

# UTILIZAÇÃO DE UM FLOCO-DECANTADOR DE MANTA DE LODO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PISCICULTURA EM TANQUE

Thassya Geórgia Lucas de Souza, Tsunao Matsumoto e Iván Andrés Sánchez Ortiz

## RESUMO

A aqüicultura é uma atividade econômica em expansão, que requer em seus processos produtivos, grandes volumes de água. As estações de piscicultura em tanques escavados produzem efluentes que na maioria das vezes não recebem nenhum tipo de tratamento antes de serem descartados, prejudicando o meio ambiente. É importante o desenvolvimento de alternativas de tratamento destes efluentes, visando o seu descarte ou reuso nas condições estabelecidas pela legislação ambiental. Este artigo reporta a avaliação de um sistema floco-decantador de manta de lodo (FDML) associado a um filtro de areia de fluxo descendente no tratamento de efluentes de piscicultura em tanque escavado, localizado num pesque-pague do Bairro Ipê (Ilha Solteira-SP, Brasil). Foram executados diversos ensaios no módulo experimen-

tal com taxas de aplicação superficial (TAS) de 60, 120 e 180m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia. Os resultados provaram a possibilidade de emprego do FDML na remoção de impurezas contidas em efluentes de piscicultura, com melhor desempenho para uma TAS de 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia. Foram monitorados os parâmetros turbidez, DQO, DBO<sub>5</sub>, N total, P total, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e algas, e foram calculadas as suas remoções; as eficiências médias foram 98,8; 93,2; 98,6; 41,5; 31,3; 71,2; 86,9; 66,5 e 98,9%, respectivamente. O sistema proposto é uma alternativa para o tratamento de águas de descarte de piscicultura, que proporciona ao líquido tratado as características de qualidade dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para lançamento, ou para eventual reuso.

## Introdução

A aqüicultura é a produção em cativeiro de organismos com hábitat predominantemente aquático, em qualquer um de seus estágios de desenvolvimento. Esta atividade pode ser bastante rentável economicamente, desde que feita com bases em projetos tecnicamente corretos (Valenti, 2002; Cyrino *et al.*, 2004).

Em menos de meio século, a aqüicultura tem-se expandido desde uma condição insignificante para uma produção comparável com a quantidade de alimento produzido pelas indústrias de pesca no mundo. A produção global da aqüicultura continua crescendo no novo milênio, embora a taxa de crescimento seja menor do que as registradas nos anos

80 e 90 do século passado (FAO, 2012).

Independente do tipo de cultivo, espécie utilizada ou local de implantação do sistema de criação, na aqüicultura serão gerados diversos impactos ao ambiente, os quais poderão ser considerados positivos ou negativos, dependendo do ponto de vista analisado (ambiental, econômico e social) e da extensão de cada cultivo (Eler e Espíndola, 2006). Em relação aos aspectos negativos decorrentes dessa expansão, tem-se principalmente a poluição das águas causada pelo acúmulo de substâncias contidas nos efluentes da aqüicultura que é tida como um dos principais problemas ambientais nos ecossistemas aquáticos (Rotta e Queiroz, 2003).

Segundo Lekang (2007), em função da produção por unidade de volume (m<sup>3</sup>) ou por unidade de área (m<sup>2</sup>) cultivada, a aqüicultura pode ser classificada em aqüicultura extensiva, semi-intensiva ou intensiva. Dentre as opções de aqüicultura continental extensiva e semi-intensiva estão os empreendimentos categorizados como pesque-pague, que segundo Eler e Espíndola (2006), tem experimentado um considerável crescimento na última década no Brasil, e de acordo com Venturieri (2002), no estado de São Paulo vem destacando como vetor de desenvolvimento.

Em sistema de cultivo, a ração empregada nos viveiros não é consumida em sua totalidade pelos peixes. A digestibilidade da matéria seca das

rações dentro do sistema gira em torno de 70% a 75%, isto significa que 25% a 30% do alimento fornecido ficam retidos nos sistemas aqüiculturais como material fecal (Kubitza, 2006).

As atividades da aqüicultura produzem basicamente três tipos de resíduos (Cripps e Bergheim, 2000; Bergheim e Brinker, 2003): matéria orgânica, medida como DBO<sub>5</sub>; nutrientes como N e P; e sólidos, usualmente medidos como sólidos suspensos totais (SST). No caso da produção em tanques escavados em terra, a matéria orgânica advém de fontes externas (esterco, ração, material dissolvido ou particulado), ou de fontes internas (fezes e restos de plantas e animais aquáticos) e contribui para o enriquecimento

**PALAVRAS CHAVE / Aqüicultura / Efluentes de Piscicultura / Floco-Decantador de Manta de Lodo / Impactos Ambientais / Recuperação de Qualidade / Reutilização /**

Recebido: 17/10/2013. Modificado: 08/07/2015. Aceito: 10/07/2015.

**Thassya Geórgia Lucas de Souza.** Engenheira Ambiental, Universidad de Lins (UNILINS), Brasil. M.Sc. em Engenharia Civil (Recursos Hídricos y Tecnologías Ambientales, Universidade Estadual Paulista (UNESP),

Brasil. e-mail: thassyageorgia@yahoo.com.br  
**Tsunao Matsumoto.** Engenheiro Civil, Fundação Valeparaibana de Ensino, Brasil. M.Sc e Ph.D. em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Brasil. Professor, UNESP,

Brasil. e-mail: tsunao@dec.feis.unesp.br  
**Iván Andrés Sánchez Ortiz.** Engenheiro Civil, Universidad de Nariño (Udenar), Colombia. M.Sc. em Engenharia Civil, UNESP, Brasil. Doutorando em Engenharia Civil, Universidade

Federal de Viçosa, Brasil. Professor, Udenar, Colombia. Endereço: Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Udenar. Carrera 22 N° 18-109, Ciudad Universitaria Torobajo, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. e-mail: iasio@udenar.edu.co

## UTILIZATION OF A SLUDGE BLANKET SETTLER FLOCCULATOR SYSTEM ON FISH CULTURE PONDS EFFLUENTS TREATMENT

Thassya Geórgia Lucas de Souza, Tsunao Matsumoto and Iván Andrés Sánchez Ortiz

### SUMMARY

*Aquaculture is an economic activity in current expansion that requires large volumes of water in its productive process. Fish culture farms in earthen dug ponds produce effluents that in most cases do not receive any treatment before its final discharge, deteriorating the environment. The development of alternatives for treatment of these effluents is required in order to guarantee the conditions established by environmental legislation for their discharge or reuse. This article reports the evaluation of a sludge blanket settler flocculator (SBSF) system associated to a downflow sand filter in the treatment of effluents from a recreational fishing dug pond, located at the Ipê neighborhood (Ilha Solteira-SP, Brazil). Several trials in the experi-*

*mental scheme using surface loading rates (SLR) of 60, 120 and 180m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/day were evaluated. The results showed the suitability of the SBSF for impurities removal in fish culture effluents, with best performance for the 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/day SLR. Turbidity, COD, BOD<sub>5</sub>, total N, total P, total solids, suspended solids, dissolved solids and algae were monitored, and their removal performance by the system were calculated; the average efficiencies were 98.8, 93.2%, 98.6, 41.5, 31.3, 71.2, 86.9, 66.5 and 98.9%, respectively. The proposed system is an alternative for fish culture effluents treatment, which provides to the treated liquid the quality characteristics within the range established by the Brazilian legislation for dumping or eventual reuse.*

## UTILIZACIÓN DE UN FLÓCULO-DECANTADOR DE MANTO DE LODO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE PISCICULTURA EN TANQUE

Thassya Geórgia Lucas de Souza, Tsunao Matsumoto e Iván Andrés Sánchez Ortiz

### RESUMEN

*La acuicultura es una actividad económica en expansión, que requiere de grandes volúmenes de agua en sus procesos productivos. Las estaciones de piscicultura en tanques excavados producen efluentes que la mayoría de las veces no reciben tratamiento alguno antes de ser vertidos, perjudicando al medio ambiente. Se requiere del desarrollo de alternativas de tratamiento de los efluentes, con miras a su descarte o reúso bajo las condiciones establecidas por la legislación ambiental. Este artículo reporta la evaluación de un sistema flóculo-decantador de manto de lodo (FDML) asociado a un filtro de arena de flujo descendiente en el tratamiento de efluentes de piscicultura en estanque excavado, localizado en una estación de pesca deportiva del Barrio Ipê (Ilha Solteira-SP, Brasil). Se ejecutaron ensayos en el módulo ex-*

*perimental con tasas de aplicación superficial (TAS) de 60, 120 y 180m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/día. Los resultados mostraron la posibilidad de emplear el FDML en la remoción de impurezas contenidas en el agua de piscicultura, con mejor desempeño para una TAS de 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/día. Se monitorearon los parámetros turbiedad, DQO, DBO<sub>5</sub>, N total, P total, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y algas, y se calcularon sus remociones por parte del sistema; las eficiencias medias fueron 98,8; 93,2; 98,6; 41,5; 31,3; 71,2; 86,9; 66,5 e 98,9%, respectivamente. El sistema propuesto es una alternativa para el tratamiento del agua de recambio de piscicultura, que proporciona al líquido tratado características de calidad dentro de los límites establecidos por la legislación brasilera para vertimiento de efluentes, o para eventual reúso.*

nutricional da água do viveiro (Martins, 2007).

De acordo com Read e Fernandes (2003) e Crab *et al.* (2007), o intensivo desenvolvimento da indústria da aquicultura tem sido acompanhado por um acréscimo nos impactos ambientais. Pesquisadores como Piedrahita (2003) e Sugiura *et al.* (2006), afirmaram que os efluentes da aquicultura descarregados em ambientes aquáticos contêm compostos orgânicos e inorgânicos particulados ou dissolvidos, matéria orgânica e nutrientes. Os altos níveis de nutrientes causam degradação ambiental nos corpos de água receptores, e o nível do impacto vai depender da quantidade ou concentração liberada e da

capacidade assimilativa do ambiente aquático.

Dentre as principais justificativas para intensificar a produção aquícola estão (Avnimelech, 2006): as preocupações de biossegurança, que limitam a captação e uso de certo tipo de águas; a escassez e/ou custo da água; a regulação ambiental, que proíbe ou limita a disposição final das águas residuárias. No Brasil, em nível federal, os padrões para corpos de água onde haja práticas aquícolas e os limites para lançamentos de efluentes são regulamentados pela Resolução N° 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2011); e em nível estadual são estabelecidos no Artigo 18 do Decreto

Estadual N° 8.468 (São Paulo, 1976).

Uma alternativa importante para melhorar a qualidade e, ao mesmo tempo, reduzir o volume dos efluentes de tanques de criação de peixes é a aplicação das boas práticas de manejo (BPM) definidas por autores como Boyd (2003) e Boyd *et al.* (2008); no entanto, esses efluentes deverão receber tratamento para reduzir os impactos ambientais produzidos pelos lançamentos. Dentre as opções para minimizar as cargas provenientes dos efluentes de aquicultura estão (Sipaúba-Tavares, 2006): construção de biofiltros com plantas aquáticas, tanques de sedimentação, *wetlands*, recirculação da água, entre outros, a maioria

delas baseadas em sistemas de tratamento físico, biológico ou a sua combinação.

Na aquicultura com tanques escavados em terra tem sido utilizado produtos químicos, principalmente como fertilizantes e controladores do pH; outras opções menos frequentes são como oxidantes, desinfetantes, osmorreguladores, herbicidas e coagulantes (Boyd e Massaut, 1999).

De acordo com Cripps e Bergheim (2000), em efluentes aquícolas comerciais de baixas concentrações é geralmente mais factível a remoção dos sólidos (e assim, os nutrientes e DBO a eles associados), do que tratar as frações dissolvidas usando alguma forma de filtro biológico. Segundo Rishel e Ebeling

(2006), um dos métodos mais comuns para remoção de sólidos suspensos em água potável é a adição de auxiliares de coagulação e floculação, tais como alumínio, cloreto férrico e polímeros de cadeia longa; a coagulação é o processo de redução ou neutralização das cargas elétricas nas partículas em suspensão; e a floculação é o processo de reunir as partículas dos microflocos para formar agregações maiores por mistura física e/ou a ação dos agentes floculantes.

Autores como True *et al.* (2004) e Martins *et al.* (2010) recomendam o uso de coagulantes e unidades de tratamento físico-químico no tratamento dos efluentes da aquicultura e/o dos lodos produzidos. Experiências do uso de coagulantes para remoção de sólidos suspensos e P em águas de micro-peneiras em sistemas de recirculação foram reportadas por Ebeling *et al.* (2003, 2004 e 2005) e Sharrer *et al.* (2009).

Há muita tradição no uso dos sistemas de tratamento físico químico, principalmente para água potável. Spellman (2009) afirma que uma das principais opções para tratamento de águas superficiais é a clarificação química por meio da coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Na busca de avanços na concepção de estações de tratamento de água convencionais mais eficientes, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos em módulo floco-decantador de manta de lodo (MFDML) na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP. Pesquisadores como Tangerino *et al.* (1998), Guilherme (2001) e Cavazzana (2006) avaliaram o potencial de aplicação de floculador de manta de lodo e decantador de placas paralelas no tratamento de água para abastecimento.

O desenvolvimento de pesquisas sobre alternativas de tratamento que visem principalmente a remoção de partículas sólidas nos tanques de piscicultura e, conseqüentemente, a remoção de outros poluentes, como o fósforo, é

importante para contribuir nos avanços tecnológicos que a aquicultura precisa. A presente pesquisa propôs um método de tratamento físico-químico por meio de um floco-decantador de manta de lodo seguido por um filtro de areia descendente objetivando a recuperação da qualidade de efluentes de tanques de piscicultura promovendo a remoção das partículas sólidas geradas nesses locais e a melhoria na qualidade final do efluente, direcionando assim seu descarte, reuso ou reutilização na própria produção aquícola.

## Materiais e Métodos

### Local de instalação do experimento

A estação experimental foi montada para tratar os efluentes de um tanque escavado de 35x25m e 1,5m de profundidade para criação de tilápia nilótica, localizado num pesqueiro tipo pesque-pague no Bairro Ipê, no município de Ilha Solteira-SP, Brasil.

### Descrição do módulo experimental

A água de abastecimento do tanque de cultivo é proveniente de um afloramento de água existente no local. A saída da água é realizada através de um monge que encaminha o efluente para o Lago do Ipê, a jusante do pesque-pague. O tratamento da água do tanque de piscicultura foi realizado por meio da passagem deste efluente pelo módulo experimental, composto por um floculador hidráulico de manta de lodo associado a um decantador de alta taxa (FDML) seguido por um filtro de areia em fluxo descendente. O esquema da instalação experimental pode ser visto na Figura 1.

O floculador foi construído em acrílico com formato de tronco de pirâmide com um volume total de 62,1 l. Os detalhes das dimensões do tronco de pirâmide do floculador de manta de lodo podem ser vistos na Figura 2a. O

decantador de alta taxa, de placas paralelas com um volume de 291, também foi construído em acrílico. Os detalhes das dimensões do decantador estão representados na Figura 2b.

O filtro descendente de areia foi construído em tubo de PVC de 20cm de diâmetro, com altura total de 3,60m e altura livre de 2,25m. O leito filtrante foi composto de uma camada 0,50m de areia com tamanho dos grãos variando de 0,42 a 1,41mm, tamanho efetivo de 0,52mm e coeficiente de desuniformidade igual a 1,5.

Outros dispositivos também foram utilizados em conjunto com o FDML, tais como: estrutura de suporte do FDML; sistema de recalque de água bruta; sistema para preparo,

dosagem e mistura de coagulantes; tubulação de alimentação; caixa de controle de volume constante; reservatório (1000 l) para armazenamento de água tratada para o sistema de lavagem do filtro.

### Parâmetros monitorados

Avaliou-se a recuperação da qualidade da água de piscicultura através do FDML seguido pelo filtro de areia em fluxo descendente com três taxas de aplicação superficial (TAS): 180, 120 e 60m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia, as quais foram conferidas diariamente pela vazão de entrada no módulo.

O aumento progressivo da manta de lodo no FDML exigiu a descarga da manta quando esta atingia o final do decantador laminar, pois liberava

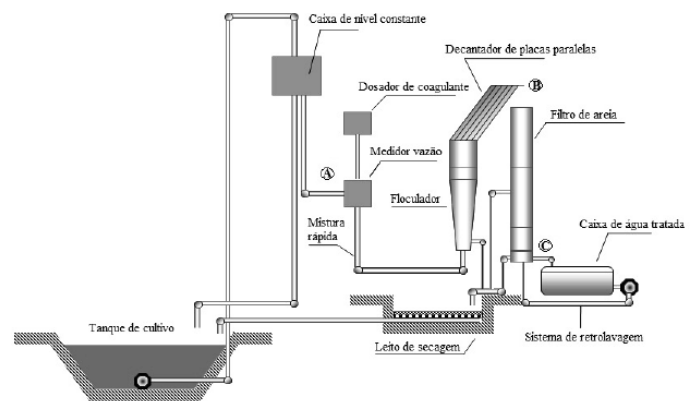


Figura 1. Esquema do perfil da instalação experimental.

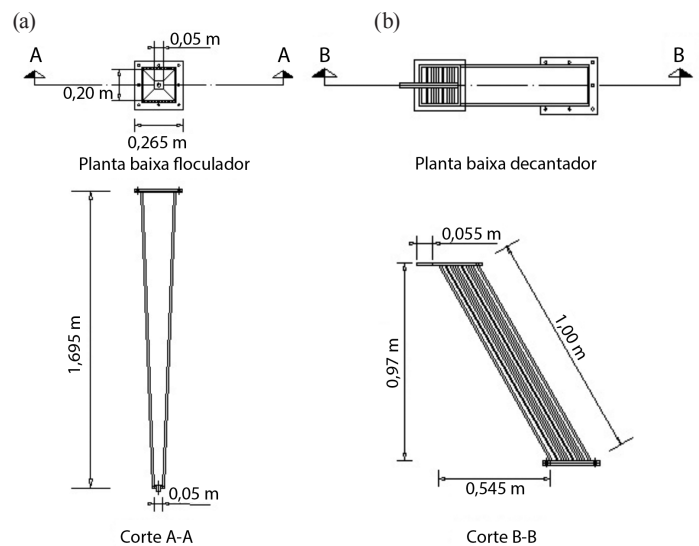


Figura 2. Detalhes das dimensões do tronco de pirâmide do floculador (a) e do decantador (b).

flocos para o sistema aumentando a perda de carga e a turbidez da água decantada. A descarga foi realizada sem a interrupção do funcionamento do FDML, apenas diminuindo a manta até o início do prolongador, por meio da abertura do registro de descarga.

As coletas de amostras da água do viveiro e ao longo do processo de tratamento foram realizadas nos três pontos apresentados na Figura 1, que representaram a água bruta (ponto A), a água decantada (ponto B) e a água filtrada (ponto C). As amostras do ponto C foram coletadas após ~1h de experimento, tempo aproximado para a água percorrer todo o sistema.

O desempenho na remoção de poluentes resultou da comparação entre dados dos parâmetros analisados em amostras coletadas nos pontos A e B, que representa a eficiência de remoção pelo sistema FDML associado ao decantador de alta taxa, tendo em vista que o filtro foi utilizado apenas para fins de polimento.

Os parâmetros de controle analisados no monitoramento e sua frequência foram: numa frequência de quatro vezes ao dia: pH, temperatura, turbidez, O<sub>2</sub> dissolvido (OD) e condutividade elétrica; uma vez por dia: cor aparente, cor verdadeira, coliformes fecais, coliformes totais, demanda química de O<sub>2</sub> (DQO), demanda bioquímica de O<sub>2</sub> (DBO<sub>5</sub>), sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), nitrogênio total, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P total, e clorofila 'a'. As análises físico-químicas seguiram as recomendações de APHA-AWWA-WEF (1998) e foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia da UNESP em Ilha Solteira. Os parâmetros temperatura, turbidez, pH e condutividade elétrica da água foram monitorados *in loco*.

#### Ensaios preliminares pelo jar-test

Para realização dos ensaios de bancadas fez-se necessário o conhecimento dos parâmetros hidráulicos do FDML. Deste

modo, foram utilizadas adaptações dos estudos desenvolvidos por Cavazzana (2006) para cálculo das características hidráulicas gradientes de velocidade e tempos de detenção no FDML.

Levando em consideração as taxas de operação do sistema, as divisões propostas para o módulo e suas dimensões, as estimativas dos tempos de detenção no FDML para realização dos *jar-tests* podem ser observadas na Tabela I.

Com os dados de gradiente médios, foram realizados os ensaios em *jar-test* para determinar as curvas de dosagem do coagulante hidroxiclreto de alumínio (PAC), para tanto foram testadas dosagens de 15, 15,5, 20, 22,5, 25 e 27,5mg·l<sup>-1</sup>, para tempos de decantação de 5, 10 e 15min, com pH de 6,29 e turbidez natural de 28,5uT.

#### Resultados

Os resultados obtidos demonstraram que o melhor desempenho do módulo experimental FDML apresentou-se para operação com TAS de 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia; desta maneira, serão apresentados a seguir os resultados obtidos nas três TAS avaliadas, com maior ênfase e descrição por extenso dos dados reportados pela melhor taxa de aplicação superficial e uma breve descrição dos dados obtidos nas taxas de 180 e 60m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia, a qual reportou o segundo melhor desempenho.

#### Resultados com TAS de 180m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia

Como a taxa foi pré-determinada dentre os objetivos para o desenvolvimento da

presente pesquisa, diversos ensaios foram realizados na tentativa de alcançar o objetivo proposto. Após a realização de alguns ensaios percebeu-se que apenas a utilização de água bruta e coagulante não era suficiente para proporcionar a formação da manta de lodo; foram então, adicionados alguns produtos (argila caulínica e cal) na tentativa de facilitar a formação da manta no FDML.

Diversas tentativas de formação da manta de lodo foram realizadas; porém, em praticamente todos os ensaios foram formados apenas flocos dispersos com aparência leve e filamentosa (aparência de algodão), que acabavam sendo arastados para o filtro, comprometendo o seu funcionamento. Ao longo de três dias de experimento não foi possível formar manta de lodo consistente e não foram atingidas adequadas eficiências de remoção das impurezas contidas na água.

Mesmo nos ensaios com adição de argila e da cal com concentrações variando entre 10, 50, 100 e 150mg·l<sup>-1</sup> não foi possível formar a manta de lodo na taxa pretendida. Provavelmente isto pode ter acontecido pelos elevados gradientes de velocidade na região de mistura lenta, pois de acordo com Vargas (2004), quanto maior o gradiente, mais rápida é a velocidade de aglomeração das partículas; mas junto com o aumento de tamanho dos flocos crescem também as forças de cisalhamento hidrodinâmico, e como resultado, os flocos vão crescer até um tamanho máximo, acima do qual as forças de cisalhamento terão uma intensidade

que produz a sua ruptura em partículas menores.

#### Resultados para TAS 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia

Com a taxa de aplicação superficial de 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia foram realizados ensaios no módulo apenas com água bruta, e o mesmo coagulante, numa dosagem inicial de 17,5mg·l<sup>-1</sup>. No procedimento de enchimento do FDML, ao passo que a água percorria o módulo, devido à presença do coagulante, pequenos flocos eram formados e, retidos no tronco de cone, estes se juntavam e propiciaram a formação da manta de lodo. Verificou-se nesta etapa a formação de manta mais consistente e estruturada, cujo volume aumentava de acordo com o tempo de carreira, conseguindo desta maneira reter maior quantidade de impurezas.

Nesta taxa foram realizados 20 ensaios, com carreiras executadas das 08:00 às 18:00h; neles foram necessárias eventuais descargas da manta. Em nenhum dos ensaios o filtro atingiu a perda de carga limite, portanto sua retrolavagem foi realizada somente após o encerramento das carreiras.

#### Parâmetros monitorados em campo

*pH*. Os valores médios do pH foram de 6,56 na água bruta (AB); 6,15 na água decantada (AD) e 6,33 na água filtrada (AF). No tanque de piscicultura (ponto de água bruta), o pH apresentou valores variáveis, que ficaram dentro da faixa recomendada (6,5 a 8,5) para a sobrevivência dos peixes, de

TABELA I  
ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE DETENÇÃO NO FDML (PARA A MISTURA RÁPIDA, FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO) PARA AS DIFERENTES TAS

Parte	TAS 180m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> /dia		TAS 120m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> /dia		TAS 60m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> /dia	
	Gradiente (s <sup>-1</sup> )	Tempo de detenção	Gradiente (s <sup>-1</sup> )	Tempo de detenção	Gradiente (s <sup>-1</sup> )	Tempo de detenção
Mistura rápida	600	20s	600	20s	600	20s
Início	198	8s	132	12s	66	23,5s
Intermediário 01	11	98s	7	147s	3,5	294s
Meio	4	266s	3	400s	1,5	800s
Intermediário 02	2	574s	1,5	862s	0,75	1724s
Final	-	8min	-	11min	-	22min

acordo com autores como Lawson (1995) e Timmons e Ebeling (2010).

**Turbidez.** Alguns picos de turbidez foram registrados na AB, mas não afetaram o funcionamento do sistema, como foi comprovado pelos valores abaixo de  $1\text{uT}$  na maior parte dos ensaios de coleta de AD, o que indicou a adequada dosagem de coagulante, assim como os acertados valores dos gradientes de velocidade na mistura lenta. A água filtrada apresentou condições favoráveis para seu reuso no próprio tanque de cultivo ou para descarte em corpos de água, com cumprimento do estabelecido pela normativa ambiental federal brasileira (Brasil, 2011). A remoção média deste parâmetro foi de 98,8%, com eficiência mínima de 97,8% e máxima de 99,4%.

**Temperatura.** Na maior parte dos ensaios os valores de temperatura registrados na AB encontraram-se abaixo dos valores medidos na AD e na AF (ambas com valores médios de  $27,0^\circ\text{C}$ ) pois grande parte dos ensaios foi realizada em dias de sol, o que acabava aquecendo a água que passava pelo módulo experimental e pelo filtro.

**Condutividade elétrica.** Em todos os ensaios, os valores de condutividade elétrica no ponto de coleta da AB foram menores do que aqueles registrados nos pontos da AD e AF. Tal fato deveu-se à adição do PAC no sistema de tratamento. Segundo Lawson (1995), este parâmetro é um indicador da presença de sais minerais dissolvidas na água e sua variabilidade é proporcional à salinidade do meio líquido.

Na Tabela II apresentam-se os valores extremos medidos para os parâmetros monitorados em campo.

*Parâmetros monitorados em laboratório*

**Oxigênio dissolvido (OD).** As concentrações de OD medidas na AB, que representaram aos

valores do lago de pesque-pague, ofereceram boas condições para respiração e sobrevivência dos peixes, pois superaram os níveis mínimos recomendados para criação de tilápia por Popma e Masser (1999). Na maior parte dos ensaios os valores de OD na água decantada apresentaram-se menores do que nos demais pontos, devido possivelmente à maior temperatura, pois a solubilidade dos gases na água diminui com o incremento da temperatura (Vinatea, 2004), e à alta concentração de substâncias poluentes presentes na manta formada no interior do módulo, que acabavam consumindo  $\text{O}_2$  para serem degradadas. Foi observada uma oxigenação na AF pela passagem do líquido do decantador para o filtro, o que poderia ter provocado aeração. As concentrações médias calculadas nos pontos A, B e C foram 8,13; 7,16 e  $7,91\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente.

**DQO.** As concentrações médias da DQO calculadas nos pontos de AB, AD e AF foram de 78, 5 e  $3\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente. A formação dos flocos pelo uso do coagulante favoreceu a remoção de boa parte da matéria orgânica finamente particulada, assim como da matéria orgânica coloidal, o que foi evidenciado pelas altas

eficiências registradas, cujo valor médio foi de 93,2%.

**DBO<sub>5</sub>.** Na maior parte dos ensaios, a DBO<sub>5</sub> remanescente no efluente do filtro apresentou valores maiores do que os medidos na água decantada; tal fato pode ter sido ocasionado pela presença de material orgânico no filtro, resultante de uma retrolavagem insuficiente na limpeza do meio filtrante. Mesmo em tais condições, altas eficiências de remoção foram alcançadas pelo sistema de tratamento, com um valor médio de 98,6%, garantindo características favoráveis para seu reuso no próprio tanque de cultivo, ou para descarte em corpos de água com cumprimento do estabelecido pela normativa federal (Brasil, 2011) e estadual (São Paulo, 1976).

**Nitrogênio total (NT).** A concentração média do NT na água bruta foi de  $3,04\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ; na água decantada de  $1,76\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  e na água filtrada de  $1,69\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . A eficiência média de remoção deste parâmetro pelo sistema foi 41,5%. Este valor relativamente baixo é justificado pelo predomínio do nutriente na forma dissolvida, o que limitou a sua remoção com os flocos formados.

**Nitrato.** As concentrações médias calculadas para AB, AD e

AF foram 1,46; 1,04 e  $0,82\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente e, a eficiência média de remoção foi 37,4%. Verificou-se que em alguns ensaios o nitrato remanescente ao processo de filtração apresentou valores superiores aos registrados na AD, o que poderia ser explicado por uma possível nitrificação pela eventual formação de biofilme no meio filtrante. Os resultados demonstraram que as concentrações não ultrapassaram o limite de até  $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  para seu lançamento, estabelecido pela normativa ambiental (São Paulo, 1976).

**Amônia.** Os valores médios deste parâmetro foram: na água bruta  $0,04\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  e na água decantada e na filtrada  $0,01\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ; a remoção média geral deste parâmetro foi 67,2%. Em todos os casos, as concentrações finais obtidas ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação ambiental.

Na Tabela III são apresentados os resultados dos valores máximos e mínimos registrados para os parâmetros monitorados relacionados à matéria orgânica e ao N.

**Fósforo total (PT).** As concentrações médias calculadas para este parâmetro foram: na água bruta de  $0,16\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , e na água

TABELA II  
VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS REGISTRADOS  
NOS PARÂMETROS MEDIDOS EM CAMPO

Parâmetro	pH		Turbidez		Temperatura		Cond. elétrica	
	Máx.	Mín.	Máx. (uT)	Mín. (uT)	Máx. (°C)	Mín. (°C)	Máx. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Mín. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
Ponto de monitoramento								
Água bruta	7,01	5,97	86,50	42,00	29,00	22,50	86,00	46,00
Água decantada	6,55	5,46	1,25	0,35	31,00	23,00	117,00	74,00
Água filtrada	6,89	5,70	0,79	0,13	32,00	22,50	115,00	77,00

TABELA III  
VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DE CONCENTRAÇÕES ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )  
REGISTRADAS PARA DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, NITRATOS E AMÔNIA

Parâmetro	DQO		DBO <sub>5</sub>		NT		Nitrato		Amônia	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Ponto de monitoramento										
Água bruta	141,00	29,00	24,00	10,00	6,80	2,00	1,90	0,60	0,08	0,01
Água decantada	13,00	ND	0,24	0,10	3,20	0,70	2,80	0,20	0,05	0,00
Água filtrada	11,00	ND	0,10	0,00	4,30	0,70	1,90	0,50	0,05	0,00
Eficiência de remoção (%)	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
	100,0	82,6	99,4	96,0	82,4	11,8	87,5	0,0	100,0	0,0

ND: não detectáveis.

decantada e filtrada de 0,10mg·l<sup>-1</sup>. Em alguns ensaios, os valores do PT registrados no efluente do filtro foram maiores do que os medidos no seu afluente, provavelmente devido à presença de partículas remanescentes no filtro após a sua retrolavagem e que afetam a qualidade do efluente final. A eficiência média de remoção alcançada pelo sistema de tratamento foi de 31,3%. As concentrações no efluente final ultrapassaram os limites para seu lançamento em corpos de água da Classe 2, segundo a definição deste tipo de corpos segundo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

*Cor aparente e cor verdadeira.* Os valores médios da cor aparente e da cor verdadeira na AB foram 684,7 e 30,0uH respectivamente; na AD foram 16,5 e 5,0uH e na AF foram 7,6 e 4,0uH, estes últimos foram menores aos máximos permitidos pela legislação ambiental estadual e federal. A eficiência média de remoção da cor aparente foi de 97,5%, o que demonstrou que uma grande parcela do material que conferia cor às amostras encontrava-se constituído por sólidos suspensos; a remoção média da

cor verdadeira foi de 83,9%, indicando que houve uma importante fração de materiais dissolvidos ou coloidais que não conseguiu ficar retida na manta de lodo formada no interior do FDML. Os níveis de cor verdadeira obtidos na saída do decantador encontraram-se dentro dos valores estabelecidos pela legislação ambiental estadual para lançamento em corpos de água receptores da classe 2.

*Algas.* As concentrações médias de clorofila 'a' calculadas nos pontos de monitoramento foram: na AB de 383,94µg·l<sup>-1</sup>; na AD 76,05µg·l<sup>-1</sup>; na AF de 7,35µg·l<sup>-1</sup>. Em todas as análises, as concentrações do efluente final não ultrapassaram os limites de até 30µg·l<sup>-1</sup> para seu descarte em corpos receptores da classe 2. Segundo Veneu *et al.*, (2015), a remoção de algas em sistemas de tratamento de água é difícil por causa do seu pequeno tamanho e de sua baixa densidade específica, mas nos sistemas convencionais a coagulação é o principal processo empregado para tal fim; nos ensaios realizados, 85% das vezes a eficiência de remoção ficou acima do valor médio de

91,9%, o que confirmou a desestabilização do material coloidal pelo coagulante, a apropriada formação de flocos e a eficiente remoção do material microalgal.

Na Tabela IV apresentam-se os resultados dos valores máximos e mínimos registrados para P total, cor aparente e verdadeira e clorofila 'a'.

*Sólidos.* Na Tabela V apresentam-se os resultados dos valores de concentrações e eficiências de remoção máximas, médias e mínimas obtidas para sólidos pelo FDML.

As concentrações de ST registradas na AD seguiram as variações observadas no ponto de coleta da AB. Os resultados indicam a importância da presença do filtro após a unidade de floco-decantação, como mecanismo de polimento final do tratamento na remoção das impurezas (especialmente sólidos) que por ventura não foram retiradas nas etapas anteriores, ratificando o afirmado por Libânio (2005).

Os dados registrados evidenciaram que os sólidos dissolvidos foram a maior fração dos sólidos totais, o que conservou relação com as moderadas remoções de outros parâmetros,

tais como o N e o P. Em 30% dos ensaios realizados, as concentrações finais de sólidos dissolvidos ultrapassaram os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

Segundo Guilherme (2001), a configuração do FDML em forma de cone invertido juntamente com o fluxo de água ascendente permite uma evolução gradativa do gradiente de velocidade, que possibilita a manutenção de uma altura razoável de manta de lodo. Deste modo, os flocos menores são levados para cima, onde o gradiente é menor e os flocos maiores descem até a proximidade da base do floculador onde estão localizados os maiores gradientes de velocidade. Assim, quando há junção do FDML ao decantador de alta taxa, normalmente tem-se a floculação, sedimentação e concentração do lodo. A taxa de 120m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia favoreceu tais condições, promoveu uma melhor formação dos flocos, uma manta menos quebradiça, mais estável e espessa, o que facilitou a eficiente remoção dos poluentes, assim como a melhor qualidade no efluente final.

#### Resultados para TAS 60m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>/dia

A taxa foi testada por meio de oito ensaios diretamente no módulo, sem a realização de ensaios preliminares, apenas com água bruta e utilizando o PAC numa dosagem de 17,5mg·l<sup>-1</sup>. O processo apresentou uma manta formada por pequenos flocos, com baixa velocidade ascensional e reduzido arraste dos mesmos. Provavelmente, o baixo gradiente hidráulico não garantiu uma adequada etapa de floculação, que segundo Di Bernardo *et al.* (2005) deve fornecer condições para facilitar o contato e a agregação de partículas previamente coaguladas, visando a formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração rápida.

TABELA IV  
VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS REGISTRADOS PARA PT,  
COR APARENTE, COR VERDADEIRA E ALGAS

Parâmetro	PT		Cor aparente		Cor verdadeira		Clorofila 'a'	
	Máx. (mg·l <sup>-1</sup> )	Mín. (mg·l <sup>-1</sup> )	Máx. (uH)	Mín. (uH)	Máx. (uH)	Mín. (uH)	Máx. (µg·l <sup>-1</sup> )	Mín. (µg·l <sup>-1</sup> )
Ponto de monitoramento								
Água bruta	0,25	0,06	954,00	519,00	68,00	18,00	745,86	88,16
Água decantada	0,13	0,07	22,00	11,00	10,00	2,00	291,28	ND
Água filtrada	0,21	0,06	17,00	2,00	9,00	0,00	23,74	ND
Eficiência de remoção (%)	Máx. 57,8	Mín. 0,0	Máx. 99,4	Mín. 96,0	Máx. 82,4	Mín. 11,8	Máx. 100,0	Mín. 33,5

ND: não detectáveis.

TABELA V  
CONCENTRAÇÕES E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO MÁXIMAS,  
MÉDIAS E MÍNIMAS REGISTRADAS PARA ST, SST E SDT

Parâmetro	Sólidos totais			Sólidos suspensos totais			Sólidos dissolvidos totais		
	Máx. (mg·l <sup>-1</sup> )	Méd. (mg·l <sup>-1</sup> )	Mín. (mg·l <sup>-1</sup> )	Máx. (mg·l <sup>-1</sup> )	Méd. (mg·l <sup>-1</sup> )	Mín. (mg·l <sup>-1</sup> )	Máx. (mg·l <sup>-1</sup> )	Méd. (mg·l <sup>-1</sup> )	Mín. (mg·l <sup>-1</sup> )
Ponto de monitoramento									
Água bruta	13266	5532	194	315	120	40	12951	5412	79
Água decantada	6461	1254	117	19	14	6	6438	1241	101
Água filtrada	3317	671	34	19	9	2	11897	661	25
Eficiência de remoção (%)	Máx. 92,7	Méd. 71,2	Mín. 39,2	Máx. 94,7	Méd. 86,9	Mín. 65,0	Máx. 92,8	Méd. 66,5	Mín. 0,0

As eficiências de remoção obtidas na avaliação para TAS de  $60\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$  foram inferiores às calculadas para  $120\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$ , principalmente em relação aos nutrientes e aos sólidos. As eficiências médias de remoção calculadas foram: 89,5% para DQO; 32,3% para NT; 22,7% para nitrato; 47,6% para amônia; 16,1% para  $P_{\text{Total}}$ ; 97,3% para cor aparente; 88,1% para cor verdadeira e 98,3% para remoção de algas. Na remoção dos sólidos as remoções médias foram: 23,7% para ST; 89,6% para SST e 21,4% para SDT.

Os valores médios da turbidez na AD (0,56uT) e na AF (0,24uT) e as concentrações médias da  $\text{DBO}_5$  na AD ( $0,47\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) e na AF ( $0,12\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) apresentaram condições favoráveis para seu reuso ou para descarte em corpos de água da Classe 2. As remoções médias da turbidez e da  $\text{DBO}_5$  foram de 98,9 e de 97,2% respectivamente, que foram eficiências compatíveis às obtidas com TAS de  $120\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$ , mas que em termos de projeto, representam a necessidade de alocar o dobro de área para tratar a mesma vazão com a taxa de  $60\text{m}/\text{dia}$ .

## Conclusões

O uso do módulo FDML na remoção de impurezas contidas na água de piscicultura na TAS de  $120\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$  apresentou boa formação de manta de lodo e reportou eficiências médias de remoção de 98,8% da turbidez; 93,2% da DQO; 98,6% da  $\text{DBO}_5$ ; 41,5% do N total; 31,3% do P total; 71,2% dos ST; 86,9% dos SST; 66,5% dos SDT e 98,9% das algas.

O FDML operando com TAS de 180 e de  $60\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$  não apresentou boa formação da manta de lodo; as eficiências de remoção de impurezas nas operações do módulo nesses casos apresentaram-se abaixo daqueles verificados na TAS de  $120\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$ .

O sistema FDML operando com TAS de até  $120\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}/\text{dia}$  mostrou-se como alternativa adequada para o tratamento de efluente de piscicultura em

tanque escavado em terra, proporcionando características de qualidade do efluente final dentro dos valores recomendáveis para reuso ou para descarte em corpo hídrico, com exceção do P total.

## REFERÊNCIAS

- APHA-AWWA-WPCF (1988) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª ed. Washington, DC, EEUU. 1325 pp.
- Avnimelech Y (2006) Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.* 34: 172-178.
- Bergheim A, Brinker A (2003) Effluent treatment for flow through systems and european environmental regulations. *Aquacult. Eng.* 27: 61-77.
- Boyd CE, Massaut L (1999) Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacult. Eng.* 20: 113-132.
- Boyd CE (2003) Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226: 101112.
- Boyd CE, Lim C, Queiroz J, Salie K, de Wet L, McNevin A (2008) *Best Management Practices for Responsible Aquaculture*. Em USAID/ Aquaculture CRSP. Oregon State University. Corvallis, OR, EEUU. 47 pp.
- Brasil (2005) *Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil*. 05/03/2005. CONAMA. Brasil. 23 pp.
- Brasil (2011) *Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil*. 15/05/2011. CONAMA. Brasil. 8 pp.
- Cavazzana TL (2006) *Ampliação de Escala de um Floco Decantador de Manta de Lodo no Tratamento de Água de Abastecimento*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 122 pp.
- Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraeteet W (2007) Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270: 1-14.
- Cripps SJ, Bergheim A (2000) Solids management and removal for intensive landbased aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 22: 33-56.
- Cyrino JEP, Urbinati EC, Fracalossi DM, Castagnolli N (Eds.) (2004) *Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva*. TecArt. São Paulo, Brasil. 533 pp.
- Di Bernardo L, Botari A, Sabogal-Paz LP (2005) Uso de modelação matemática para projeto de câmaras mecanizadas de flocculação em série em estações de tratamento de água. *Eng. Sanit. Ambient.* 10: 82-90.
- Ebeling JM, Sibrell PL, Ogden SR, Summerfelt ST (2003) Evaluation of chemical coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacult. Eng.* 29: 23-42.
- Ebeling JM, Ogden SR, Sibrell PL, Rishel KL (2004) Application of chemical coagulation aids for the removal of suspended solids (TSS) and phosphorus from the microscreen effluent discharge of an intensive recirculating aquaculture system. *N. Am. J. Aquacult.* 66: 198-207.
- Ebeling JM, Rishel KL, Sibrell PL (2005) Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacult. Eng.* 33: 235-249.
- Eler MN, Espindola ELG (2006) *Avaliação dos Impactos de Pesque-Pague: Uma Análise da Atividade na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu*. RiMa. São Carlos, Brasil. 294 pp.
- FAO (2012) *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 209 pp.
- Guilherme CM (2001) *Comportamento do Decanto-Floculador de Manta de Lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 73 pp.
- Kubitza F (2006) Sistema de recirculação: sistema fechados com tratamento e reuso de água. *Panorama Aqüicult.* 95: 15-22.
- Lawson TB (1995) *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. Chapman & Hall. Nova York, EEUU. 355 pp.
- Lekang OI (2007) *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing. Oxford, RU. 340 pp.
- Libânio M (2005) *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. Átomo. Campinas, Brasil. 444 pp.
- Martins YK (2007) *Qualidade da Água em Viveiro de Tilápias (Oreochromis niloticus): Caracterização Diurna de Variáveis Físicas, Químicas e Biológicas*. Tese. Instituto de Pesca - APTA. Brasil. 54 pp.
- Martins CIM, Eding EH, Verdegem MCJ, Heinsbroek LTN, Schneider O, Blancheton JP, Roque d'Orbecastel E, Verretha JAJ (2010) New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacult. Eng.* 43: 83-93.
- Piedrahita RH (2003) Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35-44.
- Popma T, Masser M (1999) *Tilapia Life History and Biology*. Publication N° 283. Southern Regional Aquaculture Center. Stoneville, MI, EEUU. 4 pp.
- Read P, Fernandes T (2003) Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture* 226: 139-163.
- Rishel K, Ebeling J (2006) Screening and evaluation of alum and polymer combinations as coagulation/flocculation aids to treat effluents from intensive aquaculture systems. *J. World Aquacult. Soc.* 37: 191-199.
- Rotta MA, Queiroz JF (2003) *Boas Práticas de Manejo (BPMs) para a Produção de Peixe em Tanques-Redes*. Documentos/ Embrapa Pantanal N° 47. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Corumba, Brasil. 27 pp.
- São Paulo (1976) *Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de Maio de 1976, que Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente*. 54 pp.
- Sharrer MJ, Rishel K, Summerfelt S (2009) Evaluation of geotextile filtration applying coagulant and flocculant amendments for aquaculture biosolids dewatering and phosphorus removal. *Aquacult. Eng.* 40: 1-10.
- Sipaúba-Tavares LH (2006) Adoção de boas práticas de manejo (BPM) em piscicultura para manutenção da saúde ambiental. Em Eler MN, Espindola ELG (Orgs.) *Avaliação dos Impactos de Pesque-Pague: uma Análise da Atividade na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu*. RiMa. São Carlos, Brasil. 217-225 pp.
- Spellman FR (2009) *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operators*. 2ª Ed. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. 825 pp.

- Sugiura SH, Marchant DD, Wiggins T, Ferraris RP (2006) Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. *Environ. Pollut.* 140: 95-101.
- Tangerino EP, Matsumoto T, Dall'Aglio Sobrinho M (1998) Floculador de manta de lodo associado a decantador laminar em tratamento de água. *Memorias XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS)*. Lima, Perú. CD-ROM.
- Timmons MB, Ebeling JM (2010) *Recirculating Aquaculture*. 2ª ed. Northeastern Regional Aquaculture Center. Ithaca, NY, EEUU. 948 pp.
- True B, Johnson W, Chen S (2004) Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacult. Eng.* 32: 129-144.
- Valenti WC (2002) Aqüicultura sustentável. *Anais XII Congresso de Zootecnia. Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos*. Vila Real, Portugal. pp. 111-118.
- Vargas L (2004) *Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría*. Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 306 pp.
- Veneu D, Silva M, Di Salvio A, Delphino I (2015) Tratamento de água eutrofizada através dos processos de pré-oxidação, coagulação e floculação. *Engevista* 17: 175-186.
- Venturieri R (2002) "Pesque-pague" no Estado de São Paulo: Vetor de Desenvolvimento da Piscicultura e Opção de Turismo e Lazer. ECO - Associação para Estudos do Ambiente. São Paulo, Brasil. 165 pp.
- Vinatea L (2004) *Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aqüicultura*. 2ª ed., rev., ampl. Editora UFSC. Florianópolis, Brasil. 345 pp.