

Qualidade da água de aquicultura em sistema de recirculação (RAS) com sistema de tratamento alternativo



Aquaculture water quality in a recirculating system (RAS) with alternative treatment system

Oliveira Neto, Onéas Eduardo de; Ferreira, Hildevan Teixeira Oliveira; Svierzoski, Nicolý Dal Santo; Campos, Graciele Monteiro; Webler, Alberto Dresch

 **Onéas Eduardo de Oliveira Neto**
eduardo.engenharia.unir@gmail.com
Universidade Federal de Rondônia, Brasil

 **Hildevan Teixeira Oliveira Ferreira**
Universidade Federal de Rondônia, Brasil

 **Nicolý Dal Santo Svierzoski**
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

 **Graciele Monteiro Campos**
Universidade Federal de Rondônia, Brasil

 **Alberto Dresch Webler**
alberto.webler@unir.br
Universidade Federal de Rondônia, Brasil

Revista Presença Geográfica
Fundação Universidade Federal de Rondônia, Brasil
ISSN-e: 2446-6646
Periodicidade: Frequência contínua
vol. 9, núm. 3, 2022
rpgeo@unir.br

Recepção: 05 Julho 2021
Aprovação: 30 Setembro 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/274/2744782004/>

Resumo: Os recursos hídricos são fundamentais à vida e ao desenvolvimento socioeconômico. A piscicultura é uma atividade econômica importante no estado de Rondônia, pela subsistência e pela receita gerada. A boa qualidade da água diminui o estresse dos peixes e implica em maior produção. A escala de produção pode implicar na necessidade de um tratamento mais eficiente, porém, o custo do tratamento pode dificultá-lo. O uso de biomédias produzidas com materiais alternativos em reator aerado possui baixo custo e fácil aplicação. Wetlands podem ser uma alternativa para o polimento do efluente antes da recirculação. O objetivo do presente estudo foi construir um complexo aquícola experimental em sistema de recirculação (RAS) e um sistema de tratamento alagado em escala piloto (wetland); o objetivo específico foi analisar a qualidade da água, para investigar a aplicabilidade dos sistemas de tratamentos alternativos propostos. Os dados obtidos foram analisados por meio da estatística descritiva, a média dos parâmetros apresentou valores ideais para a criação de peixes, se enquadrando nas legislações e com valores aproximados dos encontrados por outros autores. De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, apenas o nitrogênio amoniacal apresentou normalidade. A análise de Spearman não evidenciou valores de forte correlação, a regressão linear variou de inexistente a fraca. O sistema proposto possui aplicabilidade devido aos peixes e as plantas estarem em pleno crescimento, o que implica que o nitrogênio está sendo removido. Porém se faz necessário investigar mais a fundo o sistema alternativo de tratamento através de análises da dinâmica do nitrogênio no sistema.

Palavras-chave: recursos hídricos, biomédias alternativas, wetlands, reator aerado.

Abstract: Water resources are fundamental to life and socioeconomic development. Fish farming is an important economic activity in the state of Rondônia, due to its subsistence and the income generated. The quality of the water reduces the stress on fish and implies greater production. The scale of production may imply the need for a more efficient treatment, however, the cost of treatment may make it difficult. The use of biomedias produced with alternative materials in an aerated reactor has low cost and easy application. Wetlands can be an alternative for polishing effluent before recirculation. The aim

of the present study was to build an experimental aquaculture complex in a recirculation system (RAS) and a pilot-scale flooded treatment system (wetland); the specific objective was to analyze the water quality in order to investigate the applicability of the proposed alternative treatment systems. The data obtained were analyzed using descriptive statistics, the average of the parameters presented ideal values for fish farming, fitting the legislation and with values close to those found by other authors. According to the Shapiro-Wilk test, only ammonia nitrogen was normal. Spearman's analysis did not show strong correlation values and linear regression ranged from non-existent to weak. The proposed system has applicability because fish and plants are in full growth, implying that nitrogen is being removed. However, it is necessary to further investigate the alternative treatment system through analysis of the nitrogen dynamics in the system.

Keywords: water resources, alternative biomedica, wetlands, aerated reactor.

INTRODUÇÃO

A aquicultura é baseada em atividades extrativistas que fazem uso dos recursos hídricos com um planejamento e controle visando explorar a produção de organismos aquáticos (SCHULTER E VIEIRA FILHO, 2017). Dentre essas atividades, a piscicultura, no Brasil, tem passado por avanços e essa ascensão influenciou na produção que passou de 578.800t em 2014 para 758.006t em 2019 (crescimento de 31%) (PEIXE BR, 2020).

Neto et al. (2016) relatam que em todo o Brasil, a piscicultura familiar de subsistência é praticada em regime extensivo, de baixo custo de implantação e manutenção, geralmente implementada em sistemas naturais. Para que uma técnica de produção de pescado seja adequadamente aplicada à piscicultura familiar, é necessário seguir os indicadores de viabilidade econômica: receita bruta, lucro operacional, margem bruta, índice de lucratividade e ponto de nivelamento, como proposto por Martin et al. (1994).

Em Rondônia, a criação de peixes é uma importante atividade, sendo que as condições climáticas e o grande número de bacias hidrográficas têm feito que essa prática aumente no estado (XAVIER, 2013). O estado se destaca na produção de peixes nativos, dentre eles a espécie mais cultivada é o tambaqui (*Colossoma Macropomum*) (PEIXE BR, 2020).

A criação de peixes em sistemas semi-intensivos ocorre em viveiros convencionais escavados com média de um peixe por m² (CASTELLANI E BARRELA, 2005). Com a modernização, surgiram novos métodos e técnicas buscando uma alta produção, Crivelenti et al. (2009) destacam o sistema superintensivo de reutilização, no qual a aplicação de tecnologia e monitoramento da qualidade da água permite que sejam elevadas as densidades de pescado no sistema.

Como outros processos produtivos, a piscicultura também gera efluentes que fazem necessário o correto tratamento. As formas de tratamento para os efluentes precisam considerar as peculiaridades regionais para zelar os ecossistemas e garantir os benefícios ambientais relacionados, como preconizam as legislações: LEI nº 11.959 de 29 de junho de 2009; a LEI nº 6.938 de 31 de agosto de; a LEI nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997; a CONAMA 430 de maio de 2011; a CONAMA 357 de março de 2005; e a LEI Nº 14.026 de 15 de julho de 2020.

Existem várias técnicas empregadas para o tratamento de efluentes provenientes da piscicultura, são eles os convencionais e os alternativos. Alguns exemplos são: o tratamento utilizando macrófitas aquáticas explicitada por Souza e Vasconcelos (2016), lagoa de estabilização exposta por Felizato (2000) e os

tratamentos mais tecnológicos como: MBBR para sistema intensivo como mostrado por Ferreira (2020), ou mesmo a combinação de reatores aeróbios e anaeróbios proposto por Carra (2017).

Dentre os sistemas que utilizam macrófitas, se destacam as wetlands construídas. Essas se baseiam nos fenômenos que ocorrem em áreas alagadas naturais e possuem destaque no tratamento de efluentes devido ao seu mecanismo de baixo custo (ANDRADE, 2012). A escolha da cultura vegetal a ser cultivada precisa considerar diversos fatores, pois é possível desenvolver inclusive árvores (CANASTRA, 2010).

Outra técnica a ser empregada diz respeito a aquicultura em sistema de recirculação (RAS). Siqueira et al. (2019) apontaram que a RAS tem se destacado por ser sustentável, por meio do reuso da água e controle de variáveis ambientais que permitem a produção durante o ano todo. Tucker e Hargreaves (2008) indicaram que em um sistema de recirculação, os sólidos particulados são removidos por decantação ou filtros, e os resíduos podem ser tratados por meio de filtros biológicos. De acordo com Almeida et al. (2016), o emprego de material alternativo como o suporte para crescimento de biofilme no reator pode ser viável, pois apresenta baixo custo para implantação, desde que se mantenha a dinâmica do oxigênio no reator.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade da água gerada em um complexo aquícola em sistema de recirculação (RAS) a fim de investigar a aplicabilidade do sistema alternativo de tratamento proposto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia - UNIR, campus de Ji-Paraná; região centro-oeste do estado de Rondônia que se situa na bacia amazônica. De acordo com o IBGE cidades, para o referido município, a população estimada para 2020 foi de 130.009 pessoas.

O complexo aquícola experimental (Figura 1) foi composto por 5 partes: tanque de criação de peixes (sistema 1), um decantador (sistema 2), um reator aerado (sistema 3), e as últimas etapas que são para polimento que se trata do consórcio entre 2 tipos de wetlands: Leito de Cultivo (sistema 4) e Cama de Macrófita (sistema 5).

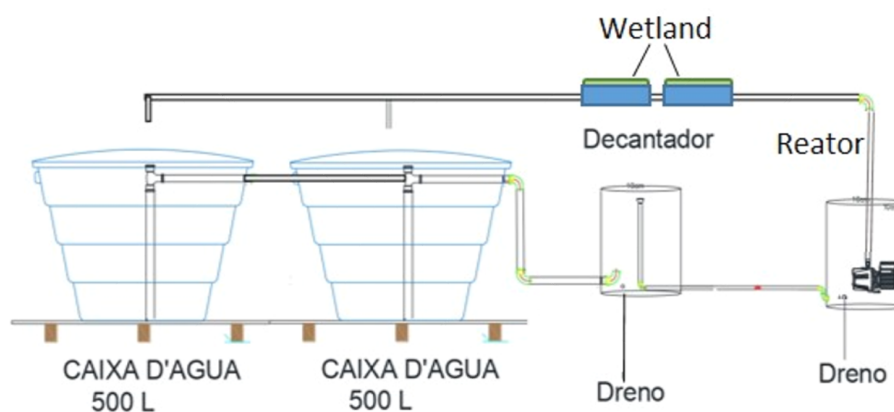


FIGURA 1

Desenho esquemático da aquicultura em sistema de recirculação (RAS)

O fluxo hidráulico do sistema 1 ao 3, disposto na figura 2, se dá por gravidade. O bombeamento ocorre no sistema 3 e direciona o fluxo aos sistemas 4 e 5, que retorna ao sistema 1 por gravidade após o polimento. A tampa da caixa foi toda perfurada visando a ambiência para os peixes e a abertura maior visou a alimentação, coletas e análises.



FIGURA 2
Complexo aquícola em sistema de recirculação (RAS)

O sistema 1, exposto na Figura 3, foi composto por duas caixas d'água de 500 litros para cultivo dos peixes, e é para essas caixas que a água retorna após a etapa de polimento. O material sedimentado no interior do sistema é retirado pela região central do fundo da caixa, sendo sugado por um dispositivo mecânico chamado overflow de 50 mm, que conduz a água com os dejetos para o decantador.

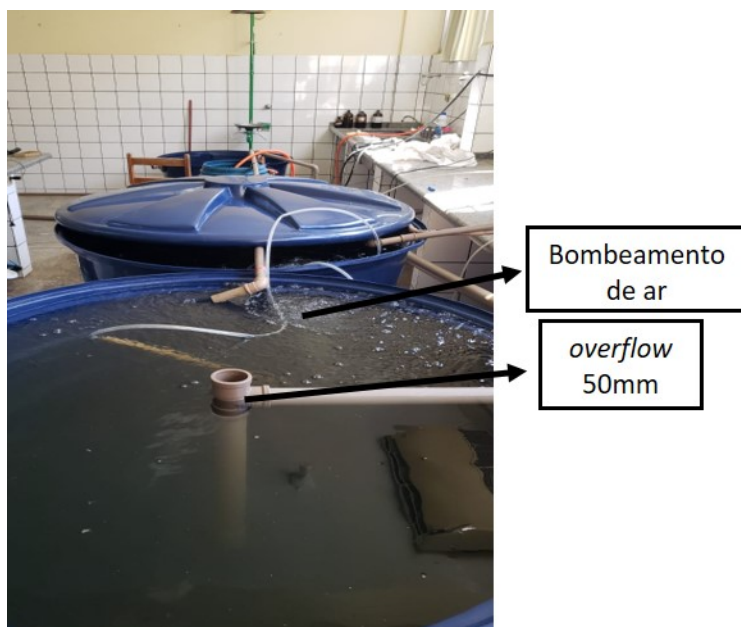


FIGURA 3
Reservatórios para criação de *Colossoma Macropomum*

O sistema 2, exibido na Figura 4, tem um formato circular e capacidade de 80 litros. A tubulação de entrada possui um cotovelo de 50 mm inclinado em 45° para conduzir o efluente pela parede da câmara para evitar turbulência e permitir a decantação. A água, livre dos materiais mais densos, pode então seguir para o reator aerado. A massa decantada é retirada a cada semana através de um registro de 25 mm localizado na parte inferior do decantador.



FIGURA 4
Decantador e seu sistema de drenagem e limpeza

O Reator aerado (sistema 5) possui um formato circular e sua capacidade é de 80 litros. A água entra por uma tubulação de 50 mm pela parte inferior da câmara. Esta câmara possui conduítes de $\frac{1}{2}$ polegada como meio de suporte para o crescimento dos microrganismos, como pode ser verificado na Figura 5. A movimentação dos conduítes se limita à turbulência gerada pelo fluxo hidráulico do complexo aquícola e pela inserção do oxigênio via compressor, que direciona a oxigenação para a parte inferior por uma mangueira de PVC (8 mm), acoplado a um difusor de pedra porosa que tem o intuito de aumentar a quantidade de bolhas permitindo uma melhor oxigenação. O bombeamento ocorre no sistema 3 através da bomba submersa da marca Sarlo com vazão de 2740 litros por hora. A água bombeada do reator é direcionada para as wetlands (sistema 4 e sistema 5) para polimento. Após essa etapa, o efluente está apto para retornar ao reservatório de criação dos peixes (sistema 1).



FIGURA 5
Reator aerado de leito móvel com material de suporte microbiano alternativo

Para confecção das wetlands (sistema 4 e 5), foi reutilizada uma bombona de 200 litros cortada verticalmente ao meio. Posicionadas horizontalmente após o corte, obteve-se duas câmaras com volume de 100 litros e formato côncavo. A Figura 6 mostra a estrutura utilizada para sustentação das wetlands.



FIGURA 6
Estrutura de sustentação das wetlands

O leito de cultivo (sistema 4) é preenchido com argila expandida e dá suporte para fixação das plantas através das raízes (a planta escolhida foi a Hortelã Spicata). A entrada de água se dá pela parte superior e é retirada pela parte de baixo com o auxílio de um sifão, ele promove um efeito de flutuação no nível da água dentro da cama de cultivo que permite a oxigenação da zona de raízes e melhora o processo de nitrificação do sistema através da aeração do biofilme microbiano aderido. A Figura 7 expõe o esquema de montagem e o dispositivo mecânico de sifonagem.



FIGURA 7
Leito de cultivo de Hortelã Spicata

A Cama de Macrófita (sistema 5), evidenciada na figura 8, não possui material de suporte e possui um nível hidráulico estático para simulação de um ambiente lântico, a tubulação de extravasão conduz a água ao Sistema 1. A macrófita utilizada foi a *Salvinia Mínima*, espécie de pequeno porte e rápido crescimento.



FIGURA 8
Cama de macrófita colonizada com *Salvinia Mínima*

O sucesso da piscicultura está diretamente relacionado com as qualidades físicas e químicas da água, vários fatores determinam a qualidade e quantidade da produção primária da água de um viveiro (BOYD, 1982; ESTEVES, 1988), esses mesmos fatores tem uma relação direta no crescimento dos peixes em cativeiro.

Os efeitos da qualidade da água na saúde e condição fisiológica dos peixes variam consideravelmente em função da espécie, tamanho, idade e histórico de exposição a cada elemento em questão (WEDEMEYER, 1996), vale salientar que o sistema aquícola desenvolvido visou alojar a espécie *Colossoma Macropomum* (Tambaqui) em estágio de alevinagem e recria, com baixa densidade de peixe por metro cúbico.

Nas biometrias mensais realizadas durante o experimento foram obtidos o peso vivo de 0,116 kg (Figura 9) e o comprimento padrão de todos os peixes de cada unidade experimental foi aproximadamente 18 cm. Nessas ocasiões, os animais também eram avaliados quanto a aspectos físicos como alterações na coloração e presença de lesões ou doença. Para diminuir os fatores de estresse causados pelo manejo, as biometrias foram realizadas sempre no período da manhã com os peixes anestesiados com Eugenol na concentração de 0,5/200 ml de álcool, onde foi retirada uma alíquota de 5 ml da concentração para 10 L de água. Ao final das medições é averiguado a recuperação anestésica, os peixes foram devolvidos aos seus devidos tanques.



FIGURA 9
Imagem da realização da biometria

Paralelo ao desenvolvimento dos peixes, foi possível observar o crescimento das plantas cultivadas, conforme se pode verificar na figura 10, tal crescimento expressa, mesmo que indiretamente, a remoção de nutriente do sistema aquícola.



FIGURA 10
Vigor vegetativo das espécies cultivadas

As amostragens foram realizadas no reservatório dos peixes (Sistema 1), em um período de 5 meses (10/03/2021 a 16/08/2021). Os parâmetros físico-químicos foram obtidos por meio de equipamentos eletrônicos de bancada do próprio laboratório, exceto pelos valores de nitrogênio amoniacal que foram obtidos por meio de análises laboratoriais através da técnica de neslerização, conforme proposto por APHA (2005). As análises estatísticas foram realizadas por meio do Excel (Microsoft Office Professional Plus 2016) e do software SigmaPlot 12.0 (Systat Software Ins, San Jose, CA, USA). Em posse dos resultados foi possível verificar quais parâmetros são intervenientes ao manejo e comparar os dados obtidos com outros autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com posse dos dados dos parâmetros físicos e químicos do sistema RAS, foi possível realizar uma análise utilizando-se da estatística descritiva por meio do Excel, com nível de significância de 95%, conforme pode-se verificar na Tabela 1.

TABELA 1
Estatística descritiva dos parâmetros físico e químicos do sistema RAS

Variável	Número amostral	Média	Desvio Padrão	Variância	Mediana
pH	121	7,0	0,38	0,15	7
T (°C)	121	29,2	1,91	3,65	29
Condutividade Elétrica (µS/cm)	123	627	1590	252705	381
OD (mg/L)	123	6,7	1,38	1,90	6,4
Nitrogênio Amoniacal (NH ₄ ⁺ -N)	21	0,12	0,114	0,0131	0,11

Os dados obtidos e dispostos na Tabela 1, apresentaram heterogeneidade, exceto pela variação da faixa de pH que não foi ampla devido ao manejo de correção diária após a alimentação dos tambaquis; essa ação imediata tende a evitar estresse no peixe. A qualidade da água é seguramente um dos mais importantes fatores do ambiente de criação e que pode ser manejado para reduzir o estresse em sistemas intensivos (BRUNE E TOMASSO, 1991).

Os parâmetros analisados, são importantes pois permitem visualizar um panorama e se possível realizar correções sempre que necessário para enquadramento desses a níveis ótimos, seja quanto a inserção de oxigênio, correção de pH, troca parcial de água (TPA), limpeza do decantador ou do reator.

O oxigênio inserido no sistema por meio de bombeamento se mostrou eficiente, alcançando faixas satisfatórias de operação, apresentou uma média de 6,7 mg/L, com desvio padrão de 1,38. Segundo Boyd

(1982) a quantidade mínima de oxigênio dissolvido deve ser superior a 4 mg/L, a CONAMA 357 de março de 2005 apresenta que a concentração de oxigênio dissolvido em água doce não deve ser inferior a 6 mg/L.

Outro parâmetro importante a ser monitorado em um sistema de cultivo é a concentração de íons de hidrogênio, o pH é uma medida que reflete a acidez ou basicidade de uma solução conforme a concentração de íons hidrogênio (H^+) presente na solução. Tal medida tem como base uma escala que varia entre 0 e 14, sendo zero o extremo ácido, 14 o extremo básico, e um pH 7 se refere a neutralidade (SCIDLE, 2017). Ferreira et al (2006) aborda que, para a maioria dos peixes cultivados em piscicultura, o pH ideal deve ser próximo ao neutro. A CONAMA 357 de março de 2005 traz que o pH ideal para água doce deve variar entre 6 e 9. Os valores de pH são um fator importante, pois tem ligação direta com os níveis de toxicidade da amônia no sistema e com o processo de nitrificação. A média do pH disposta na Tabela 1, foi de 7,0, com desvio padrão de 0,38, essa faixa de pH controlada se deu pela correção da alcalinidade do sistema por meio da adição de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$).

O surgimento de fungo no sistema foi um contratempo a se lidar, e para tratamento dos peixes, foi necessária a inserção de sal de cozinha ($NaCl$) no sistema e retirada dos indivíduos que apresentaram o fungo nas barbatanas. Tanto pelo tratamento quanto pela correção da alcalinidade por meio do $NaHCO_3$, foi possível verificar um comportamento descontínuo da condutividade elétrica, uma grande variação, como pode ser verificado na Tabela 1. A condutividade é um parâmetro importante a ser monitorado por ser um bom indicador da presença de sais minerais dissolvidas na água e sua variabilidade é proporcional à salinidade do meio líquido (LAWSON, 1995).

Por se tratar de um experimento indoor, houve a possibilidade de controlar melhor as variáveis, diminuindo as influências externas. A temperatura da água no sistema foi controlada por meio de aquecedores, a média apresentada foi de 29,28°C com um desvio 1,92 °C; a temperatura tem influência direta no metabolismo dos organismos cultivados.

Ao realizar o teste de normalidade de Shapiro-Wilk pelo software SigmaPlot, foi possível desenvolver a Tabela 2.

TABELA 2
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

Variável	Distribuição	P-valor
pH	Não Normal	=0,001
T (°C)	Não Normal	<0,001
Condutividade Elétrica ($\mu S/cm$)	Não Normal	<0,001
OD (mg/L)	Não Normal	<0,001
Nitrogênio Amoniacal	Normal	0,053

Dentre as variáveis estudadas, observa-se através da Tabela 2, que apenas o nitrogênio amoniacal apresentou o p-valor maior que 0,05, para esse parâmetro, verificou-se que a hipótese nula não foi rejeitada, assumindo que a variável apresentou uma distribuição normal. Os demais parâmetros variaram significativamente do padrão esperado para dados paramétricos. Como o teste de normalidade indicou que as análises envolvem dados paramétricos e não paramétricos, optou-se por observar o coeficiente de correlação de Spearman pelo SigmaPlot, por se tratar de uma medida de correlação que não requer que os dados apresentem uma distribuição normal, tal análise está estruturada na Tabela 3.

TABELA 3
Análise da Correlação de Spearman para os parâmetros do sistema RAS

Correlação	pH	Temperatura	Condutividade Elétrica	Oxigênio Dissolvido	Nitrogênio Amoniacal
pH	1	-0,09	0,09	0,30	-0,44
Temperatura (°C)	-0,09	1	0,31	-0,32	0,30
Condutividade Elétrica (µS/cm)	0,09	0,31	1	-0,14	0,52
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,30	-0,32	-0,14	1	-0,50
Nitrogênio Amoniacal (µmol/L)	-0,44	0,30	0,52	-0,50	1

A análise dos coeficientes permitiu identificar as correlações diretas ou inversamente proporcionais, sendo uma correlação moderada e positiva entre nitrogênio amoniacal e condutividade elétrica, e uma correlação negativa e moderada entre oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. Entre nitrogênio amoniacal e pH também foi observada relação moderada e negativa. É factível perceber que existe uma correlação fraca e positiva entre pH e OD e uma correlação fraca e negativa entre temperatura e OD, diante dos valores obtidos na Tabela 3, optou-se por analisar uma regressão linear pelo SigmaPlot. Essa análise está exibida na Tabela 4.

TABELA 4
Análise da regressão linear para parâmetros do sistema RAS

Regressão	pH	Temperatura	Condutividade Elétrica	Oxigênio Dissolvido	Nitrogênio Amoniacal
pH	1	0,00	0,00	0,10	0,06
Temperatura	0,00	1	0,01	0,02	0,05
Condutividade Elétrica	0,00	0,01	1	0,00	0,15
Oxigênio Dissolvido	0,10	0,02	0,01	1	0,12
Nitrogênio Amoniacal	0,06	0,05	0,15	0,12	1

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema aquícola proposto mostrou boa aplicabilidade, pois os parâmetros físicos e químicos se comportaram de forma que suas médias variaram em níveis aceitáveis para piscicultura e os custos de implantação do sistema de tratamento foi reduzido quando comparado aos métodos mais tecnológicos como o MBBR. Os valores de amônia encontrados não apresentaram riscos aos peixes; apesar dos níveis de amônia estarem baixos, não foi possível investigar como se dá a dinâmica das formas nitrogenadas no sistema de tratamento alternativo aqui proposto.

As análises realizadas mostraram que a aquicultura em sistema de recirculação (RAS) pode utilizar sistemas alternativos de tratamento de efluentes, pois foi possível verificar que as plantas estão retirando o nitrogênio do sistema, visto que estão se desenvolvendo, mas para investigar mais a fundo a viabilidade do sistema, se

faz necessário aumentar o número amostral para a amônia em cada etapa do tratamento, além da análise de nitrito e nitrato em batelada, tanto no reator quanto nas wetlands.

A avaliação do desempenho zootécnico pode determinar a eficiência na produção de um modo geral. A observação contínua dos parâmetros analisados no presente estudo, contribuiu para um melhor controle da produção e minimização de possíveis erros no decorrer do cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALMEIDA, Juliana Cristina Ribeiro. Sistema de Recirculação para Aquicultura com Reator de Biofilme Aerado em Membrana na Produção Intensiva de Tilápia. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil*, UNESP. Ilha Solteira. 2020.
- ANDRADE, Helisson Henrique Borsato de. Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (wetlands construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético. 2012. 87 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)* – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA; AWWA; WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 th ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1200p.
- BRASIL. *Constituição (1988)*. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. *Lei Federal nº 11.959, de 29 de junho de 2009*. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11959.htm >. Acesso em: julho de 2021.
- BRASIL. *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm >. Acesso em: julho de 2021.
- BRASIL. *Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: julho de 2021.
- BRASIL. *Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: julho de 2021.
- BRASIL, *Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011*. Condições e padrões de lançamento de efluentes complementam e alteram a Resolução nos 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Publicada no DOU nº 092, de 16 de maio de 2011, p. 89.
- BRASIL, *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005*. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicada no DOU nº 053, de 18 de março de 2005, p. 58- 63.
- CANASTRA, I. I. O. Aquaponia: construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático. *Faculdade de Ciências. Universidade do Porto. Portugal*. 2017. Disponível em < https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=138627 >. Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.
- CARRA, Maria Lúcia. Tratamento de Efluentes de Piscicultura em Reatores Anaeróbio e Aeróbio Combinados em Série. *Faculdade de Engenharia Agrícola. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS*. Campinas-SP. 2017.
- CASTELLANI, D; BARRELA, W. Caracterização da piscicultura na região do Vale do Ribeira - SP. *Ciência e Agrotecnologia [online]*. 2005, v. 29, n. 1.
- CRIVELANT, L, Z; BORIN, S; DA SILVA, N, R. Piscicultura superintensiva associada a hidroponia em sistema de recirculação de água, *Archives of Veterinary Science*, v. 14, n.2, p.109-116, 2009.

- FELIZATTO, Mauro Roberto (2000). Reuso de água em piscicultura no Distrito Federal: potencial para pós-tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado. 2000. 190 f., il. *Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)* -Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- FERREIRA, Leonardo Schorcht Bracony Porto. Microbioma e parâmetros de operação de MBBR em um sistema de recirculação na piscicultura intensiva. *Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Centro de Ciências Agrárias.* Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 09 de dezembro de 2020.
- MARTIN, N.B.; SERRA, R.; ANTUNES, J.F.G.; OLIVEIRA, M.D.M.; OKAWA, H. Custos: sistema de custo de produção agrícola. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 24, n. 9, p. 97-122, 1994.
- NETO, T. F. R.; SILVA, A. H. G.; GUIMARÃES, I. M.; GOMES, M. V. T.; Piscicultura familiar no baixo São Francisco, estado de Sergipe, Brasil. *Acta of Fisheries and Aquatic Resouerces*, 2016.
- PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. *Anuário PEIXE BR da Piscicultura. 2020.* Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/Anuario2020/AnuarioPeixeBR2020.pdf>. Acesso em: julho de 2021.
- Rondônia, SEAGRI - Secretaria de Agricultura do Estado de Rondônia. Disponível em: < <http://www.rondonia.ro.gov.br/governo-de-rondonia-fortalece-setor-da-piscicultura-com-acoes-estrategicas-em-2020/> >. Acesso em: julho de 2021.
- SCHULTER, E.P.; FILHO, J. E. R. V.; TD 2328 - *Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia*, Rio de Janeiro: Ipea, 2017.
- SOUZA, A, F, L; VASCONCELOS, E, L, Q. Utilização de macrófita aquática flutuante Pistia stratiotes no tratamento de efluentes de piscicultura no estado do Amazonas, *Pubvet*, v. 10, n.12, p.926-932, 2016.
- SIQUEIRA, R.S.; BRANCO, R. C.; ARAÚJO, R. B.; COSTA, B. G. .. Sistema automatizado para criação de peixes com recirculação de água. *ANAIIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA – XXI CONBEP*. Manaus (AM). 2019.
- TUCKER, C.S.; HARGREAVES, J.A. *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. Oxford: Blackwell Publishing. 594 p. 2008.