

ÉRIKA MIRELLY SANTANA DE QUEIROZ

**MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DA REUTILIZAÇÃO DA
ÁGUA DA AQUICULTURA PARA IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

SERRA TALHADA - PE

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

**MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DA REUTILIZAÇÃO DA
ÁGUA DA AQUICULTURA PARA IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

Érika Mirelly Santana de Queiroz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Linha de pesquisa: Ecologia, Conservação e uso da Biodiversidade de Ambientes Aquáticos.

Prof^a. Renata Akemi Shinozaki Mendes

Orientadora

Prof. Ramom Rachide Nunes

Coorientador

SERRA TALHADA

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

**MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DA REUTILIZAÇÃO DA
ÁGUA DA AQUICULTURA PARA IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

Érika Mirelly Santana de Queiroz

Dissertação julgada e APROVADA para
obtenção do título de mestra em
Biodiversidade e Conservação. Defendida
em 28/05/2021 pela seguinte Banca
Examinadora.

Prof.^a Dr.^a Renata Akemi Shinozaki Mendes - Orientador
[UFRPE/UAST]

Prof.^o Dr.^o Ugo Lima Silva
[UFRPE/UAST]

Prof.^o Dr.^o Marcelo Batista de Lima
[UFRPE/ UAST]

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E68m Queiroz, Érika Mirelly Santana
Mitigação dos impactos ambientais por meio da reutilização da água da aquicultura para irrigação no semiárido:
Impactos ambientais / Érika Mirelly Santana Queiroz. - 2021.
46 f. : il.

Orientadora: Renata Akemi Shinozaki Mendes.
Coorientadora: Ramom Rachide Nunes.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Serra Talhada, 2021.

1. qualidade de água. 2. matéria orgânica. 3. agricultura familiar. I. Mendes, Renata Akemi Shinozaki, orient. II. Nunes, Ramom Rachide, coorient. III. Título

CDD

A minha avó Analice (*in memoriam*) por ter acreditado tanto no meu potencial.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo conhecimento e pelas oportunidades;

À FACEPE, pela concessão de bolsa durante o mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBC) da UFRPE-UAST.

A minha orientadora, Renata Akemi Shinozaki-Mendes por todo conhecimento compartilhado, confiança, amizade e paciência. Foi a minha referência de profissionalismo e ser humano do segundo período da graduação até aqui.

Ao meu Coorientador, Ramom Rachide Nunes por toda disponibilidade, conhecimento e paciência, minha eterna gratidão.

Ao meu segundo Coorientador, Ugo Lima Silva por gentilmente ter contribuído com a minha pesquisa, sempre solícito e otimista.

À Cooperativa dos Produtores do Vale do Itaparica (COOPVALE) em Itacuruba – PE, pela permissão as coletas.

Aos membros da banca examinadora por terem aceitado fazer parte da construção dessa pesquisa.

A todos os membros do Laboratório de Química Ambiental que me ajudaram antes, durante e depois do experimento, em especial ao Hermógenes, Jefferson e Guilherme.

A todos do Laboratório de Experimentação de Organismos Aquáticos que me ajudaram.

Aos amigos do Lapeq, Aline e Higo pelas tardes de apoio, conversas e café.

A Deus, por ter colocado esse sonho em meu coração. O sonho e a oportunidade de ter acesso ao ensino público, gratuito e de qualidade. Embora, hoje a educação e a pesquisa científica estejam passando por uma das suas maiores crises, eu posso dizer que tive acesso as melhores oportunidades.

A toda a minha família que mesmo distante, ainda assim se manteve presente durante essa minha construção.

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de investigar alternativas de reuso da água no semiárido pernambucano, regiões com limitada disponibilidade hídrica e de baixo impacto ambiental. É essencial o desenvolvimento de estudos que investiguem a influência dos nutrientes, matéria orgânica, qualidade de água e suas aplicações. A reutilização da água de piscicultura (FFW) em um sistema integrado de agricultura parece ser uma alternativa viável e vantajosa. A aplicação da FFW foi testada em diferentes concentrações de carbono (0,0 a 100 mg C L⁻¹) em ensaios agrônômicos usando *Solanum lycopersicum* (tomate cereja). A taxa de germinação (%G= 88%), apresentou maiores valores em concentrações de FFW de 25,0 mg C L⁻¹ (p<0,05), além de um melhor desenvolvimento, alcançando de 5 a 6 cm. Os ensaios evidenciaram que apesar das variáveis serem independentes, as concentrações a partir de 5 mg C L⁻¹ já mostraram resultados satisfatórios, ressaltando a ampla possibilidade de aplicação de FFW. Outra alternativa para água da aquicultura pode ser também a tecnologia de bioflocos com baixa reposição de água em cultivos. Foi realizado um estudo com três experimentos que ocorreram em 2014, 2015 e 2017 afim de monitorar a qualidade de água em ambientes eutrofizados. O estudo foi realizado com cultivos experimentais de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e camarão (*Litopenaeus vannamei*) usando a tecnologia de bioflocos (BFT). Os atributos físicoquímicos analisados foram: temperatura, oxigênio dissolvido, pH e salinidade. Os resultados dos valores da qualidade da água usando diferentes fontes de carbono (açúcar, melão, fécula de mandioca, trigo e o controle para BFT) indicam que monitoramento da qualidade de água alcançou os melhores resultados foram usando o trigo e o melão como fonte de carbono. No entanto, pode-se concluir que é possível manter cultivos no semiárido pernambucano mesmo tendo que lidar com a sazonalidade. Essas alternativas são capazes de agregar valor a mais uma fonte de renda para a agricultura familiar: seja ela pelo sistema integrado agricultura-piscicultura ou pelo cultivo aquícola usando a tecnologia de bioflocos. As duas alternativas estudadas reaproveitam os efluentes que antes seriam lançados nos corpos hídricos gerando impacto ambiental.

Palavras-chave: qualidade de água; matéria orgânica e agricultura familiar.

ABSTRACT

The present study was developed with the aim of investigating alternatives for water reuse in the semiarid region of Pernambuco, regions with limited water availability and low environmental impact. It is essential to develop studies that investigate the influence of nutrients, organic matter, water quality and their applications. The reuse of fish farming water (FFW) in an integrated farming system appears to be a viable and advantageous alternative. The application of FFW was tested at different carbon concentrations (0.0 to 100 mg C L⁻¹) in agronomic trials using *Solanum lycopersicum* (cherry tomato). The germination rate (%G= 88%), presented higher values in FFW concentrations of 25.0 mg C L⁻¹ (p<0.05), in addition to a better development, reaching from 5 to 6 cm. The tests showed that despite the variables being independent, concentrations from 5 mg C L⁻¹ have already shown satisfactory results, highlighting the wide possibility of applying FFW. Another alternative to aquaculture water can also be biofloc technology with low water replenishment in crops. A study was carried out with three experiments that took place in 2014, 2015 and 2017 in order to monitor water quality in eutrophic environments. The study was carried out with experimental cultivations of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using biofloc technology (BFT). The physicochemical attributes analyzed were: temperature, dissolved oxygen, pH and salinity. The results of water quality values using different carbon sources (sugar, molasses, cassava starch, wheat and the control for BFT) indicate that water quality monitoring achieved the best results using wheat and molasses as a source of carbon. However, it can be concluded that it is possible to keep crops in the semi-arid region of Pernambuco even having to deal with seasonality. These alternatives are capable of adding value to yet another source of income for family farming: be it through the integrated farming-fish farming system or through aquaculture using biofloc technology. The two alternatives studied reuse the effluents that would previously be released into water bodies, generating an environmental impact.

Keywords: water quality; organic matter and family farming.

LISTA DE FIGURAS

Página

ARTIGO I

Figura 1. Mapa de localização de coleta, Itacuruba, Pernambuco, Brasil.....23

Figura 2. Desenvolvimento da parte aérea de *S. lycopersicum* sob a aplicação de diferentes concentrações de água de piscicultura (FFW).....30

Figura 3. Desenvolvimento das mudas de *S. lycopersicum* cultivadas sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono após 35 dias de cultivo do transplante em pote.....31

ARTIGO II

Figura 1: Análise discriminante entre grupos de diferentes fontes de carbono em tecnologia de BFT no período entre 2014, 2015 e 2017. Ac: Açúcar; Ct: Controle; Me: Melaço; Fe: Fécula de mandioca e Tr: Trigo.....41

TABELAS

Página

Artigo I

Tabela 1: Caracterização química da água de piscicultura (FFW) utilizada nos ensaios agronômicos com *S. lycopersicum* (n = 3, média ± SD). Tabela 1: Caracterização química da água de piscicultura (FFW) utilizada nos ensaios agronômicos com *S. lycopersicum* (n = 3, média ± SD). FFW Água de piscicultura; CE Eletrocondutividade; COT Carbono orgânico total; n.d. Não detectado.....26

Tabela 2: Caracterização química do argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd) utilizada nos ensaios agronômicos com *S. lycopersicum* (cutivo de mudas) (n = 3, média ± SD, cálculo com base no peso seco das amostras). CE Condutividade elétrica; MO Matéria orgânica; COT Carbono orgânico total; Acidez trocável; SB Soma das bases; CTC capacidade de troca catiônica; %V saturação por base.....27

Tabela 3. Desenvolvimento da parte aérea, crescimento da parte aérea e taxa de germinação (% GR) de mudas de *S. lycopersicum* sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono, após 35 dias de cultivo (n = 6, média seguido pela análise de variância e Kruskal-Wallis p <0,05). TPA Tamanho da parte aérea.....29

Tabela 4. Peso das folhas, parte aérea, raiz, T × P e % P (percentual do peso da folha) de mudas de *S. lycopersicum* cultivadas sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono, após 35 dias de cultivo (n = 6, média seguido por análise de variância e teste estatístico). TPA Tamanho da parte aérea; PPA Peso da parte aérea; PF Peso da folha; PR Peso da raiz; T × P tamanho × peso e [% P] percentual do peso da folha.....31

Artigo II

Tabela 1: Apresentação das características dos experimentos com *Oreochromis niloticus* e *Litopenaeus vannamei* na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST/UFRPE em 2014, 2015 e 2017.....37

Tabela 2. Valores das medianas, máximo e mínimos dos atributos da qualidade de água em cultivo de *Oreochromis niloticus* e *Litopenaeus vannamei* usando a tecnologia de BFT

realizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE em 2014, 2015 e 2017. Ac: Açúcar; Ct: Controle; Me: Melaço; Fe: Fécula de mandioca e Tr: Trigo. M: manhã; T: tarde. ORP Potencial de Oxirredução; SDT: sólido dissolvido total.....41

Tabela 3. Valores das medianas (máximo e mínimo entre parêntesis) das concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato (variáveis independentes do modelo) e modelos múltiplos (com valor de R² e p-valor) ORP: Potencial de Oxirredução.....42

Tabela 4. . Valores das medianas (máximo e mínimo entre parêntesis) das concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato (variáveis independentes do modelo) e modelos múltiplos (com valor de R² e p-valor) ORP: Potencial de Oxirredução.....42

SUMÁRIO

| | Página |
|----------------------------------|---------------|
| AGRADECIMENTOS | 17 |
| RESUMO..... | 18 |
| ABSTRACT | 19 |
| LISTA DE FIGURAS | 20 |
| TABELAS | 21 |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 Objeto geral..... | 16 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 15 |
| | |
| 3. ARTIGOS CIENTIFICOS..... | 20 |
| 3.1 Artigo Científico I | 19 |
| 3.2 Artigo Científico II | 35 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, uma das principais bases da economia é a agricultura. Esse segmento se divide em dois arranjos produtivos que geram o Produto Interno Bruto (PIB): a agricultura não familiar e a agricultura familiar (MDA, 2014). A agricultura familiar corresponde economicamente a 10% do PIB e 38% do Valor Bruto da Produção Agropecuária, desempenhando um papel importante no desenvolvimento econômico do país. Representa a maioria dos produtores rurais do Brasil, com 4,4 milhões, dos quais 50% deles estão no Nordeste (BRASIL, 2017).

Sendo assim, o Nordeste desempenha um papel importante, representando oito estados, que correspondem a 11% do território nacional (ACOSTA SALVATIERRA, 2017), com 82,6% da mão de obra de campo dedicada à agricultura familiar (CASTRO, 2012). A diversidade produtiva é uma característica da agricultura familiar, cujos agricultores são responsáveis pela gestão e diversificação da produção e uso da mão de obra familiar (BIANCHINI, 2007; SANGALLI, 2013; LIMA, 2018).

Para as culturas agrícolas, um dos principais problemas está na qualidade dos solos brasileiros, os quais são em sua maioria de baixa fertilidade natural, intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes, acarretando uma baixa produtividade agrícola (CAMPOS; NAVARRO, 2012). Outro fator limitante é a disponibilidade hídrica que interfere de forma direta, deixando as culturas não irrigadas em limitadas condições de produção, resultando em um ambiente pouco propício para produção vegetal (ARAUJO, 2019). Geralmente, a agricultura convencional faz uso da aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos para eliminar as limitações químicas dos solos, além de atender às exigências nutricionais das culturas (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002).

Outra atividade importante é a aquicultura que pode ser definida como cultivo animal onde a água é habitat obrigatório em partes ou em toda vida animal. Representada por piscicultura; carcinicultura; malacocultura; ranicultura; cultivo de tartaruga, tracajás, jacarés e algicultura (SIDONIO et al., 2012; AMORIM; TOSTA, 2020). Em 2020, o Brasil produziu 802,9 t de pescado e gerou uma receita de cerca de R\$ 8 bilhões, sendo o quarto maior produtor mundial de tilápia (*Oreochromis niloticus*), espécie que representa 60% da produção do país (PEIXE BR, 2020). Além disso, a piscicultura tem um grande potencial para produção de proteínas em locais de clima semiárido. Para a produção de 1 kg de peixe, são necessários 800

L de água; enquanto que para produção da mesma quantidade de carne bovina são necessários 17000 L de água (MEKONNEN et al., 2010).

Em Pernambuco, duas regiões lideram a produção de peixes: Itaparica e a Zona da Mata. A região de Itaparica no semiárido pernambucano é banhada pelo rio São Francisco, contemplando os municípios de Petrolândia, Jatobá, Itacuruba, Belém do São Francisco e Floresta. Entre eles atuam grandes, médios e pequenos produtores, de base familiar (PEIXE BR, 2019).

A aquicultura é considerada uma atividade que apresenta altas concentrações de nutrientes sólidos e solúveis, derivados de produtos metabólicos, da decomposição da matéria orgânica e lixiviação, dissolvidos na água ou acumulados sobre o sedimento (MACEDO, 2018). Essa atividade gera um efluente com elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), podendo apresentar um risco potencial ao meio ambiente, capaz de contaminar os corpos d'água naturais se gerenciado de maneira inadequada (QUEIROZ et al., 2004).

Para Amorim e Tosta (2020), a atividade pode gerar diversos impactos ambientais, dependendo do sistema de cultivo, das características do corpo hídrico que recebe o efluente; do manejo alimentar; da modalidade (água doce ou marinha); das espécies utilizadas, do nível de tecnologia e especialmente da densidade e quantidade de produção.

A Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 1986) define impacto ambiental como:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais”.

MERCANTE et al., (2007), concluíram que apesar da agricultura e a aquicultura serem importantes atividades rurais, ambas podem apresentar um alto impacto ao meio ambiente, seja pela utilização de fertilizantes, seja pela liberação de efluentes nos corpos hídricos, ou outros fatores, causando impacto ao meio ambiente.

O reúso da água de piscicultura em atividades agrícolas pode promover uma série de benefícios como: a reciclagem de nutrientes, a mitigação dos impactos ambientais, além da economia com a aplicação de insumos minerais no solo, proporcionando uma agricultura orgânica, de base ecológica que promove o desenvolvimento agrário e viabiliza a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais e familiares (PASQUALOTTO, 2012).

Os sistemas integrados de aquicultura-agricultura buscam potencializar o aproveitamento natural das culturas orgânicas de modo sustentável (NUNES, 2020). Além do interesse ecológico, os estudos que contribuem por melhores resultados na produção aquícola se tornam fundamentais, contribuindo para o desenvolvimento científico, social e econômico do país (SCHULTER, 2017).

Com isso, a alternativa do sistema integrado torna-se mais relevante para a agricultura familiar do semiárido. Para solucionar o problema da baixa fertilidade do solo e a geração de efluentes pela piscicultura, a implementação de sistemas integrados de agricultura, a exemplo da agricultura-piscicultura, seria uma alternativa relevante, pois visaria o reuso da água de piscicultura por meio da irrigação e valorização da MO e a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA; SANTOS, 2015; ASKARI-KHORASGANI, 2020).

A principal atividade de aquicultura no Brasil é a de água doce, sendo a tilápia (*Oreochromis niloticus*) Linnaeus, 1758 a espécie exótica mais produzida e que garantiu ao Brasil o quarto lugar na produção mundial (PEIXE BR, 2020). Além da tilápia, o camarão cinza (*Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)) é uma espécie exótica, originária do Oceano Pacífico, e com grande importância comercial para a agricultura familiar (FAO, 2020).

No semiárido pernambucano é essencial o uso de sistemas alternativos que tenham como desafio a baixa disponibilidade hídrica, a exemplo, o sistema de tecnologia bioflocos. A tecnologia consiste em uma técnica de controle de qualidade da água por meio da adição de fontes de carbono no sistema aquícola (CRAB et al., 2012). Essa tecnologia de biofoco consiste na retenção dos resíduos e sua conversão em flocos de microrganismos, sendo utilizado como alimento natural endógeno nos sistemas de cultivo, constituídos por bactérias, protozoários, zooplânctons e microalgas agregados à matéria orgânica (AZIM e LITTLE, 2008; AVNIMELECH, 2012).

As bactérias heterotróficas são capazes de converter a amônia em biomassa, sem que resultem em nitritos e conseguem se manter a um nível baixo e não tóxico, evitando desta forma as renovações de água o que constitui uma grande vantagem em relação à utilização dos biofiltros tradicionais (AVNIMELECH, 2012).

Desta forma, pesquisas voltadas para o uso racional da água, bem como o desenvolvimento de estudos que investiguem a influência dos nutrientes, matéria orgânica e qualidade da água e suas aplicações poderá desenvolver alternativas para produção de cultivos em regiões com limitada disponibilidade hídrica.

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar as alternativas de reuso da água da aquicultura para minimizar os impactos ambientais das atividades antrópicas na região do sertão pernambucano.

2.1- Objetivos específicos

- Caracterizar a água de piscicultura quanto a composição química, física e microbiológica;
- Inferir sobre a qualidade do reuso da água na agricultura e na tecnologia de bioflocos;
- Caracterizar as águas quanto aos seus teores de macro e micronutrientes;
- Monitorar o desenvolvimento de plantas-teste (tomate-cereja) em substratos irrigados com a água de piscicultura;
- Avaliar a qualidade da água após o reuso em diversos cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA SALVATIERRA, L. H.; LADLE, R. J.; BARBOSA, H. R.; CORREIA, A. e MALHADO, A. C. M. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica*, v. 49, n. 5, p. 753-760, 2017.

ANDRADE, A. S. Aquicultura Brasileira: A visão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento a partir do Sistema de Registro Geral da Pesca e Aquicultura. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p., 2020.

ANUÁRIO DA PISCICULTURA BRASILEIRA. Edição, 2019. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-peixe-br-da-piscicultura-2019/>. Acesso em: 03 Jul. 2020.

ASKARI-KHORASGANI, O.; PESSARAKLI, M. Tomato (*Solanum lycopersicum*) culture in vermi-aquaponic systems: II. Strategies for sustainable and economic development: Fertilization practices in vermi-ponic unit. *Journal of Plant Nutrition*, v. 43, n. 11, p. 1726-1739, 2020.

AVNIMELECH, Y. Biofloc Technology, a practical guidebook. 2 d Edition. The Word Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 271p., 2012. ARAÚJO, A. C.; DE ARAÚJO, A. C. Limites e perspectivas no manejo dos recursos naturais na agricultura do

semiárido Brasileiro. Semiárido Brasileiro – Organização Editora Poisson – Belo Horizonte - MG: Poisson, v. 3. n. 43, 2019.

AZIM, M.E; LITTLE, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.283, p.29-35, 2008.

BRASIL. Lei nº 11.326. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9064.htm>. Acesso em: 10 fevereiro de 2021.

BIANCHINI, V. O Universo da agricultura familiar e sua contribuição ao desenvolvimento rural. EMBRAPA Informática Agropecuária-Biblioteca. Rede Agroecologia. 2007. Disponível em: <<http://redeagroecologia.cnptia.embrapa.br/biblioteca/agricultura-familiar>>.

CAMPOS, S. K.; NAVARRO, Z. A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) Brasília, DF, 2013.

CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. IPEA, 2012. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91269/1/730686302.pdf>> Acesso em: 05 Jan 2021.

CRAB, R., DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, v.356-357, p.351-356, 2012.

FAOSTAT. Elucidating the symbiotic interactions between a locally isolated microalga *Chlorella vulgaris* and its co-occurring bacterium *Rhizobium* sp. in synthetic municipal wastewater. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 4, p. 2299–310.

FRANCHINI, A. C. Cultivo integrado de peixes, camarões e hortaliças em viveiros de aquicultura. Dissertação, 2019.

FREIRE, N. C. F. et al. Mapeamento e análise espectro-temporal das unidades de conservação de proteção integral da administração federal no bioma caatinga. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 24773-24781, 2020.

JESUS AMORIM, M.; TOSTA, M. de C. R. A piscicultura como alternativa para diminuir os impactos ambientais da produção de carne bovina. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 4, 2020.

KAUR, H.; S. BEDI, V. P.; SETHI.; e A. S. DHATT. Effects of substrate hydroponic systems and different N and K ratios on yield and quality of tomato fruit. *Journal of Plant Nutrition*, v. 41, n. 12, p. 1547–54, 2018.

LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; OLIVEIRA-MACIEL, P.; PRYTHON, A.; VALLADÃO-FLORES, R. M.; e ARAÚJO-BEZERRA, T. Small-scale fish farming in seasonal ponds in Brazil: technical and economic characterization. *American Journal of Aquatic Research*, v. 46, n. 2, 314-329, p., 2018.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2018.

NUNES, C. A. R.; OLIVEIRA FILHO, P. J.; ILVA, F. A.; PEREIRA, A., DOS SANTOS, J. B. B., SANTANA, I. C.; DA CUNHA CARDOSO, E. Acompanhamento de sistema integrado agro aquícola em comunidade carente no médio São Francisco. *Revista Sertão Sustentável*, v. 2, n. 1, p. 41-44, 2020.

PASQUALOTTO, N.; STASIAK, A. P.; PASQUALOTTO, D. Desenvolvimento rural sustentável: possibilidade real ou utópica. XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária, Uberlândia, PEIXE BR, 2012.

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2020. Disponível em<<http://www.peixebr.com.br>>. Acesso em julho de 2020.

PENNINGTON, R.T; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Woody plant diversity, evolution and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology*, v. 40, n. 40, p. 437–457, 2009.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: Leal IR, Tabarelli M, Silva JMC (eds) Ecologia e conservação da Caatinga. Editora Universitária da UFPE, Recife, v. 3, n. 73, 2003.

SANGALLI, A. R.; SCHLINDWEIN, M. M. A contribuição da agricultura familiar para o desenvolvimento rural de Mato Grosso do Sul-Brasil. Redes. Revista do Desenvolvimento Regional, v. 18, n. 3, p. 82-99, 2013.

3. ARTIGO CIENTÍFICO I

Artigo científico a ser encaminhado a Revista **Bioresource
Technology.**

Todas as normas de redação atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma e a posição das imagens, as quais estão localizadas ao longo do texto.

ÁGUA DE PISCICULTURA NO CULTIVO ORGÂNICO DE MUDAS DE TOMATE CEREJA (*Solanum lycopersicum* L.)

RESUMO

Neste trabalho, estudou-se o efeito da aplicação da água de piscicultura (FFW) em um sistema integrado de agricultura, com foco no desenvolvimento social e agrário em regiões de clima semiárido. Assim, o objetivo foi avaliar a aplicação da FFW por meio de ensaios agronômicos. O efeito foi avaliado aplicando a FFW em diferentes concentrações de carbono (0,0 a 100 mg C L⁻¹) em testes de germinação com *Solanum lycopersicum*. Como resultado, concentrações de FFW acima de 5,0 mg C L⁻¹ mostraram um melhor resultado e melhores efeitos biológicos. A taxa de germinação (%G= 88%), apresentou maiores valores em concentrações de FFW de 25,0 mg C L⁻¹, além de um melhor desenvolvimento, alcançando de 5 a 6 cm. No cultivo em pote, o desenvolvimento do tamanho da parte aérea (TPA) em concentrações acima de 50 mg C L⁻¹ apresentaram a maior média, alcançando 21,6 cm e R² = 0,9531 e o peso (PPA) foi otimizado em concentrações de 5, 50 e 100 mg C L⁻¹, atingindo respectivamente 1,09; 2,17 e 2,54 g. O tamanho da raiz passa a apresentar resultados com diferenciação estatística nas concentrações acima 5 mg C L⁻¹ com 12,9 cm, enquanto o peso em concentrações acima de 25 mg C L⁻¹ apresentou 1,70 g. Os ensaios evidenciaram que apesar das variáveis serem independentes, as concentrações a partir de 5 mg C L⁻¹ já mostrou resultados satisfatórios. Como conclusão, os ensaios agronômicos com *S. lycopersicum* revelam que ocorre um efeito biológico positivo no cultivo em que a FFW é aplicada incorporando MO e nutrientes aos solos com baixa fertilidade.

Palavras-chaves: efeito biológico, *Solanum lycopersicum*, sistema integrado de agricultura.

INTRODUÇÃO

A agricultura tem um papel importante na economia de muitos países, especialmente aqueles em desenvolvimento econômico que dependem da produção e exportação de insumos como principal fonte de geração de renda. Além disso, um dos desafios mais importantes da agricultura diz respeito à qualidade dos solos, uma vez que o solo da região semiárida é caracterizado principalmente como baixo em fertilidade natural, ácido e pobre em matéria orgânica (MO) e nutrientes (MANZATTO et al., 2002).

O semiárido nordestino compreende oito estados e corresponde a 11% do território nacional (ACOSTA SALVATIERRA, 2017). Possui clima tropical quente e seco que se caracteriza por altas temperaturas (25 a 29°C) e baixa pluviosidade (400 a 800 mm/ano) (FREIRE, 2020). É marcado pela sazonalidade climática, resultando em déficit hídrico, condições

edafoclimáticas e aptidão do solo, sendo então pouco propício para a produção agrícola (CAMPOS; NAVARRO, 2013).

Em outro contexto, a atividade de piscicultura está crescendo em todo o mundo. Em 2019, o Brasil produziu 758t de pescado (PEIXEBR, 2019). Além disso, a piscicultura tem um grande potencial para produção de proteínas para fins comerciais, principalmente em locais com clima semiárido. Por exemplo, para a produção de 1 kg de peixe, são necessários 800 L de água; por outro lado, 17000 L para produção da mesma quantidade de carne bovina (MEKONNEN et al., 2010). No entanto, a aquicultura é considerada uma atividade que gera um efluente potencialmente tóxico para o meio ambiente devido à sua grande quantidade de OM e nutrientes, apresentando um risco potencial ao meio ambiente, capaz de contaminar os corpos d'água se gerenciado de maneira inadequada (QUEIROZ et al., 2004).

Com o objetivo de apresentar uma solução para a baixa fertilidade do solo e para a geração de efluentes da piscicultura, a implementação de sistemas integrados de agricultura e aquicultura seria uma alternativa interessante do ponto de vista ecológico e econômico. Sendo assim, a reutilização da água da piscicultura na agricultura, seria capaz de promover muitos benefícios, como incorporação da OM ao solo, ciclagem de nutrientes e redução da aplicação de insumos minerais ao solo em uma prática convencional da agricultura; sempre visando um aumento da produção agrícola para o desenvolvimento social e agrário (OLIVEIRA et al., 2015).

Em uma perspectiva social, o sertão brasileiro é uma região que historicamente se dedica à agricultura como base principal dessa economia regional. Apresentando um IDH de 0,661, 83% da mão-de-obra é dedicada à agricultura familiar (RIBEIRO-NETO et al. 2016). Como a tecnologia proposta é capaz de aumentar a produção vegetal, por meio da incorporação de OM e nutrientes ao solo, pode aumentar a renda, levando o desenvolvimento agrário em uma área historicamente caracterizada pela degradação social.

Considerando o valor socioeconômico, tornam-se necessários estudos e pesquisas que investiguem a aplicação do sistema integrado agricultura-piscicultura e determinem a qualidade na produção tomate cereja. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação da água de piscicultura para uso em um sistema integrado agricultura-aquicultura, com foco no aumento da produção agrícola e no desenvolvimento agrário em testes agrônômicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Água de piscicultura

Amostras de água de piscicultura (FFW) foram coletadas em tanques de cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), no município de Itacuruba, Brasil (08°45'36"S 038°39'37"W) (Figura 1).

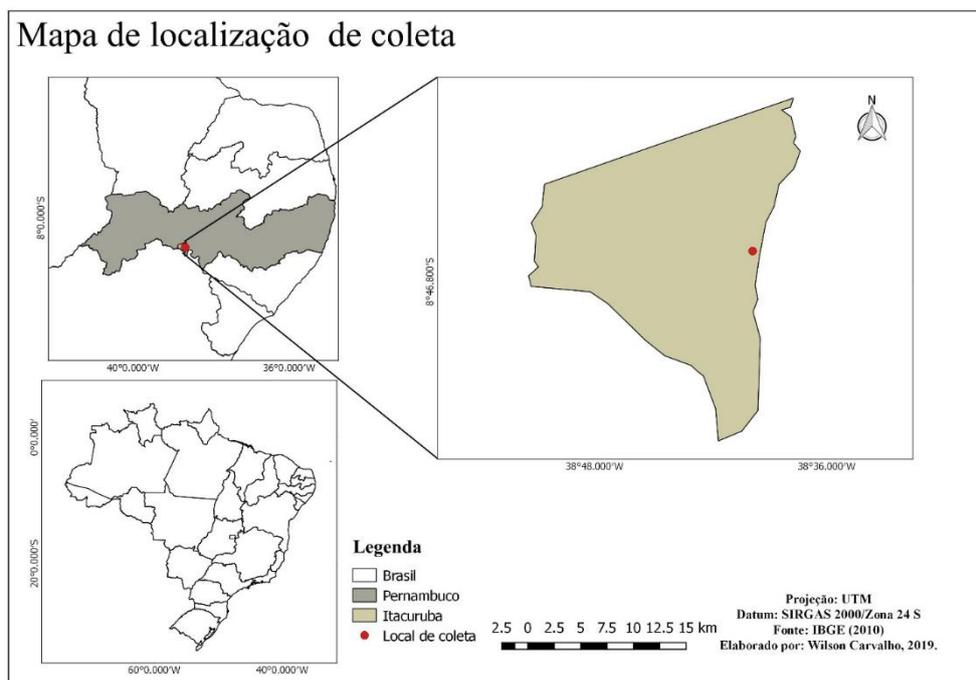


Figura 1. Mapa de localização de coleta, Itacuruba – PE.

Para a caracterização da água foram analisados os seguintes atributos: pH (usando um pHmetro modelo Even PHS-3E (Araucária, Brasil) (ISO, 1994), condutividade elétrica (CE) (usando um condutímetro TecnoPON MCA 150 (Piracicaba, Brasil), turbidez (usando um turbidímetro TU430, São Leopoldo, Brasil), sólidos suspensos (SS) utilizando um forno Sterilifer SX 1,0 DTMC (Tamandaré, Brasil), macro e micronutrientes (usando um ICP Agilis XX; Waltham, EUA) e carbono orgânico total (TOC) (utilizando um espectrofotômetro TOC-V CPH Shimadzu; Quioto, Japão).

Para a análise microbiológica, as amostras foram diluídas em série crescente (0,00001-0,1 mL) e colocada em placas de Petri previamente esterilizadas, contendo Ágar Sabouraud Dextrose. As placas de Petri foram incubadas a 35°C e analisadas a partir do terceiro dia quanto ao crescimento de cultura fúngica filamentosa (KLICH e PITT, 1988; APHA, 1998; RODRIGUES e DE SIQUEIRA, 2018).

A coleta de água foi realizada em maio de 2018. As amostras coletadas foram mantidas sob refrigeração, até o momento das análises e armazenadas de acordo com a Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

Argissolo vermelho-amarelo distrófico

Amostras de argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd) foram coletadas em uma área de cultivo experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no município de Serra Talhada, Brasil (07°57'11,4"S 038°17'41,0"W). Utilizando uma pá, o solo foi coletado na fração arável (20 cm de profundidade), de acordo com a Guia Nacional de coleta de solo (EMBRAPA, 2018). As coletas foram realizadas em maio de 2018 (30°C e 44 mm).

Para caracterização, o solo foi peneirado em malha de 2 mm e seco ao ar. Em seguida, os seguintes atributos foram determinados: sólidos totais (ST) (Diadema, Brasil), pH (Araucária, Brasil), condutividade elétrica (CE) (utilizando um condutivímetro Tecnopon MCA 150 (Piracicaba, Brasil), matéria orgânica (MO) (Diadema, Brasil), carbono orgânico total (TOC) (Kyoto, Japão), macro e micronutrientes (Waltham, EUA), acidez trocável (ISO, 1994), soma das bases (ISO, 1994), capacidade de troca catiônica (CEC) (ISO, 1994) e saturação por base (%V).

Ensaio agrônomicos

Os ensaios agrônomicos foram divididos em duas etapas: cultivo de sementes (em bandeja) e cultivo de mudas (em potes, transplantadas da bandeja de semente); ambos os ensaios foram realizados utilizando tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). Os experimentos foram conduzidos entre os meses de setembro de 2019 e março de 2020 (Set 26°C, 0 mm; Out 27°C, 0,8 mm; Fev 26°C, 131 mm; Mar 25°C, 437 mm) (precipitação e temperatura média) (INMET, 2020).

Semeadura em bandeja

Em uma bandeja de cultivo foram germinadas 36 células (célula = replicata; 36×) sementes de tomate-cereja, biologicamente certificadas (Isla, Porto Alegre - RS, Brasil). Cada célula foi preenchida com fibra coco, adicionada a semente (1 por célula) e regada diariamente, duas vezes ao dia, usando 5 mL da água de piscicultura em diferentes concentrações: 0,0 (amostra controle – água da torneira), 5, 10, 25, 50, 75, e 100,0 mg C L⁻¹.

O efeito da aplicação da água de piscicultura foi avaliado por meio da taxa de sucesso da germinação (%GR) e do desenvolvimento das plântulas (tamanho e peso). As mudas foram mensuradas após 30 dias de germinação.

Cultivo das mudas

As plântulas foram transplantadas das bandejas para os potes plásticos (0,5 L) após atingir 30 dias. Cada pote recebeu 450 mL de PVAd e uma plântula. Cada pote foi irrigado manualmente,

duas vezes ao dia, utilizando 50 mL da água de piscicultura em diferentes concentrações: 0,0 (amostra controle), 5, 10, 25, 50 e 100,0 mg C L⁻¹, com 6 réplicas por tratamento.

O desenvolvimento das mudas foi avaliado por meio do desenvolvimento (tamanho e peso da parte aérea, tamanho e peso da raiz e peso das folhas), além da relação T×P (tamanho e peso da parte aérea) e o percentual do peso das folhas em relação a parte aérea (% P). As mudas foram medidas diariamente quanto à altura após o final dos experimentos (35 dias após o transplante).

Procedimentos laboratoriais

Os procedimentos realizados em laboratório, sejam analíticos ou não, foram realizados de acordo com os requisitos da ISO 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) e seguindo os princípios das Boas Práticas de Laboratório (BPL), a fim de garantir a rastreabilidade dos dados e gestão da qualidade (ISO, 2005; UN-WHO, 2008).

Tratamento dos resíduos

Todos os resíduos gerados durante o desenvolvimento deste estudo foram coletados, rotulados e acondicionados imediatamente após sua produção. O tratamento (reciclagem ou incineração) foi realizado de acordo com as normas e procedimentos adotados na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Análise estatística

Análises químicas e ensaios agrônômicos foram realizados em replicatas, a depender da análise. Os dados foram inicialmente testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Bartellet). Para os dados com distribuição normal ($p = 0,0046$) e homocedásticos ($p = 0,0028$), foi realizada a comparação usando ANOVA paramétrica (teste de Duncan) e os resultados foram apresentados como médias seguidas por teste de diferenciação. Os dados cuja distribuição não foi normal ($p = 0,0016$) ou foram heterocedásticos ($p = 0,0007$), foram comparados por ANOVA não paramétrica (Kruskal-Wallis) ($p < 0,0001$) e os resultados apresentados em medianas seguidas por teste de diferenciação. Os testes e análises estatísticas foram realizados no software SisEAPRO.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água de piscicultura

Ao analisar os valores médios de pH (6,71) e turbidez (7,68) da água de piscicultura (Tabela 1), os valores indicam ser adequados para o uso na irrigação agrícola de acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005. Valores de pH entre 6-9 são permitidos e, para turbidez, valores de até 100 NTU (BRASIL, 2005). Resultados semelhantes foram observados por Pinheiro et al. (2015), onde o pH variou de 6,62 a 6,75 em um estudo semelhante, alcançando bons resultados. Outros estudos indicam que valores entre 6,5 e 8,5 são ideais para a piscicultura, favorecendo as condições ideais para o ciclo biológico (KUBITZA, 1997; ROJAS e SANCHES, 2006).

Tabela 1: Caracterização química da água de piscicultura (FFW) utilizada nos ensaios agrônômicos com *S. lycopersicum* (n = 3, média \pm SD). FFW Água de piscicultura; CE Eletrocondutividade; COT Carbono orgânico total; n.d. Não detectado.

| | FFW |
|-----------------------------|-------------------|
| pH | 6,71 \pm 0,02 |
| CE ($\mu\text{S m}^{-1}$) | 81,21 \pm 2,45 |
| Turbidez (NTU) | 7,68 \pm 5,55 |
| TOC (mg L^{-1}) | 111,47 \pm 2,40 |
| P (mg L^{-1}) | 0,02 \pm 0,01 |
| K (mg L^{-1}) | 6,84 \pm 0,15 |
| Mg (mg L^{-1}) | 4,20 \pm 0,25 |
| Ca (mg L^{-1}) | 9,60 \pm 0,04 |
| Na (mg L^{-1}) | 0,10 \pm 0,01 |
| Fe (mg L^{-1}) | 0,51 \pm 0,04 |
| B (mg L^{-1}) | n.d. |
| Cl (mg L^{-1}) | n.d. |
| Cu (mg L^{-1}) | 0,22 \pm 0,01 |
| Zn (mg L^{-1}) | n.d. |
| Mn (mg L^{-1}) | 0,02 \pm 0,00 |
| Mo (mg L^{-1}) | n.d. |

Quanto ao carbono orgânico total (TOC) (111,47 mg L^{-1}), não existe resolução ambiental que estabeleça um valor normativo para esse atributo (BRASIL, 2005). Os valores de TOC indicam que, ao passar do tempo, o teor de MO tende a se concentrar no tanque, aumentando assim o teor de MO dissolvida na água, influenciando diversos processos químicos, físicos e biológicos (SILVA et al., 2013).

No que se refere aos valores de condutividade elétrica, considerando os valores recomendados pela EMBRAPA, sobre a qualidade da água na irrigação, a CE ($81,21 \mu\text{S m}^{-1}$) esteve de acordo com o aceitável (SILVA et al., 2013). Valores elevados de CE indicam altas concentrações de sais, os quais podem delimitar uma inibição na germinação de sementes de plântulas (CHANG et al., 2010), enquanto uma baixa CE indica uma concentração baixa de sais, possibilitando o uso da irrigação nas culturas (MEDEIROS, 2019).

A análise do potencial agrônômico da água de piscicultura se deu por meio dos teores de seus nutrientes (Tabela 1). A água de piscicultura apresentou valores de K ($6,84 \text{ mg L}^{-1}$), Ca ($9,6 \text{ mg L}^{-1}$) e Mg ($4,2 \text{ mg L}^{-1}$), P ($0,02 \text{ mg L}^{-1}$), Mn ($0,02 \text{ mg L}^{-1}$) e Na ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$). Os seguintes nutrientes não foram determinados: Zn, Cl e Mo.

Em relação à análise microbiológica de fungos, as amostras apresentaram crescimento nulo quando submetidos a temperatura de 35°C . Com isso, a análise microbiológica para fungos filamentosos em água pode ser considerado um bioindicador de qualidade, pois a ausência indica que a água está livre de interferências biológicas. Esta constatação é relevante e positiva, no que diz respeito ao uso da água de piscicultura em um sistema integrado de agricultura. Nas últimas décadas, muitos estudos científicos consideraram que fungos filamentosos e leveduras são microrganismos potencialmente patogênicos para muitas culturas e para o consumo humano (KANZLER et al., 2007; YAMAGUCHI et al., 2007; LIMA et al., 2017).

Caracterização de solo

As análises apresentam características típicas de um PVAd, exemplo, solos pobres em MO (2,12%) e TOC (0,43%), além de uma baixa %V ($47,58 \text{ cmolc kg}^{-1}$) (Tabela 2), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Por se tratar de um solo pobre em MO e CE, é possível avaliar a incorporação de nutrientes e OM ao solo, via irrigação utilizando a FFW, e avaliar o efeito da presença da OM na produção vegetal. Os valores de pH (5,08), indicaram que é um solo típico brasileiro (EMBRAPA, 2018); e está fora da faixa de pH ideal-agricultável, que varia de 6,0 a 6,5, para a maioria das culturas cultivadas no Brasil.

Tabela 2: Caracterização química do argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd) utilizada nos ensaios agrônômicos com *S. lycopersicum* (cutivo de mudas) ($n = 3$, média \pm SD, cálculo com base no peso seco das amostras). CE Condutividade elétrica; MO Matéria orgânica; COT Carbono orgânico total; Acidez trocável; SB Soma das bases; CTC capacidade de troca catiônica; %V saturação por base.

| | PVAd |
|-------------|-----------------|
| Umidade (%) | $0,88 \pm 0,03$ |
| pH | $5,08 \pm 0,04$ |

| | |
|---|------------------|
| CE ($\mu\text{S m}^{-1}$) | $89,83 \pm 4,23$ |
| MO (%) | $2,12 \pm 0,17$ |
| COT (%) | $0,43 \pm 0,02$ |
| A ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | $32,07 \pm 0,13$ |
| SB ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | $29,11 \pm 0,26$ |
| CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | $61,18 \pm 0,33$ |
| %V ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | $47,58 \pm 0,22$ |
| K (mg Kg^{-1}) | $14,21 \pm 0,10$ |
| Mg (mg Kg^{-1}) | $2,64 \pm 0,04$ |
| Ca (mg Kg^{-1}) | $12,44 \pm 0,26$ |
| Na (mg Kg^{-1}) | $0,20 \pm 0,01$ |

Em casos em que o pH é determinado abaixo de 6, a acidez apresenta-se em concentrações nocivas para a maioria das plantas, além de interferir na absorção de nutrientes, principalmente devido a liberação de alumínio às plantas; além de diminuir a retenção de nutrientes essenciais para a produção vegetal (RONQUIM, 2010).

O elevado teor de sólidos totais (ST, 99,12%) deve-se ao clima quente e seco da região. O baixo valor da CTC ($61,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) indica que o PVAd apresenta uma pequena capacidade de troca de cátions, sendo pobre em nutrientes, com baixo potencial agricultável e baixa qualidade para o cultivo de plantas de interesse econômico (RONQUIM, 2010). A saturação por bases (%V) (47,58) menor que 50%, indica que a amostra é um solo com característica distrófica (d) (RONQUIM, 2010). Ao determinar o potencial de nutrientes presentes no PVAd, os teores de macro e micronutrientes apresentaram baixos níveis de elementos essenciais às plantas (Tabela 2).

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os teores de nutrientes não satisfazem a nutrição dos vegetais para fins agrícolas que exigem um solo fértil, para garantir um bom desempenho das culturas é necessário realizar a adição de fertilizantes que geralmente são químicos.

Bioensaios

As concentrações $75\text{--}100 \text{ mg C L}^{-1}$ (Tabela 3) foi observada uma redução de 50% na taxa de sucesso da germinação (%GR). Já as concentrações de $0,0 \text{ mg C L}^{-1}$ (amostra controle) e $25,0 \text{ mg C L}^{-1}$ apresentaram uma maior taxa de germinação (%GR), variando de 72 a 88%

(Tabela 3); com valores estatisticamente diferentes quando comparados a todas as outras concentrações (ANOVA One-way e Kruskal- Wallis, $p < 0,05$). Esse resultado corrobora com o estudo feito por Wang et al. (2001) utilizando *Cucumis sativus*, no qual foi obtido um %GR próximo ao resultado obtido, entre 77-88%. Tanto a taxa de germinação como o comprimento da raiz e o peso das mudas de *S. lycopersicum* apresentam resultados satisfatórios, pois os dados apresentados são superiores aos resultados dos testes com a irrigação convencional (controle amostral).

Tabela 3. Desenvolvimento da parte aérea, crescimento da parte aérea e taxa de germinação (% GR) de mudas de *S. lycopersicum* sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono, após 35 dias de cultivo ($n = 6$, média seguido pela análise de variância e Kruskal-Wallis $p < 0,05$). TPA Tamanho da parte aérea.

| [C] (mg C L ⁻¹) | %GR | T (cm) | P (g) | TPA (cm) |
|-----------------------------|----------|--------|---------|----------|
| 0,0 | 72,22bc | 3,2b | 0,028a | 15,77a |
| 5,0 | 77,78c | 3,4b | 0,046b | 15,8a |
| 10,0 | 33,33ab | 2,4a | 0,039ab | 17,75ab |
| 25,0 | 88,89c | 5,8d | 0,153de | 18,44ab |
| 50,0 | 50,00abc | 4,4c | 0,119c | 21,6b |
| 75,0 | 33,33ab | 4,4c | 0,120c | 20,6ab |
| 100,0 | 27,78a | 6,0d | 0,203e | 23,36b |

Valores na mesma coluna com letras diferentes são estatisticamente diferentes $p < 0,05$ de acordo com ANOVA One-way e teste de Kruskal-Wallis para diferenciação de médias.

O maior desenvolvimento do *S. lycopersicum* foi obtido sob aplicação de água de piscicultura nas concentrações de 25,0 e 100 mg C L⁻¹, com crescimento variando entre 2,0-4,0 cm e peso de 0,15-0,20 g (Tabela 3). Quando comparadas a outras concentrações, as amostras cresceram 2-4 cm e o peso das partes aéreas variou entre 0,03-0,10 g (Tabela 3); com valores estatisticamente diferentes quando comparados a todas as outras concentrações (ANOVA One-way e Kruskal- Wallis, $p < 0,05$).

Foi observado que o *S. lycopersicum* cultivado em pote apresentou um melhor resultado no tamanho da parte aérea (TPA) (21,6 cm) sob aplicação de concentrações acima de 50 mg C L⁻¹, com valores estatisticamente diferentes (ANOVA Kruskal-Wallis, $p = 0,0001$) (Tabela 4; Figura 2), enquanto, que o peso da parte aérea (PPA) apresentou nas concentrações de 5, 50 e 100 mg C L⁻¹ resultados estatisticamente diferentes, respectivamente 1,09; 2,17 e 2,54 g (ANOVA Kruskal-Wallis, $p = 0,0001$).

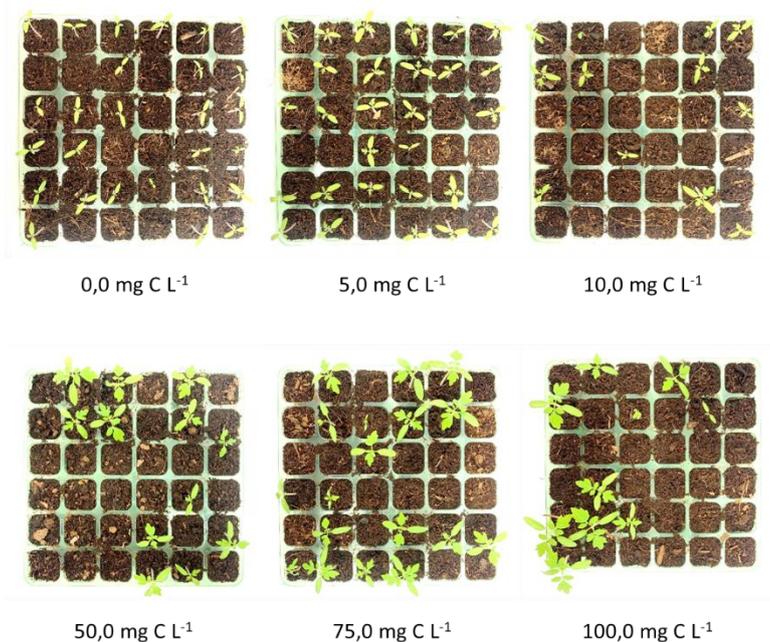


Figura 2. Desenvolvimento da parte aérea de *S. lycopersicum* sob a aplicação de diferentes concentrações de água de piscicultura (FFW).

Ao analisar o tamanho da raiz (TR), evidenciou-se que as concentrações acima 5 mg C L⁻¹ possuem um melhor resultado (12,9 cm), estatisticamente diferente (ANOVA Duncan, $p = 0,0001$), enquanto que o peso da raiz (PR) apresentou valores estatisticamente diferentes (ANOVA Duncan, $p = 0,0001$) em concentrações acima de 25 mg C L⁻¹ (1,70 g).

Na relação entre $T \times P$ (tamanho e peso da parte aérea), observou-se que nas concentrações acima de 50 mg C L⁻¹ com 26,24 mg, não houve diferença estatística (ANOVA Kruskal-Wallis, $p = 0,0001$). O peso das folhas (PF), peso da parte aérea (PPA) e [%P] (percentual do peso da folha) mostraram que não houve uma relação direta entre as variáveis, e que as diferenciações ocorreram respectivamente a partir de 10 e 100 mg C L⁻¹, enquanto o [%P] não apresentou diferenciação (ANOVA Duncan, $p = 0,0674$). O cultivo em pote com *S. lycopersicum* demonstrou que ao longo do seu desenvolvimento uma melhor resposta pode ser alcançada conforme as concentrações tendem a aumentar (Tabela 4; Figura 3). O que significa dizer que quanto maior a concentração de MO e nutrientes na água de piscicultura incorporados ao solo, maior será a resposta biológica quando analisadas essas variáveis.



Figura 3. Desenvolvimento das mudas de *S. lycopersicum* cultivadas sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono após 35 dias de cultivo do transplante em pote.

Tabela 4. Peso das folhas, parte aérea, raiz, T × P e % P (percentual do peso da folha) de mudas de *S. lycopersicum* cultivadas sob aplicação de água de piscicultura (FFW) em diferentes concentrações de carbono, após 35 dias de cultivo (n = 6, média seguido por análise de variância e teste estatístico). TPA Tamanho da parte aérea; PPA Peso da parte aérea; PF Peso da folha; PR Peso da raiz; T × P tamanho × peso e [% P] percentual do peso da folha.

| [C] (mg C L ⁻¹) | TPA(cm) | PPA (g) | PF (g) | TR (cm) | PR (g) | T×P | %P (%) |
|-----------------------------|---------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 0 | 15,77a | 1,10ab | 0,44a | 6,93a | 0,17a | 1,02a | 40,30a |
| 5 | 15,8a | 1,09a | 0,44a | 12,9b | 0,18a | 2,44ab | 40,36a |
| 10 | 17,75ab | 1,69abc | 0,78b | 19,93d | 0,61ab | 12,05abc | 47,11a |
| 25 | 18,44ab | 1,84abc | 0,76b | 18,18cd | 1,70b | 26,05bc | 41,59a |
| 50 | 21,6b | 2,17bc | 0,86bc | 16,08bcd | 1,70b | 26,24c | 39,39a |
| 75 | 20,6ab | 1,99abc | 0,79bc | 13,9bc | 0,45ab | 6,11abc | 39,66a |
| 100 | 23,36b | 2,54c | 1,00c | 16,96bcd | 1,75b | 26,07c | 29,52a |
| Teste | K-W | Kl-W | Duncan | Duncan | K-W | K-W | Duncan |
| p-valor | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0674 |

Valores na mesma coluna com letras diferentes são estatisticamente diferentes p <0,05 utilizando-se ANOVA paramétrica (Duncan) ou não-paramétrica (Kruskal-Wallis, K-W) seguidos de teste *post hoc*.

Sabe-se que o teor de matéria orgânica e nutrientes no solo é tão importante quanto a disponibilidade hídrica (CASTRO, 2012). Ou seja, a deficiência nutricional e a escassez de água são os principais desafios para a agricultura familiar em regiões onde esses recursos são limitados, como é o caso do semiárido pernambucano. Com base nos resultados encontrados, este trabalho

vem a propor uma alternativa de gerar renda para a agricultura familiar a fim de garantir sua segurança alimentar.

É possível afirmar que a metodologia do sistema integrado seja aplicada para solucionar o problema gerado pelos efluentes de piscicultura e ao mesmo tempo propor uma solução para os solos com baixa fertilidade (incorporando matéria orgânica e nutrientes) e contribuindo para uma agricultura orgânica, sustentável e de base ecológica.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos o cultivo de mudas de *S. lycopersicum* indicam que a água de piscicultura na concentração de 25,0 mg C L⁻¹ apresenta uma resposta biológica de concentração ideal, com um desenvolvimento bioestimulante quando comparado às outras concentrações na produção de mudas de tomate cereja. Os ensaios agrônômicos em pote, evidenciam a importância de incorporar MO e nutrientes aos solos com deficiência nutricional.

Em estágios futuros, espera-se aplicar água da piscicultura em casa de vegetação, visando aumentar a produção vegetal em testes com plantas-teste. Por meio destes resultados espera-se estipular o efeito real do sistema integrado agricultura-piscicultura no desenvolvimento social e agrário, com vista à aplicação em regiões onde o clima e a qualidade do solo são desafios a serem superados, conforme aplicado e investigado neste estudo.

REFERÊNCIAS

ACOSTA SALVATIERRA, L. H.; LADLE, R. J; BARBOSA, H. R; CORREIA, A. and MALHADO, A. C. M. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica*, v. 49, n. 5, p. 753-760, 2017.

APHA, 1998. Métodos padrão para o exame de água e efluentes, 20a ed. United Book Press, EUA. Acesso em: 10 de dezembro de 2019.

BRASIL. Resolução nº 357. Brasília: CONAMA, 2005. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

CAMPOS, S. K.; NAVARRO, Z. A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível? Brasília: CGEE, 2013.

CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. IPEA, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (CETESB). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: ANA, 2011.

CHANG, C.; WANG, B.; SHI, L.; Li, Y.; DUO, L.; ZHANG, W.; Alleviation of salt stress-induced inhibition of seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by ethylene and glutamate. *Journal Plant Physiology*, v.167, p. 1152–1156, 2010.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018b. Disponível em: Acesso em: 28 fev. 2020.

ERTANI, A.; PIZZEGHELLO, D.; BAGLIERI, A.; CADILI, V.; TAMBONE, F.; GENNARI, M.; NARDI, S. Humic-like substances from agro-industrial residues affect growth and nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L.) plantlets. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 129, p. 103-111, 2013.

INMET. Estações e Dados. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2020.

KANZLER, D.; BUZINA, W.; PAULITSCH, A.; HAAS, D.; PLATZER, S.; MARTH, E.; MASCHER, F. Ocorrência e relevância higiênica de fungos na água potável. *Mycoses*, v.51, p. 165-169, 2007.

KLICH, M.A.; PITT, J. I. Um guia de laboratório para espécies comuns de *Aspergillus* e seus teleomorfos. North Ryde: CSIRO, Divisão de Processamento de Alimentos, 116 p, 1988

KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. São Paulo: ESALQ/USP. 229p, 2003.

LIMA, A. K. S. D.; RODRIGUES, J. R.; SOUZA, I. D. S. D.; RODRIGUES, J. C.; SOUZA, T. C. D.; MAIA, C. R.; FERNANDES, O. C. C. Fungos isolados da água de consumo de uma comunidade ribeirinha do médio Rio Solimões, Amazonas-Brasil: potencial patogênico. *Revista Ambiente e Água*, v. 12, n. 6, p. 1017-1024, 2017.

MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. F.; RODRIGUES, J. R. Uso agrícola de solos brasileiros. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Soils, 2002.

MEDEIROS, F. Anuário Peixe BR da piscicultura. São Paulo: Peixes BR, 2019. Acesso em: 05 de junho de 2020.

MEKONNEN; H. A pegada hídrica verde, azul e cinza de animais e produtos de origem animal: valor da água. Relatório de Pesquisa, 2010.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S. Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água. *Ciência Animal*, v. 25, n. 1, p. 133-154. Fortaleza, 2015.

PEIXEBR. Anuário da Piscicultura Brasileira. Edição 2019. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-peixe-br-da-piscicultura-2019/>. Acesso em: 03 Mar. 2021.

PINHEIRO, C. A. M.; PINHEIRO, R. S.; SANTOS, W. H. L.; SERRA, I. M. R. S.; SANTOS, D. M. S. Qualidade da água e incidência de fungos em peixes oriundos de pisciculturas do município de São Luís–Maranhão. *Pesquisa em foco*, v. 20, n. 1, 2015.

PIZZEGHELLO, D.; ZANELLA, A.; CARLETTI, P.; NARDI, S. Chemical and biological characterization of dissolved organic matter from silver fir and beech forest soils. *Chemosphere*, v. 65, n. 2, p. 190-200, 2006.

QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C.; SILVEIRA, M. P. Coleta e preparação de amostras de sedimentos de viveiros de aquíicultura. Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 2004.

RIBEIRO-NETO, T. F.; DA SILVA, A. H. G.; GUIMARÃES, I. M.; GOMES, M. V. T. Piscicultura extensiva na bacia do baixo rio São Francisco, no estado de Sergipe, Brasil Acta Fish, v. 4, n 1, p.62-69, 2016.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

RODRIGUES, S. J. S.; DE SIQUEIRA, V. M. Riscos biológicos associados à água de cisternas do município de Serra Talhada, PE. Revista Nordestina de Ciências Biológicas, v. 1, n. 01, p. 26-34, 2018.

ROJAS, N. E. T.; SANCHES, E. G. Considerações sobre a implantação e o manejo de sistemas aquaculturais esportivos. In: ESTEVES, K. E.; SANT'ANA, C. L. Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo. São Paulo: RIMA, v.12, p. 177-200, 2006.

SCAGLIA, B.; POGNANI, M.; ADANI, F. Evaluation of hormone-like activity of the dissolved organic matter fraction (DOM) of compost and digestate. Science of the Total Environment, v. 514, p. 314-321, 2015.

SILVA, M.S.G.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. Jaguariúna: EMBRAPA. Meio Ambiente, 2013.

WANG, X.; SUN, C.; SHIXIANG, G.; WANG, L.; SHUOKUI, H. Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus*. Chemosphere, v. 44, n. 8, p. 1711-1721, 2001.

YAMAGUCHI, M. U. et al. Leveduras e fungos filamentosos em água mineral engarrafada e água da torneira de suprimentos municipais. Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia, v. 50, n.1, 200.

3.2 ARTIGO CIENTÍFICO II

Artigo científico a ser encaminhado a Revista **Water**.

Todas as normas de redação atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma e a posição das imagens, as quais estão localizadas ao longo do texto.

MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA REUTILIZADAS PARA CULTIVO DE TILÁPIA E CAMARÃO

RESUMO

O presente estudo avaliou as variáveis físico químicas de qualidade da água em reuso para cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o camarão (*Litopenaeus vannamei*) usando a tecnologia de bioflocos (BFT). A qualidade da água analisada com base nos atributos físico-químicos são: temperatura, oxigênio dissolvido, pH e salinidade. Além do monitoramento para amônia total, nitrito, nitrato, alcalinidade e sólidos suspensos totais. Os resultados nas análises de qualidade da água usando diferentes fontes de carbono: açúcar, melão, fécula de mandioca, trigo e o controle para BFT representam uma importante alternativa para reuso de água com baixas reposições. O monitoramento da qualidade de água alcançou os melhores resultados foram usando o açúcar trigo e o melão como fonte de carbono, sendo o cultivo com açúcar o que apresentou maiores entraves. No entanto, pode-se concluir que é possível a reutilização de água em cultivos com reposições mínimas, desde que haja um monitoramento e manejo adequado para mitigar os impactos ambientais.

Palavras-chave: aquicultura; reutilização de água; impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma das principais fontes de alimento, nutrição, renda e meios de subsistência. Contudo, as atividades convencionais raramente são sustentáveis, tendo como produto efluentes ricos em nutrientes, podendo gerar impacto ambiental se lançado diretamente no corpo hídrico (KONNERUP et al., 2011). Para isso, novas tecnologias são necessárias para a aquicultura, visando alcançar o desenvolvimento sustentável com maior produtividade e menor impacto ambiental (ROBLES-PORCHAS et al., 2020).

Neste contexto, surgiu o cultivo em Biofloc (Biofloc Technology - BFT), técnica desenvolvida para mitigar os impactos ambientais minimizando a descarga de efluentes (AVNIMELECH, 2007). Sua técnica tem como finalidade realizar o controle de qualidade de água por meio da adição do carbono no cultivo (CRAB et al., 2012). Nessa técnica, os nutrientes

residuais da aquicultura são mineralizados por microrganismos e transformados em matéria orgânica e nutrientes (ROBLES-PORCHAS et al., 2020).

Durante esse processo ocorre a eutrofização, fenômeno que está associado ao aumento excessivo da produção de biomassa de produtores primários, geralmente causado pela elevada concentração de nutrientes (HUTCHINSON, 1957). O aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo são as principais causas da eutrofização em ecossistemas continentais (MACEDO e SIPAUBA-TAVARES, 2018). Desta maneira, a concentração de nutrientes nos efluentes pode provocar inúmeras alterações físicas e químicas no corpo d'água receptor, entre elas, variações no pH, responsável por mortalidade de peixes devido ao desequilíbrio ambiental (BEVERIDGE et al., 1991; TALBOT e HOLE, 1994).

As pesquisas demonstram a produção e eficiência da ciclagem de nitrogênio no uso do BFT, que acontece através do consumo da ração e dos microrganismos que são capazes de converter o nitrogênio em alimento para os organismos aquáticos. As fontes de alimento das bactérias heterotróficas do BFT, geralmente são os subprodutos da indústria alimentar, geralmente as fontes de carbono são: melão, açúcar, trigo e fécula de mandioca (EMERENCIANO et al., 2013; AVNIMELECH, 1999; SILVA, 2016).

As pesquisas demonstram resultados positivos quanto a eficiência do nitrogênio presente no ambiente de cultivo, por meio do consumo de ração e da biomassa dos microrganismos sendo estimulada pelas fontes de carbono orgânico (EMERENCIANO et al., 2013). Para um sistema de cultivo ser bem sucedido é necessário garantir a qualidade da água e dos sistemas intensivos. A qualidade da água é um dos maiores problemas, o acúmulo de formas tóxicas de nitrogênio inorgânico são altamente danosos para os animais aquáticos (AVNIMELECH, 2009; GROSS et al., 2000).

Existem muitos estudos sobre o uso do BFT, grande parte deles são direcionados para a relação C:N na água, efeito das fontes de carbono, densidades de estocagem e afins. Sendo assim, pesquisas sobre a qualidade da água usando modelos múltiplos e análise multivariada para explicar os aspectos do cultivo com o BFT ainda permanecem inexistentes.

Logo, informações sobre a relação C:N são essenciais para entender as dinâmicas dos cultivos limnológicos. Este estudo, apresenta o monitoramento de qualidade da água em ambientes eutrofizados para cultivo de tilápia e camarão baseado na tecnologia de bioflocos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Experimentação de Organismos Aquáticos (LEOA) da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), Serra Talhada, PE, Brasil. A pesquisa foi baseada em resultados de qualidade da água de experimentos que ocorreram em 2014, 2015 e 2017, com cultivo de camarão (*Litopenaeus vannamei*) e tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com licença da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA - B10) nº 70/2017, processo Nº 23082.006461/2017-85 (Tabela 1).

Tabela 1: Apresentação das características dos experimentos com *Oreochromis niloticus* e *Litopenaeus vannamei* na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST/UFRPE em 2014, 2015 e 2017.

| Experimentos | Período | Tempo/dias | Características |
|---------------------------------|---------|------------|--------------------|
| 1. <i>Oreochromis niloticus</i> | 2014 | 107 | Alevinagem |
| 2. <i>Oreochromis niloticus</i> | 2015 | 63 | Engorda de tilápia |
| 3. <i>Litopenaeus vannamei</i> | 2017 | 28 | Berçário |

Procedimentos experimentais

No primeiro experimento foi avaliada a qualidade da água no cultivo de Tilápia em sistema de tecnologia de biofloco (BFT), utilizando diferentes fontes de carbono e relações carbono: nitrogênio (C:N). O delineamento experimental utilizado foi o arranjo fatorial 2 x 3, contendo duas relações C:N e três fontes de carbono (açúcar, melão e fécula de mandioca).

No segundo estudo foi realizada uma investigação sobre o efeito da adição de melão em diferentes relações C:N na qualidade da água de Tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivada em BFT. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado com aplicação de melão nas relações C:N (10:1 e 20:1) e um controle (sem aplicação).

O terceiro experimento foi realizado com o cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* durante a fase de berçário em sistema BFT, utilizando quatro fontes de carbono: melão (ME), trigo (TR), fécula de mandioca (FE), açúcar (AC) e o controle (CT). O delineamento experimental inteiramente casualizado, foi composto por 5 tratamentos e 4 repetições.

Os experimentos foram realizados em tanques circulares de polietileno com capacidade útil de 20 L e tanques circulares de fibra de vidro com capacidade útil de 800 L de água. Todos

os tanques foram cobertos com telas de proteção, e não houve renovação de água, sob aeração constante e submetidos a fotoperíodo natural. Os reservatórios foram abastecidos com água de cultivos anteriores que utilizaram a mesma fonte de carbono para indução ao meio heterotrófico. A reposição das perdas por evaporação foi feita com água de poço artesiano filtrada em 200 µm e aerados individualmente com quatro pedras de aeração/tanque, alimentadas por um compressor radial (2 CV).

Para estimular a formação dos agregados microbianos nos tratamentos, foi acrescentada diariamente as fontes de carbono orgânico, seguindo o descrito por Ebeling et al. (2006) na relação carbono (C): nitrogênio (N) a fim de favorecer o desenvolvimento de bactérias heterotróficas.

Variáveis de qualidade de água

Os atributos físicoquímicos: oxigênio dissolvido (OD) (mg L^{-1}), sólidos dissolvidos totais (SDT) (mg L^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), potencial de oxirredução (ORP) (mV), pH e condutividade elétrica (CE) (mS cm^{-1}) foram monitorados diariamente usando uma sonda multiparâmetro (YSI ProPlus) e a salinidade (g L^{-1}) por meio de um refratômetro ótico.

Durante os cultivos, as coletas de água ocorreram semanalmente para análise de nitrogênio amoniacal total (NAT) ($\text{N} - (\text{NH}_4 + \text{NH}_3)$) (mg L^{-1}), nitrito (N-NO_2) (mg L^{-1}), nitrato (N-NO_3) (mg L^{-1}), fosfato inorgânico (P-PO_4) (mg L^{-1}), sólidos suspensos totais (SST) (mg L^{-1}).

O NAT, nitrito, nitrato, fosfato inorgânico e alcalinidade foram mensurados por meio de um fotômetro (YSI 9500).

Análise estatística

Todos os dados das análises de qualidade da água em estudos com tecnologia de BFT foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homocedasticidade de Bartlett ($p < 0,05$). Uma vez que não foi constatada a normalidade da amostra e nem a homogeneidade das variâncias, foi aplicada ANOVA não paramétrica Kruskal- Wallis seguida do teste *post hoc* Student Neuman Keuls (SNK) ($p < 0,05$) para comparação das medianas entre os tratamentos.

Para avaliar a influência dos atributos físicoquímicos e dias de cultivo nos diferentes tratamentos (Controle; Açúcar; Melão; Fécula de mandioca e Trigo), os dados foram inicialmente padronizados usando o transformador logarítmico. Em seguida, foi realizada uma

Análise Discriminante (DA) com correção de Bonferroni ($p < 0,05$). Para essas análises, foi utilizado o software Past, versão 3.07 (HAMMER et al., 2001).

Para analisar a possível influência do tempo de cultivo (em dias) e de fatores abióticos (oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, pH e sólidos suspensos totais,) na concentração de amônia, fosfato, nitrito e nitrato foi criado um modelo linear generalizado a partir de regressão linear múltipla. Para selecionar as variáveis significativas no modelo, foi utilizado o processo de *stepwise*, associado ao transformador de Box e Cox (BOX e COX, 1964) simplificado. Para avaliar a consistência do modelo, foram utilizadas a estatística “F” da análise de variância para regressão ($p < 0,05$) e o índice determinístico R^2 (MENDES, 1999). Essas análises foram processadas utilizando o software SyEAPRO v.2.

RESULTADOS

Variáveis da qualidade da água

Os valores dos atributos físicoquímicos da qualidade da água foram avaliados durante três experimentos no período de 2014, 2015 e 2017, sob diferentes fontes de carbono (açúcar, melão, trigo e fécula de mandioca) e o controle (Tabela 2). Diante de todos os tratamentos das diferentes fontes de carbono usadas, apenas o trigo e o melão não apresentaram diferenças significativas ($p=0,5482$; Tabela 2), sendo os demais tratamentos estatisticamente distintos (p -valores $< 0,0001$). Os tratamentos com açúcar e trigo foram os que apresentaram maiores distâncias e diferenças (Tabela 2; Figura 1). O AC foi o grupo que apresentou a melhor alocação correta no grupo ao qual ele pertence (86,2%; Tabela 2), indicando a maior diferença dos demais grupos. O ME e o TR (27) foram agrupados nas demais análises por não apresentarem diferenças significativas.

Nota-se, ainda, que os dias de cultivo influenciaram fortemente os atributos da qualidade da água, em que cultivos mais longos apresentaram características mais semelhantes às encontradas no tratamento Açúcar (Figura 1).

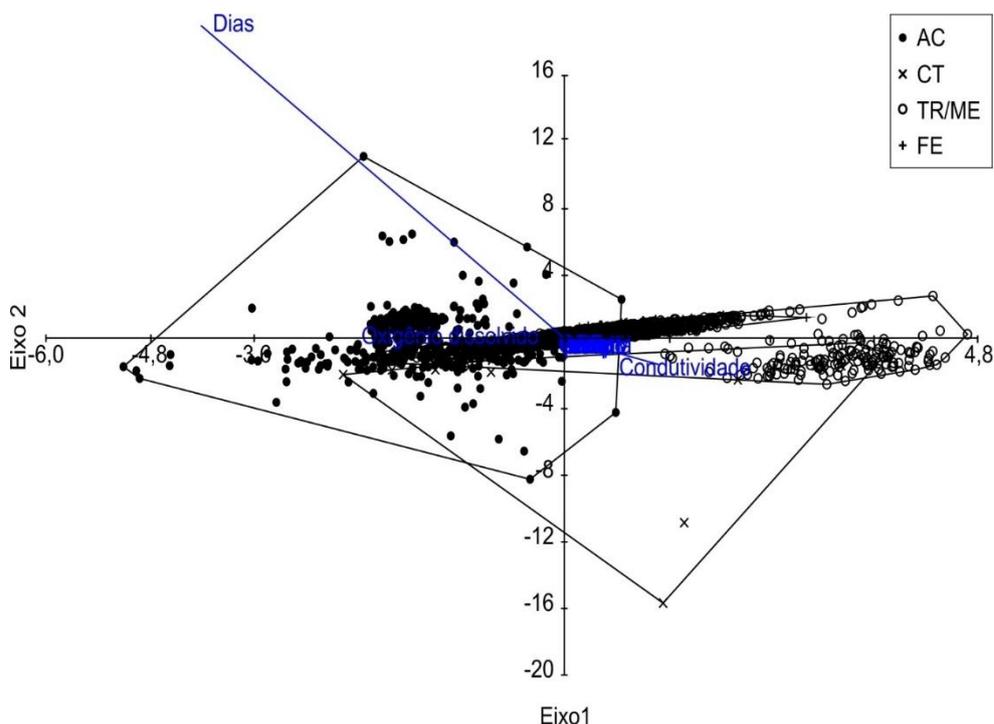


Figura 1: Análise discriminante entre grupos de diferentes fontes de carbono em tecnologia de BFT no período entre 2014, 2015 e 2017. AC: Açúcar; CT: Controle; ME: Melão; FE: Fécula de mandioca e TR: Trigo.

Tabela 2. Alocação correta entre grupos de diferentes fontes de carbono em tecnologia de BFT na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE em 2014, 2015 e 2017. AC: Açúcar; CT: Controle; ME: Melão; FE: Fécula de mandioca e TR: Trigo.

| | AC | CT | ME | FE | TR |
|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| AC | 381 | 53 | 0 | 60 | 01 |
| CT | 02 | 11 | 02 | 0 | 01 |
| ME | 29 | 66 | 306 | 338 | 333 |
| FE | 27 | 0 | 08 | 410 | 105 |
| TR | 0 | 0 | 04 | 05 | 27 |
| Total | 442 | 130 | 400 | 813 | 407 |
| Alocação correta | 86,2% | 8,46% | 76,5% | 50,43% | 6,63% |

Classificação da correlação: 50,53%.

Ao analisar as variáveis físicoquímicas, os valores medianos encontrados nos diferentes tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). A temperatura apresentou menores valores no tratamento AC, em oposição à condutividade, salinidade e SDT, que foram maiores que os demais tratamentos. ORP foi a variável que não sofreu influência dos diferentes

tratamentos, enquanto a temperatura e o pH apresentaram aumentos significativos entre AC, FE e ME/TR, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Valores das medianas (máximo e mínimo entre parêntesis) dos atributos da qualidade da água em cultivo de *Oreochromis niloticus* e *Litopenaeus vannamei* usando a tecnologia de BFT realizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE em 2014, 2015 e 2017. AC: Açúcar; CT: Controle; ME: Melaço; FE: Fécula de mandioca e TR: Trigo. ORP Potencial de Oxirredução; SDT: sólido dissolvido total.

| | CT | AC | FE | ME/TR |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Temperatura (°C) | 25,2bc (20,2/29,0) | 21,8a (19,7/26,2) | 24,4b (20,7/29,4) | 25,1c (20,5/30,8) |
| pH | 7,9a (7,8/8,1) | 7,9a (7,1/8,5) | 8,0b (7,8/9,3) | 8,1c (7,8/8,6) |
| OD (mg L ⁻¹) | 7,1ab (5,7/9,3) | 7,0a (4,8/13,9) | 7,3b (4,4/14,7) | 7,2b (4,0/14,5) |
| ORP (mg L ⁻¹) | 135,7a (120,7/188,8) | 137,7a (93,3/199,5) | 146,2a (81,5/366,0) | 144,3a (84,2/358,4) |
| Condutividade (mS cm ⁻¹) | 6971ab (5151/9084) | 5370b (4113/9416) | 4214a (4089/9168) | 4222a (4004/9182) |
| Salinidade (g L ⁻¹) | 3,9ab (3,1/5,0) | 4,6b (2,4/5,1) | 2,9a (2,1/5,1) | 3,0a (2,3/5,1) |
| SDT (g L ⁻¹) | 4010ab (3627/5852) | 5351b (2970/5937) | 3573a (2099/5951) | 3562a (2257/5943) |

Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes $p < 0,05$.

A concentração de amônia no cultivo foi influenciada pelo tempo de cultivo, diminuindo as concentrações, e pela adição da interação da temperatura e potencial de oxirredução. A interação do pH e condutividade influenciaram na diminuição das concentrações de fosfato. O aumento do pH também diminuiu as concentrações de nitrato, em conjunção à temperatura. Já as concentrações de nitrito foram alteradas pela influencia apenas da temperatura da água. Todos os modelos apresentaram $p < 0,05$ e R^2 superior a 37,99% (Tabela 4).

Tabela 4. Valores das medianas (máximo e mínimo entre parêntesis) das concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato (variáveis independentes do modelo) e modelos múltiplos (com valor de R^2 e p-valor) ORP: Potencial de Oxirredução.

| Atributos | Concentrações | Modelo | R^2 | p - valor |
|-------------------------------|----------------------|---|--------|-----------|
| Amônia (mg L ⁻¹) | 0,66 (0,0/2,3) | Amônia = 1,9 – dias + temperatura x ORP | 37,99% | 0,0025 |
| Fosfato (mg L ⁻¹) | 49,05 (34,5/86,0) | Fosfato = 1027 – pH x condutividade | 64,86% | 0,0027 |

| | | | | |
|-------------------------------|---------------------|--|--------|--------|
| Nitrato (mg L ⁻¹) | 22,0 (1,7/ 26,0) | Nitrato = 1533 – 19temperatura – 137pH | 60,87% | 0,0374 |
| Nitrito (mg L ⁻¹) | 1,07 (0,11/1,90) | Nitrito = 34,8 – 1,7temperatura | 40,53% | 0,0014 |

DISCUSSÃO

O oxigênio dissolvido é a segunda variável mais importante em um cultivo, pois a aeração é fundamental para a sobrevivência de microrganismos na água e indispensável para a ciclagem dos nutrientes. As concentrações oscilaram em torno de 7,2 mg L⁻¹, indicando que a aeração projetada foi satisfatória para manter o nível de oxigênio adequado na água em todos os tratamentos, mesmo considerando os valores mais baixos durante as oscilações de concentrações.

Os valores para pH próximo a 8,0 está inserido na faixa ideal (entre 7,0 e 8,0) para cultivo, em que valores abaixo podem comprometer o desenvolvimento das espécies, inclusive dos microrganismos (AVNIMELECH, 2009). O pH é uma variável que influencia em quase todas as reações químicas que ocorrem na água, além de interferir nos processos fisiológicos dos animais.

A salinidade e o potencial de oxirredução estiveram dentro da faixa ideal, que, segundo Sá (2012), devem apresentar valores entre 0,5 a 40 g L⁻¹ e segundo Avnimelech (2009), entre 100 e 320 mV, respectivamente, indicando um ambiente aeróbio, importante para evitar o surgimento de substâncias tóxicas anaeróbicas (sendo fatores determinantes para o crescimento).

É importante levar em consideração a quantidade de sólidos dissolvidos totais presente na água, principalmente em sistemas fechados. O excesso de nutrientes na água pode levar ao acúmulo indesejado de sólidos e conseqüentemente uma eutrofização da água. Os valores máximos para SDT se apresentaram acima do recomendado de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005 (3399 e 4181 g L⁻¹), porém, os valores medianos se mativeram na margem aceitável, exceto para o tratamento com açúcar.

As concentrações de nitrito, nitrato, amônia, fosfato e alcalinidade permaneceram abaixo dos níveis considerados tóxicos (LIN e CHEN, 2003).

Nos tratamentos de diferentes fontes de carbono, o melão, trigo e fécula de mandioca apresentaram as menores concentrações de SDT quando comparados ao CT (controle), isso ocorre devido a maior solubilidade das fontes de carbono para as bactérias heterotróficas (SILVA, 2016). As bactérias heterotróficas aceleram o crescimento quando são fornecidas

diferentes fontes de carbono pois estimulam uma absorção mais acelerada do nitrogênio em comparação com os métodos convencionais (controle) (EMERENCIANO et al., 2007).

É possível observar que a qualidade físicoquímica da água apresentou modificações ao longo dos experimentos de acordo com cada tratamento. O reuso de água, aplicada a tecnologia de bioflocos é uma alternativa interessante e indispensável para mitigar o impacto ambiental gerado pelo método de cultivo convencional, principalmente em locais no semiárido com recursos hídricos limitados. O único fator limitante da técnica BFT é apresentar um elevado custo de implantação e mão de obra especializada.

CONCLUSÃO

Com isso, o uso da tecnologia de bioflocos é uma solução indispensável com reposições mínimas de água capazes de mitigar os impactos ambientais, principalmente em locais com baixa disponibilidade hídrica. O monitoramento da qualidade de água alcançou os melhores resultados usando o trigo e o melão como fonte de carbono, sendo o cultivo com açúcar o que apresentou maiores entraves.

REFERÊNCIAS

- APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19. ed. Washington, US: A.P.H.A/ A.A.W.W.A / W.E.F. p. 1082, 1995.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 176, p. 227-235, 1999.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, v.264, p.140–147, 2007.
- BEVERIDGE, M.C.M.; PHILLIPS, M.J.; CLARKE, R.M. A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. In: BRUNE, D.E. e TOMASSO, J.R. (eds.) *Aquaculture and water quality*, Clemson University, USA. p.506-533, 1991.
- BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, Seção 1, p. 58-63, 2005.
- BOX, G. E. P e COX, D. R. 1964. An analysis of transformation. *Journal Royal Statistical Society Serie B*. v.26, p.211-243.

CRAB, R., DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, v.356-357, p.351-356, 2012.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 257, p. 346-358, 2006.

EMERENCIANO, M.G.C.; WASIELESKY, W.; SOARES, R. B.; BALLESTER, E. C.; IZEPPI, E.M.; CAVALLI, R.O. Crescimento e Sobrevivência do Camarão-Rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase berçário em meio heterotrófico. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.29, n.1, p.1-7, 2007.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass now-cultivation and utilization*, p. 301-328, 2013.

HAMMER, O.; HARPER DAT, e RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. v. 4, 2001.

HUTCHINSON, G.E. 1957 *A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry*. v.1, New York: John Wiley & Sons. 1.015p.

KONNERUP, Dennis; TRANG, Ngo Thuy Diem; BRIX, Hans. Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, v. 313, n. 1-4, p. 57-64, 2011.

KUBITZA, F. *Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial*. 2.ed. rev. ampl. Jundiaí: Acqua Supre Com. Suprim. Aquicultura, 2011. 316p.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2018.

MENDES, P.P. *Estatística aplicada à Aquicultura*. Recife-PE. Ed. Bargaço, 265p, 1999.

ROBLES-PORCHAS, G. R.; GOLLAS-GALVÁN, T.; MARTÍNEZ-PORCHAS, M.; MARTÍNEZ-CORDOVA, L. R.; MIRANDA-BAEZA, A.; e VARGAS-ALBORES, F. The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2228-2249, 2020.

SILVA, U. L. FALCON, D. R.; PESSOA, M. N.; CORREIA, E. S. CARBON SOURCES AND C:N RATIOS ON WATER QUALITY FOR NILE TILAPIA FARMING IN BIOFLOC SYSTEM. *Revista Caatinga*, v.30, p. 1017 – 1027, 2017.

TALBOT, C. e HOLE, R. Fish diets and the control of eutrophication resulting from aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, Germany, 10: 258-270, 1994.

