314, 1997.

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

COCHAVA, M. et al. Intensive growth of fish with minimal water exchange. *Fish-breeding*, v. 23, n. 4, p. 174–181, 1990.

COSTA FILHO, J.; GAYA, L. D. G. Recent approaches of fish breeding / Abordagens recentes do melhoramento genético de peixes. *Revista Ambiência*, v. 8, n. 1, p. 195–210, 2 maio 2012.

CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR, I. Humic substances mineralization : the variation of pH , electrical conductivity and optical density . *Acta Limnol. Bras.*, v. 16, n. 1, p. 63–75, 2004.

DAL PAI, V. et al. Morphological, Histochemical and Morphometric Study of the Myotomal Muscle Tissue of the Pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae,

Teleostei). *Anatomia, Histologia, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series C*, v. 29, n. 5, p. 283–289, out. 2000.

DEGEFU, F.; MENGISTU, S.; SCHAGERL, M. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture*, v. 316, n. 1, p. 129–135, 2011.

ESTEVEES, K. E.; ISHIKAVA, C. M. Características gerais e práticas de manejo em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo. In: ESTEVES, K. E.; SANT'ANNA, C. . (Eds.). . *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo. Um estudo da região metropolitana de São Paulo*. São Carlos: RiMa, 2006. p. 240.

FAO. Fishery Statistical Collections. Disponível em: <<http://www.fao.org>>.

GOLTERMAN, H. L.; CLYNO, R. S.; OHSNTAD, M. A. M. *Methods for chemical analysis of fresh water*. Boston: Blackwell, 1978.

GUTIERREZ-WING, M. T.; MALONE, R. F. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 163–171, 2006.

HACH, C. W. H. *Procedures Manual of DR-2010 Spectrophotometer Handbook*. Colorado: Lovelend, 1998.

HENARES, M. N. P. et al. Impacto da manutenção de reprodutores de *Macrobrachium rosenbergii* na qualidade da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 37, n. 2, p. 183–190, 2011.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. *Sci. Agric.*, v. 63, n. 5, p. 433–438, 2006.

HUSSAR, G. J. et al. Uso de leitos cultivados de vazão subsuperficial na remoção de macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura. *Engenharia Ambiental*, v. 1, n. 1, p. 25–34, 2004.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, p. 187–200, 1958.

MILSTEIN, A. et al. Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. *Aquaculture International*, v. 13, n. 6, p. 501–518, 14 out. 2005.

MIRES, D. Aquaculture and the aquatic environment: mutual impact and preventive management. *Oceanographic Literature Review*, v. 43, n. 9, p. 947–948, 1996.

MUENDO, P. N. et al. Exploring the trophic structure in organically fertilized and feed-driven tilapia culture environments using multivariate analyses. *Aquaculture Research*, v. 37, n. 2, p. 151–163, fev. 2006.

PÁDUA, H. B. Impacto ambiental: um impacto na aqüicultura. *Revista Brasileira de Agropecuária*,

v. 1, n. 12, p. 1–66, 2001.

PEARSON, T.H., BLACK, K.D. The environmental impacts of marine fish cage culture. In: BLACK, K.D. (Ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture*. Sheffield Academic Press, pp. 1–30. 2001

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, v. 226, n. 1, p. 35–44, 2003.

REPULA, C. M. M.; QUINÁIA, S. P. Avaliação da qualidade das águas do córrego Viaduto utilizando análise de componentes principais. *Ambiência*, v. 5, n. 3, p. 433–442, 2009.

RODRIGUES, C. J. et al. Diurnal dynamic of inorganic carbon and oxygen dissolved in a Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) fish pond, São Paulo, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, n. 4, p. 466–473, 2010.

SHILO, M.; RIMON, A. Factors which effect the intensification of fish breeding in Israel. 2. Ammonia transformation in intensive fish ponds. *Bamidgeh*, v. 34, n. 3, p. 101–114, 1982.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MORAES, M. A. G. DE; BRAGA, F. M. . DE S. Dynamics of some limnological characteristics in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) culture tanks as function of handling. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, n. 4, nov. 1999.

STEPHENS, W. W.; FARRIS, J. L. A biomonitoring approach to aquaculture effluent characterization in channel catfish fingerling production. *Aquaculture*, v. 241, n. 1, p. 319–330, 2004.

THOMPSON, F. L.; ABREU, P. C.; WASIELESKY, W. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture*, v. 203, n. 3, p. 263–278, 2002.

TUNDÍSI, J. G. *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. 2a. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

YUCEL-GIER, G.; KUCUKSEZGIN, F.; KOCAK, F. Effects of fish farming on nutrients and benthic community structure in the Eastern Aegean (Turkey). *Aquaculture Research*, v. 38, n. 3, p. 256–267, mar. 2007.