

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E
RECURSOS PESQUEIROS

DESEMPENHO PRODUTIVO DA MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*)
E DO TAMBACUI (*Colossoma macropomum*) SUBMETIDOS A
BAIXA SALINIDADE EM SISTEMA BFT

THIAGO MARINHO PEREIRA

MANAUS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E
RECURSOS PESQUEIROS

THIAGO MARINHO PEREIRA

DESEMPENHO PRODUTIVO DA MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*)
E DO TAMBQUI (*Colossoma macropomum*) SUBMETIDOS A
BAIXA SALINIDADE EM SISTEMA BFT

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Animal e Recursos Pesqueiros, área de concentração em Produção Animal

Área de Concentração: Produção Animal

Linha de Pesquisa: Biotecnologia Aplicada a Zootecnia e Recursos Pesqueiros

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Rocha Aride

Co-Orientador: Prof. Dr. Adriano Teixeira de Oliveira

MANAUS

2020

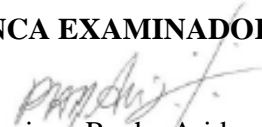
THIAGO MARINHO PEREIRA

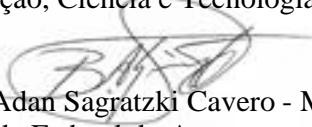
Desempenho produtivo de matrinxã e tabaqui submetidos a baixa salinidade em sistema BFT

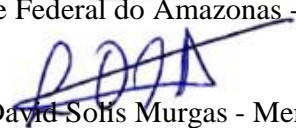
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, área de concentração em Uso Sustentável de Recursos Pesqueiros Tropicais.

Aprovado em 06 de outubro de 2020.

BANCA EXAMINADORA


Dr Paulo Henrique Rocha Aride - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM


Dr Bruno Adan Sagratzki Cavero - Membro
Universidade Federal do Amazonas - UFAM


Dr Luis David Solis Murgas - Membro
Universidade Federal de Lavras - UFLA


Dr Lian Valente Brandão - Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA


Dr Charles Hanry Faria Junior - Membro
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

P436d Pereira, Thiago Marinho
Desempenho produtivo da matrinxã (*Brycon amazonicus*) e do tambaqui (*Colossoma macropomum*) submetidos a baixa salinidade em sistema BFT / Thiago Marinho Pereira . 2020
118 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Paulo Henrique Rocha Aride
Coorientador: Adriano Teixeira de Oliveira
Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. bioflocos. 2. baixa salinidade. 3. aquicultura. 4. hematologia. 5. custo de produção. I. Aride, Paulo Henrique Rocha. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

DEDICATÓRIA

A Deus, nosso criador e operador de todas as coisas. A meus pais, Socorro e Sebastião, por me conduzirem até aqui. A minha família, que vibra com cada conquista minha. Ao meu amigo-irmão, Paulinho, que sempre me acompanha e que, com certeza, está muito feliz em ver onde cheguei. E, em especial, a minha pequena Maria Valentina, que um dia poderá ver que a ela dediquei esta obra.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve comigo. Que sempre foi comigo a todos os lugares. E que tenta me ensinar, por meio dos acontecimentos de minha vida, a sempre buscar ser alguém melhor e digno da minha existência.

Ao meu pai, Sebastião, que sempre foi um modelo para mim. Sempre foi cuidadoso comigo. Nunca me desamparou. Sempre esteve ao meu lado em todos os momentos importantes da minha vida.

A minha mãe, Socorro, que sempre trabalhou e tentou de tudo para que nada nos faltasse em casa. Sempre me incentivou a buscar novos caminhos. Sempre me apoiou em minhas decisões, muitas vezes mesmo a contragosto.

A minha filha, Maria Valentina, minha companheirinha. Que adora ir comigo a todos os lugares, inclusive visitando o laboratório onde conduzi meus experimentos. Aqui também cabe uma menção especial a Iris e Dona Zadir, mãe e avó, que cuidam dela com bastante zelo e carinho, algo crucial para minha integral dedicação ao período de coleta de dados de meu experimento.

Ao meu irmão, Pedro, grande companheiro que tive na infância. Eu não poderia ter tido outro irmão melhor. Sempre estivemos juntos. Brincamos juntos. E agora posso ver o excelente pai e marido que se transformou

Ao meu tio Marinho e tia Clara, que sempre me acolheram como um filho em suas casas. Casas que sempre chamei de segundo lar.

A minha tia Maria que, mesmo de longe, nunca deixou de me apoiar e torcer pelo meu sucesso.

A minha tia Edilza. Eternamente, minha segunda mãe.

Aos meus primos, João Victor e Luiz Eduardo, que amo incondicionalmente e que são pais, amigos e pessoas extraordinárias. Não existe uma pessoa no mundo que não goste deles ou, de ambos, fale mal. Isso é bastante inspirador para mim.

Aos meus tios Iza e Miguel. Muito obrigado por todo o amor e carinho que sempre se fizeram presentes durante toda a minha trajetória de vida.

Ao meu amigo e eterno mestre, Prof. Bruno Cavero. No passado, meu orientador de PIBIC e TCC. Hoje, parceiro incondicional de trabalho e amigo para todas as horas. Meu segundo pai e pai científico-profissional. Sem a sua presença na minha carreira acadêmica, jamais teria chegado até aqui. E também a sua esposa Joana, minha eterna patroa, que sempre foi uma ótima anfitriã para os momentos sociais da Ecology Ambiental, além de ter sido fundamental na liberação dos recursos financeiros para a montagem da infraestrutura do laboratório.

A minha amiga Élide e sua mãe Dona Maria Izabel, que me tratam com todo o carinho do mundo, sendo, para mim, as duas pessoas mais importantes em Santarém.

Ao meu amigo Fernando, parceiro de várias horas de cerveja, pinga, churrasco e resenha. Ele deve achar que não, mas me ensinou muita coisa e sempre será um exemplo para mim.

Aos membros do grupo “Dominó BAD GRANDPA F_D_O” (Primo Vito, Adriano, Batata, Claudio, David, Djawando, Emerson, Caju, Leso, Paulo, Roque, Ciro Vovô e João) que sempre me mantiveram rindo e informado sobre todos os últimos acontecimentos menos importantes, porém relevantes, do mundo.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Aride, que sempre estendeu a mão para os momentos em que mais precisei de seus conselhos e direções sobre a condução deste trabalho. Sempre me deu força nos momentos mais difíceis, principalmente após a minha primeira Aula de Qualificação. Sem sua ajuda, teria sido impossível a realização desta Tese com a robustez que para qual foi planejada.

A Profa. Anete Rubim, modelo e inspiração para mim como docente. Além de ter cedido sua sala para que eu pudesse ter um espaço físico de estudos na UFAM, sempre me tratou com bastante cordialidade. Impossível, por ela, não sentir bastante apreço e carinho.

A Profa. Christiane Oliveira, pela cessão dos equipamentos, bolsistas e espaço físico do Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos para a realização das análises hematológicas.

A Laiza Sarmiento e Cindy Farias, bolsistas do Laboratório de Inovações Tecnológicas para a Aquicultura, que foram de fundamental importância para a correta coleta das informações e condução dos experimentos planejados. O sucesso desse trabalho se deve em bastante medida a dedicação e empenho que sempre tiveram durante o desempenho de suas atividades.

Ao corpo docente do Bacharelado em Engenharia de Pesca e do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas da Universidade Federal do Oeste do Pará que entenderam ser relevante minha liberação para a realização dos experimentos desta Tese.

As coordenadoras, Profas. Flávia Souza e Kedma Yamamoto, e a secretária do PPG-CARP, Antônia, pela dedicação, cordialidade e disponibilidade.

A todos os docentes do PPG-CARP por todas as disciplinas e conhecimento adquirido desde minha primeira entrada no programa, em 2013.

E a todos que deixei de citar, fiquem certos que igualmente foram fundamentais para minha formação e meu senso de humanidade e de responsabilidade. A vocês todos, sem exceção, meus mais sinceros votos de agradecimento e estima.

“Deveis amar a paz como um meio de
novas guerras, e mais a curta paz do que a prolongada.
Não vos aconselho a paz, mas a vitória. Seja o vosso
trabalho uma luta!
Seja vossa paz uma vitória!”

Friedrich Nietzsche
Filósofo alemão
(1844-1900)
Assim falava Zaratustra

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo 02: Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade

Figura 1. Níveis de amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) e nitrito (NO_2^-) apresentados pela criação de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias 51

Figura 2. Sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}) apresentados pela criação de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias 52

Figura 3. Valores individuais do fator de condição relativo (Kn), entorno do valor padrão (1,00), em relação ao peso total (Wt) de juvenis de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias 53

Artigo 03: Aspectos técnicos e econômicos da criação de tambaqui em sistema BFT com água salinizada

Figura 01. Disposição do sistema BFT usado para produção de tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante o período experimental.....77

Artigo 04: Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade

Figura 01. Valores individuais do fator de condição relativo (Kn), entorno do valor padrão (1,00), em relação ao peso total (Wt) de juvenis de *C. macropomum* e *B. amazonicus* criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias.....105

LISTA DE TABELAS

Artigo 01: Tecnología BFT: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana

Tabla 1. Cálculos para adición de carbono al medio acuático.....	32
Tabla 2. Relaciones C:N presentes en alimentos según contenido de proteína bruta	32
Tabla 3. Principales parámetros y métodos para la caracterización	34
Tabla 4. Reportes de composición centesimal de bioflocs disponibles en la literatura.....	35

Artigo 02: Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalmidæ) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade

Tabela 1. Parâmetros zootécnicos de juvenis de <i>C. macropomum</i> criados em quatro diferentes salinidades durante 35 dias.....	52
Tabela 2. Condições hematológicas e de bem-estar (fator de condição) de juvenis de <i>C. macropomum</i> criados em quatro diferentes salinidades durante 35 dias.....	53

Artigo 03: Aspectos técnicos e econômicos da criação de tambaqui em sistema BFT com água salinizada

Tabela 01. Detalhamento do cálculo do custo de produção e indicadores de análise da viabilidade econômico-financeira para a criação de peixes (Adaptado de Santos-Filho et al. 2016; Feitoza et al. (2018).....	78
Tabela 02. Dados zootécnicos usados para a análise comparativa da viabilidade econômico-financeira entre dois sistemas usados na criação de tambaqui (tradicional e BFT) e o sistema RAS para criação de tilápia.....	79
Tabela 03. Custo unitário e caracterização de máquinas, equipamentos e insumos para criação de tambaqui em sistema BFT com água salinizada.....	85
Tabela 04. Recomendações para tamanho de peletes (mm) e proteína bruta (%) na dieta alimentar extrusada de peixes onívoros (Adaptado de Kubitzka, 2009a).....	86
Tabela 05. Análise comparativa entre os custos de produção e os indicadores de análise de resultado de rentabilidade para criações de tambaqui e tilápia em três diferentes sistemas de produção.....	88

Artigo 04: Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade

Tabela 01. Parâmetros físicos da água de criação de juvenis de <i>C. macropomum</i> e <i>B. amazonicus</i> submetidos à salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias.....	103
Tabela 02. Parâmetros zootécnicos de juvenis de <i>C. macropomum</i> e <i>B. amazonicus</i> criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias.....	104
Tabela 03. Condições hematológicas e de bem-estar (fator de condição) de juvenis de <i>C. macropomum</i> e <i>B. amazonicus</i> criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias.....	104

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
ORGANIZAÇÃO GERAL DA TESE.....	14
RESUMO.....	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo Geral	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3. REFERÊNCIAS	23
ARTIGO 01 – Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana.....	26
ARTIGO 02 – Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de <i>Colossoma macropomum</i> Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade	44
ARTIGO 03 – Aspectos técnicos e econômicos da criação de tambaqui no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade	70
ARTIGO 04 – Frequência alimentar alternativa para a recria de <i>Brycon amazonicus</i> Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e <i>Colossoma macropomum</i> Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade	97
CONCLUSÃO GERAL	118

ORGANIZAÇÃO GERAL DA TESE

Essa Tese de Doutorado possui é a segregada em dois momentos específicos. A primeira é uma parte introdutória, contendo:

- a) Resumo e Abstract;
- b) Introdução Geral;
- c) Objetivos (Geral e Específicos);
- d) Referências

Em seguida, o desenvolvimento da Tese de Doutorado foi feito por meio da confecção de quatro artigos científicos gerados a partir da análise das hipóteses e dos objetivos específicos correlatos a este trabalho. São eles:

a) Artigo 01: “Tecnología BFT: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana”. Este artigo foi publicado no periódico *Brazilian Journal of Development* (ISSN: 2525-8761 – Qualis/Capes B2).

b) Artigo 02: “Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade”. Este segundo artigo será submetido ao periódico *Aquaculture Research* (ISSN: 1365-2109 – Qualis/Capes A1).

c) Artigo 03: “Aspectos técnicos e análise econômica do cultivo de tambaqui no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade”. Este terceiro artigo será submetido ao periódico *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* (ISSN: 1981-9951 – Qualis/Capes A4).

d) Artigo 04: “Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade”. Este quarto artigo será submetido ao periódico *Aquaculture International* (ISSN: 1573-143X – Qualis/Capes A3).

RESUMO

Os sistemas tradicionais de produção de peixes, em particular os sistemas que utilizam tanques de terra, apresentam limitações com respeito a volumes de produção por unidade de área, quantidade de água requerida e aos espaços onde podem ser instalados, já que a medida que aumenta a demanda mundial por alimentos e controle ambiental, o setor piscícola terá que incorporar novas tecnologias que gerem uma melhor eficiência na produção de organismos aquáticos. Em busca dessa maior eficiência no uso de área e demais recursos naturais foram desenvolvidos alguns tipos de sistemas aquícolas, como o sistema BFT (sigla em inglês para tecnologia no uso de bioflocos), que se baseia na atividade da comunidade microbiana de uma piscina ou tanques para a realização de tratamento da água *in situ*. Portanto, o objetivo geral desta Tese de Doutorado foi o de avaliar o desempenho produtivo da matrinxã e do tambaqui submetidos em sistema BFT sob baixa salinidade. As metodologias empregadas permitiram que fossem realizados dois períodos experimentais: o primeiro avaliou o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos do tambaqui, criado em sistema BFT, em função de quatro diferentes níveis de salinidade: (T1) = 0 ‰; (T2) = 2 ‰; (T3) = 4 ‰; (T4) = 6 ‰; e o segundo analisou o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos de matrinxã e tambaqui submetidos a duas diferentes frequências alimentares em sistema BFT sob baixa salinidade: (*C. macropomum* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*C. macropomum* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas; (*B. amazonicus* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*B. amazonicus* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas. Os dois outros artigos foram escritos com base nos experimentos científicos realizados, sendo que o artigo 03 analisou aspectos técnicos e econômicos da criação de tambaqui em ambiente BFT com baixa salinidade, comparando com a viabilidade deste tipo de criação com os sistemas tradicionais para produção de tambaqui aplicados em três diferentes estados da Amazônia brasileira. Em geral, o desempenho zootécnico não apresentou diferenças estatísticas significativas para nenhum dos tratamentos testados, porém os resultados alcançados pelo tambaqui na salinidade 4 ‰, principalmente relacionado a TCE (%) e CAA, indicam essa salinidade como a mais indicada para o cultivo dessa espécie. Os parâmetros hematológicos, salvo algumas exceções, se mantiveram dentro do padrão estabelecido para matrinxã e tambaqui em ambientes de criação em cativeiro. Em relação a frequência alimentar, não houve diferença fisiológica ou zootécnica para os tratamentos testados, sendo então indicada a salinidade 4‰ e o fornecimento de ração durante cinco dias para cada sete dias de criação de tambaqui e matrinxã em sistemas intensivos BFT. Para criações comerciais, o uso do sistema BFT para criação do tambaqui somente é indicado apenas quando houver a instalação de sistema elétrico on-grid para geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT

Traditional fish production systems, in particular systems that using ponds, have limitations with respect to production volumes per unit area, the amount of water required and the spaces where they can be installed, once the world demand increases for food and environmental control, the fish sector will have to incorporate new technologies that generate a better efficiency in the production of aquatic organisms. Searching increase efficiency in the use of area and other natural resources, some types of aquaculture systems were developed, such as the BFT system (acronym in English for biofloc technology), which is based on the activity of the microbial community of an aquaculture tank for carrying out water treatment *in situ*. Therefore, the general objective of this Thesis of Doctorate was to evaluate the productive performance of matrinxã and tambaqui submitted to the BFT system under low salinity. The methodologies employed allowed two experimental periods to be carried out: the first experiment evaluated the zootechnical performance and the hematological parameters of the tambaqui created in BFT system, according to four different levels of salinity: (T1) = 0‰; (T2) = 2‰; (T3) = 4‰; (T4) = 6‰; the second experiment analyzed the zootechnical performance and the hematological parameters of matrinxã and tambaqui submitted to two different feeding frequencies in BFT system under low salinity: (*C. macropomum* 6/7) = feeding every day, except on Sundays; (*C. macropomum* 5/7) = feeding every day, except on Sundays and Wednesdays; (*B. amazonicus* 6/7) = feeding every day, except on Sundays; (*B. amazonicus* 5/7) = feeding every day, except on Sundays and Wednesdays. The other two articles were written based on the scientific experiments carried out, and article 03 analyzed technical and economic aspects of culture of tambaqui in BFT system with low salinity, comparing with the viability of this type of culture with traditional systems for producing tambaqui applied in three different states of the Brazilian Amazon. In general, zootechnical performance did not show statistically differences for any of the tested treatments ($p > 0,05$), however the results achieved by tambaqui in salinity 4‰, mainly related to SGR (specific growth rate in %) and FCR (feed conversion ratio), indicate this salinity as the most suitable for the cultivation of this species. The hematological parameters, with some exceptions, remained within the established standard for matrinxã and tambaqui in aquaculture conditions. The feeding frequency tested did not shown statistics differences among the treatments. So is indicated the salinity of 4‰ and the supply of food for five days per seven days during the culture of tambaqui and matrinxã in intensive BFT systems. For commercial culture, the use of BFT system for production of tambaqui is only indicated together with the installation of an on-grid electrical system for power generation through photovoltaic panels.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de peixes em escala industrial é algo urgente pelo fato de os recursos pesqueiros mundiais terem alcançado seu limite de exploração, não apresentando mais capacidade de garantir o abastecimento da população do planeta com a atual taxa de crescimento de 1,5% ao ano (FAO, 2020). Seguramente, mantendo-se essa tendência demográfica, a população mundial deve chegar, em 2030, aos 9 bilhões de habitantes, sob um contexto de mudanças climáticas e escassez de recursos hídricos (UN, 2014).

Trazendo esse contexto mundial para a realidade amazônica, sendo a Floresta Amazônica imensa porção florestal que abrange nove diferentes países da América do Sul (Santos e Ribeiro, 2020), é importante ressaltar que essa região tem na atividade pesqueira e que os recursos pesqueiros na Amazônia também já alcançaram seu limite para várias espécies, o que inclusive gerou a institucionalização de mecanismos de defesa biológica desses peixes (período conhecido como “Defeso”, instituído e operacionalizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA), proibindo a pesca de espécies comerciais durante o respectivo período reprodutivo (Brasil, 2004; Brasil, 2005; Brasil, 2007).

Assim, o pescado consumido durante essa época do Defeso é, na maioria dos casos, fornecido por outros estados e regiões do país, encarecendo a aquisição e tornando inviável o consumo por parte da população de menor poder aquisitivo. Para Manaus, durante esta época, a realidade é o de consumo de tambaqui (*Colossoma macropomum*), importados de outros estados como Mato Grosso e Rondônia. Isso gera um contínuo estado especulativo sobre os preços, uma vez que a oferta de peixe está na mão de poucos atravessadores, dificultando o acesso da população de menor renda ao pescado, proteína animal tão importante nutricional e culturalmente aos povos da Amazônia (Feitoza et al., 2018).

Neste caso, o incentivo à produção local de peixes em cativeiro torna-se algo imprescindível. Esta criação de peixes em cativeiro, também conhecida como piscicultura, pode ser útil para diminuir a pressão sobre os estoques pesqueiros naturais, aumentar a oferta de peixes produzidos na região de consumo, facilitando a aquisição do pescado e barateando seu custo aquisitivo por parte do consumidor final. Em um contexto agroecossistêmico, o desenvolvimento da piscicultura também pode auxiliar no maior aproveitamento de áreas anteriormente degradadas por atividades tradicionais do agronegócio, aumentando a renda do produtor rural e diversificando a atividade econômica na região (Barreto et al., 2016).

Os sistemas tradicionais de produção de peixes, em particular os sistemas que utilizam tanques escavados apresentam limitações com respeito a volumes de produção por unidade de área, quantidade de água requerida e aos espaços onde podem ser instalados, já que a medida que aumenta a demanda por alimentos e controle ambiental, o setor piscícola terá que incorporar novas tecnologias que gerem uma melhor eficiência na produção de organismos aquáticos (Emerenciano et al., 2013a).

Em busca dessa maior eficiência no uso de área e demais recursos naturais foram desenvolvidos alguns tipos de sistemas aquícolas, como o sistema BFT (sigla em inglês para tecnologia no uso de bioflocos) Esta tecnologia se baseia na atividade da comunidade microbiana de uma piscina ou tanques para a realização de tratamento da água *in situ*. Uma característica importante do sistema BFT, e que possibilita elevadas densidades de estocagem com pouco uso de água, é a habilidade que o próprio sistema possui em reciclar proteínas e compostos nitrogenados. Na aquicultura tradicional, entre 20-25% do que é ofertado para o animal, em forma de proteína, é descartado seja por excretas seja pelo alimento não-ingirido (Piedrahita, 2003). Então, neste tipo de sistema, a amônia total é convertida em proteína microbiana por meio da adição de fontes de carbono, podendo ser incorporados como proteína pelos organismos aquáticos.

Essa proteína microbiana se origina na bioacumulação de microrganismos que tendem a agregar-se e formar flóculos que podem ser filtrados e consumidos por espécies filtradoras e detritívoras (Crab et al., 2010), como tambaqui, matrinxã (*Brycon amazonicus*), mapará (*Hypophthalmus edentatus*), camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) e de água doce (*Macrobrachium amazonicum*), dentre outras espécies. Por isso, a quantidade de proteína disponível dos cultivos em sistemas BFT é, praticamente, o dobro dos sistemas tradicionais, pois os animais têm, pelo menos, duas chances de consumir aquela proteína dos pellets da ração, já que os compostos nitrogenados não consumidos ou excretados podem ser ingeridos por meio do consumo desses agregados de flóculos ou bioflocos. Se a relação carbono-nitrogênio dentro do sistema estiver propícia para o aparecimento desses microrganismos, as bactérias heterotróficas terão seu crescimento estimulado e o nitrogênio presente no sistema será absorvido por meio da produção de proteínas microbianas (Avnimelech, 1999). Ainda, o sistema BFT consegue prover, *in situ*, lipídios, aminoácidos e ácidos graxos na forma de microbiota diversificada (Emerenciano et al., 2013).

Um fator interessante sobre o sistema BFT é que seu uso está associado ao uso de tanques de geomembrana ou outro material inerte, o que acaba impedindo ou dificultando a ocorrência de patógenos. Atualmente, são várias as ocorrências de patógenos em fazendas de piscicultura na região amazônica, principalmente do parasita *Neoechinorhynchus buttnerae* (Acanthocephala) que ocupa o intestino do animal e impede seu crescimento. Este processo traz prejuízos para os criadores que ofertam ração e não conseguem receber de volta o investimento por meio de ganho de peso do animal. Desde a década de 1990, Malta et al. (2001) já relatavam a ocorrência deste parasita nas fazendas de piscicultura, porém, até os dias atuais ainda não existem fármacos eficientes amplamente testados para o tratamento desta verminose. E a profilaxia que tradicionalmente se faz para limpeza e desinfecção dos tanques, pode não apresentar o efeito desejado, levando ao fechamento de viveiros de piscicultura e causando grandes prejuízos aos produtores regionais.

A partir da adoção do cultivo BFT associado ao uso de tanques de geomembrana, a ausência de substrato natural dificultará o estabelecimento e fixação de parasitas desse tipo, facilitando um maior controle sobre a biossegurança dos empreendimentos aquícolas. Ainda, o ambiente BFT permite o estabelecimento de microrganismos de interesse e dificulta o estabelecimento de microrganismos patógenos não interessantes para o cultivo, como parasitas, vírus, bactérias, fungos, dentre outros (Crab et al., 2010).

É um tipo de tecnologia que já foi empregada com sucesso no cultivo de diversas espécies de peixes, camarões, sobre variadas condições e em diferentes localidades (Azim e Little, 2008; Huang et al., 2012; Baloi et al., 2013; Mahanand et al., 2013; Brol et al., 2017). Sobretudo, por ter uma retórica reducionista, o desenvolvimento e uso da tecnologia BFT auxilia na redução dos custos e utilização de ração, diminui a necessidade hídrica e minimiza a descarga de efluentes de uma produção aquícola. Assim, sobre uma ótica de aumento da produtividade por área, ajuda a diminuir a pressão sobre estoques pesqueiros naturais que estão associados ao contínuo aumento populacional.

No entanto, o contínuo fornecimento de carbono (fonte carbono + ração para manutenção de uma relação carbono-nitrogênio mínima de 6:1) gera uma elevação de resíduos orgânicos no ambiente aquático sob a influência do sistema BFT. Com isso, quatro fatores negativos aparecem e contribuem negativamente com o sucesso do cultivo:

1. Aumento na concentração de sólidos;

2. Aumento na DBO, gerando uma necessidade de aeração contínua;
3. Diminuição do consumo de ração, ocasionando a diminuição da taxa de crescimento específico, em relação aos cultivos em sistema baseados na remoção de compostos nitrogenados pela produtividade primária;
4. Aumento de formas inorgânicas do nitrogênio na água de cultivo, principalmente, o nitrito (NO_2^-).

O nitrito é um composto inorgânico intermediário do ciclo do nitrogênio, gerado a partir da oxidação da amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$). Mesmo em baixas concentrações, o nitrito apresenta elevado grau de letalidade, sendo essa a principal causa de mortalidade em sistemas intensivos aquícolas. Assim que o animal o absorve, o nitrito transforma a hemoglobina (pigmento plasmático responsável pelo transporte de oxigênio) em metahemoglobina, comprometendo a homeostase, o crescimento e, por períodos prolongados, a sobrevivência de organismos aquáticos (Costa et al., 2004).

Um das formas mais eficientes de se reduzir a toxicidade do nitrito em ambientes intensivos é por meio da aplicação de sal (NaCl). Uma das explicações para esse fenômeno natural é que os íons cloreto, assim como outros ânions, promovem uma ação protetora e competitiva contra o processo de absorção branquial do nitrito (Yanbo et al., 2006). Além disso, o sal também pode ser utilizado para diminuição do índice de estresse de espécies de água doce, uma vez que essas espécies vivem em ambientes hipotônicos, ou seja, vivem em um meio onde a concentração de íons é menor do que a concentração existente no interior desses indivíduos. Por esse motivo, peixes de água doce enfrentam constantes desafios para evitar perda de íons para o ambiente aquático e para controlar a entrada hídrica em seus corpos (Takata e Luz, 2015).

Com o uso da salinidade, a tecnologia bioflocos para sistemas intensivos, se caracteriza com efetiva importância para a popularização da aquicultura na Amazônia, já que esta não necessita de grandes áreas e nem de recursos hídricos abundantes para ser desenvolvida. Em uma região que cumpre um papel estratégico na prestação de serviços ambientais para o Brasil e continente, o melhor aproveitamento de áreas já colonizadas para a produção de proteína animal em um sistema que, praticamente, não gera efluentes faz com que essa tecnologia possa ser considerada como alinhada a preservação ambiental. Esta pode ainda cumprir com o objetivo de levar alternativas produtivas para locais que sofrem com a diversificação de atividades econômicas.

Uma alternativa para a promoção de maior diversificação da aquicultura regional amazônica é apresentar uma maneira eficiente que possibilite o cultivo intensivo em larga escala da matrinxã (*Brycon amazonicus*) e do tambaqui (*Colossoma macropomum*), duas das principais produzidas pelo estado do Amazonas (Peixe BR, 2020).

A produção de tambaqui sempre foi, historicamente, realizada em viveiros escavados abertos, sem proteção e com conexão direta com cursos d'água naturais (Costa et al., 2018). Esse é um quadro que dificulta a intensificação e a produção em escala, além de não ser relativamente eficiente em relação ao aproveitamento dos recursos naturais disponíveis. Já a produção de matrinxã, atualmente, está restrita, em sua maioria, a pequenos módulos familiares de produção em sistema de canal-de-igarapé e a experiências de sucesso em sistema de tanque-rede, como é o caso da Piscicultura Oka's Fish, localizada no município de Itacoatiara/AM, que possui uma capacidade produtiva de, aproximadamente, 650 toneladas anuais.

Um dos objetivos do sistema BFT é demonstrar a viabilidade da produção de organismos aquáticos, de forma intensiva, em locais próximos ao mercado consumidor, com reduzido consumo de água, baixo volume de efluentes e um eficiente controle sobre os parâmetros relacionados a rastreabilidade, qualidade da água, desempenho zootécnico e biossegurança. Portanto, esta Tese de Doutorado tem como objetivo avaliar aspectos produtivos da matrinxã e do tambaqui no sistema BFT sob baixa salinidade. Para tal, foram propostos procedimentos concernentes ao cultivo, manutenção da qualidade da água, avaliação hematológica e econômica dos peixes nas unidades experimentais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho produtivo da matrinxã e do tambaqui submetidos em sistema BFT sob baixa salinidade.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o desempenho zootécnico do tambaqui, cultivado em sistema BFT, em função de quatro diferentes níveis de salinidade;

Avaliar os parâmetros hematológicos do tambaqui, cultivado em sistema BFT, em função de quatro diferentes níveis de salinidade;

Analisar os aspectos técnicos e econômicos do cultivo do tambaqui submetido ao sistema BFT sob baixa salinidade;

Avaliar o desempenho zootécnico do tambaqui e da matrinxã, cultivados em sistema BFT, em função de duas diferentes frequências alimentares;

Avaliar os parâmetros hematológicos do tambaqui e da matrinxã, cultivados em sistema BFT, em função de duas diferentes frequências alimentares.

3. REFERÊNCIAS

AVNIMELECH, Y. Carbon and nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 176, p.227–235, 1999.

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.

BALOI, M. et al. Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacultural Engineering*, v.52, p.39-44, 2013.

BARRETO, A.A.R et al. Piscicultura integrada à agroindústria: uma proposta de fluxo contábil de acordo com os CPCs 29 e 16. *Race*, Joaçaba, v.15, n.3, p.915-944, set/dez, 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 34, de 18 de junho de 2004. *Diário Oficial da União*, Brasília, 22 de junho de 2004. Sec. I, p.74.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 1, de 1º de junho de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, 07 de junho de 2005. Sec. I, p.47.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Portaria nº 34, de 18 de junho de 2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, 06 de novembro de 2007. Sec. I, p.51.

BROL, J. et al. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. *Archivos de Zootecnia*, v.66, n.254, p.229-235, 2017.

COSTA, O.T.F.; FERREIRA, D.J.S.; MENDONÇA, F.L.P.; FERNANDES, M.N. Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. *Aquaculture*, v. 232, p.627-636, 2004.

CRAB, R. et al. The application of bioflocs technology to protect brine shrimp, *Artemia franciscana* from pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Microbiology*, v.5, p. 1643-1649, 2010.

EMERENCIANO, M. et al. Biofloc Technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: MATOVIC, M.D. (Org.) *Biomass Now – Cultivation and Utilization*. InTech Online, 2013. p. 301-328.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture – Sustainability in action*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. p. 224.

HUANG, Z.P. et al. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*. *Aquaculture*, v.354-355, p.97-106, 2012.

MAHANAND, S.S. et al. Water quality and growth of Rohu, *Labeo rohita*, in a biofloc system. *Applied Aquaculture*, v.225, n.2, p.121-131, 2013.

MALTA, J.C.O. et al. Infestações maciças por acantocéfalos, *Neoechinorhynchus buttnerae*, Golvan, 1956, (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) em tambaquis jovens, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) cultivados na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v.31, p.133-143, 2001.

PEIXEBR. *Anuário 2020 – Peixe BR da Piscicultura*. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2020. 136 p.

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

SANTOS, F.B.; RIBEIRO, L.G.G. O neoconstitucionalismo e a absorção cultural dos povos originários para proteção da Floresta Amazônica. *Revista Direitos Fundamentais & Democracia*, v.25, n.2, 2020.

TAKATA, R.; LUZ, R K. Água salinizada na produção de peixes de água doce. In: TAVARES DIAS, M.; MARIANO, W. S. *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. 345 p.

UN. *The world population situation in 2014: a concise report*. New York, USA: Department of Economic and Social Affairs, United Nations, 2014. 38p.

YANBO, W.; WENJU, Z.; WEIFEN, L.; ZIRONG, X. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry*, v.32, p. 49-54, 2006.

ARTIGO 01 – Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana

Marinho-Pereira, T.; Faria-Junior, C.H.; Rincón, L.M.G.; Britto, E.N.; Cavero, B.A.S.; Aride, P.H.R.; Oliveira, A.T. (2020). Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 2, p. 7847-7862. DOI: 0.34117/bjdv6n2-187.

Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana

Biofloc technology: data, works and experiences for development of the latin american aquaculture

Thiago Marinho-Pereira, Charles Hanry Faria-Junior, Luz Marina Guevara Rincón, Elton Nunes Britto, Bruno Adan Sagratzki Cavero, Paulo Henrique Rocha Aride y Adriano Teixeira de Oliveira

Thiago Marinho-Pereira.

Doctorando en Ciencias Pesqueras en los Trópicos por la Universidad Federal do Amazonas
Profesor en la Universidade Federal do Oeste do Pará
Rua Vera Paz, s/n – Salé
Santarém, Brasil – CEP: 68040-255.
Correo electrónico: tmarinhopereira@gmail.com

Charles Hanry Faria Junior

Doctor en Ciencias Pesqueras en los Trópicos por la Universidade Federal do Amazonas
Profesor en la Universidade Federal do Oeste do Pará
Rua Vera Paz, s/n – Salé
Santarém, Brasil – CEP: 68040-255.
Correo electrónico: charleshanry@yahoo.com.br

Luz Marina Guevara Rincón

Graduación en Zootecnia por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Directora General en el Sistemas Acuícolas del Caribe S.A.S
Aguachica, Colombia
Correo electrónico: luzmargue86@hotmail.com

Elton Nunes Britto

Doctor en Biología de Agua Dulce y Pesca Interior por el
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Profesor en el Instituto Federal de Educação, Ciencia e Tecnologia do Pará
Av. Mal. Castelo Branco, s/n – Interventoria
Santarém, Brasil – CEP: 68020-570
Correo electrónico: eltonn Britto@hotmail.com

Bruno Adan Sagratzki Cavero

Doctor en Biología de Agua Dulce y Pesca Interior por el
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Profesor en la Universidade Federal do Amazonas
Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 1200 – Coroado I
Manaus, Brasil – CEP: 69067-005
Correo electrónico: basc@ufam.edu.br

Paulo Henrique Rocha Aride

Doctor en Biología de Agua Dulce y Pesca Interior por el

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Profesor en el Instituto Federal de Educação, Ciencia e Tecnologia do Amazonas
Av. Cosme Ferreira, 8045 – São José Operário
Manaus, Brasil – CEP: 69083-000
Correo electrónico: aride@ifam.edu.br

Adriano Teixeira de Oliveira

Doctor en Diversidad Biológica por la Universidade Federal do Amazonas
Profesor en el Instituto Federal de Educação, Ciencia e Tecnologia do Amazonas
Av. Sete de Setembro, 1975 – Centro
Manaus, Brasil – CEP: 69020-120
Correo electrónico: adriano.oliveira@ifam.edu.br

RESUMEN

Este trabajo presenta la tecnología biofloc para el cultivo de peces y crustáceos en ambientes tropicales. Se muestran, a través de diversos estudios los beneficios del uso del biofloc, con la presentación de conceptos sobre lo que es biofloc y sus constituyentes biológicos y nutricionales, la explicación sobre la importancia del uso y establecimiento de la relación carbono-nitrógeno y las diferentes herramientas para aireación del agua. Así, se busca sumar experiencias, datos y trabajos académicos con la proposición de metodologías eficientes para que el uso de la tecnología biofloc permita el aumento de la densidad y productividad en los cultivos. El uso de la tecnología biofloc es altamente significativa para la eficiencia y gestión de las fincas productoras de pescado, contribuyendo a: 1) disminución de los impactos sobre los ambientes por la reducción del consumo del agua y el mejor aprovechamiento de los nutrientes; 2) reducción de costos de alimento; 3) menor cantidad de efluentes; 4) mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y suelo; 5) mayor productividad, ganancia y control de los animales bajo situaciones de cultivo.

Palabras-Clave: Acuicultura, Biofloc, cultivo intensivo, heterotrófico, nitrificante, relación carbono-nitrógeno.

ABSTRACT

This work seeks to present the biofloc technology for the farming of fish and other aquatic organisms in tropical environments. The benefits of its use are shown by various studies, with the presentation of concepts about what biofloc is, and its biological and nutritional constituents, the explanation about the importance of the use and establishment of the carbon-nitrogen ratio and the different tools for water aeration. We seek to register experiences, data and academic work proposing efficient methodologies to allow to increase crop density and productivity through the use of BFT technology. The use of biofloc technology is highly significant for the efficiency and management of fish producing farms, contributing to: 1) reduction of impacts on the environment through the decrease of water consumption and better use of nutrients; 2) feed cost reduction; 3) lower amount of effluents; 4) better use of water resources and land; 5) higher productivity, gain and control of animals being cultivated.

Keywords: Aquaculture, biofloc, intensive culture, heterotrophic, nitrifying, carbon-nitrogen relationship.

1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de peces a escala industrial es algo imperativo por el hecho de que los recursos pesqueros mundiales han alcanzado su límite de explotación y ya no tienen la capacidad de garantizar el abastecimiento de la población del planeta, la cual viene creciendo a una tasa anual de 1,5% (UN, 2014). Para el año 2016, datos preliminares señalan un consumo *per cápita* mundial de pescado entre 20,3 y 20,5kg, un nuevo record. En ese mismo año la producción total de la acuicultura fue de 80×10^6 t de peces; $30,1 \times 10^6$ t de plantas acuáticas y $37,9 \times 10^3$ t de productos no alimentarios; con un valor estimado total de US\$ $243,5 \times 10^9$ (FAO, 2018).

Para Latinoamérica la situación no es muy diferente. La FAO prevé una significativa expansión de la producción acuícola en Latinoamérica y el Caribe, alcanzando una producción de $2,5 \times 10^6$ t, un crecimiento de casi 25% en comparación con los niveles presentados el 2010, cuando la región produjo $1,8 \times 10^6$ t. Entre los mayores productores de la región, Chile (8ª posición mundial en producción y 7ª en exportación) pasó el histórico liderazgo continental de Brasil (13ª posición mundial), produciendo en 2016 (dato productivo más actual) casi 1×10^6 t, mientras Brasil produjo $\sim 600 \times 10^3$ t, con un consumo continental anual *per capita* de 9,8kg (FAO, 2018).

A la par de que existe la necesidad de aumentar la producción pesquera a través de la acuicultura suplir la demanda de peces, hay una restricción muy grande por utilizar la intensificación como herramienta de cultivo. En un intento de disminuir impactos ambientales, sanitarios y económicos asociados al proceso de intensificación de la acuicultura, la tecnología ‘biofloc’ (BTF; una tecnología basada en el reciclaje de nutrientes, en particular del nitrógeno por medio del cultivo de biomasa bacteriana en el mismo lugar del cultivo de los organismos acuáticos de interés) promete popularizar el cultivo de peces, generando pocos efluentes y mayor facilidad en el control de patógenos que se aprovechan de la mala calidad de agua para parasitar a peces y camarones (Azim y Little, 2008; Emerenciano *et al.*, 2013; Bossier y Ekasari, 2017).

El cultivo BFT ha presentado resultados muy interesantes, una vez que en la mayoría de los casos no existe un gran requerimiento hídrico, solo una reposición debido a la evaporación, con un mayor control sobre los factores de bioseguridad de las fincas acuícolas y también por factores económicos, logísticos y financieros, una vez que la construcción de los estanques requieren menor tiempo para instalación y curado. Ello trae para los inversionistas un menor tiempo para retorno del capital, importante índice económico conocido como *payback* (Taw, 2010).

El cultivo con BFT se tornó popular en los medios académicos desde la década de 1990,

con trabajos que presentaban el control del nitrógeno inorgánico por la manipulación de la relación carbono:nitrógeno (C:N) en el agua (van Rijn y Rivera, 1990; Hopkins *et al.*, 1995; Avnimelech, 1999). Esta tecnología ha sido foco y meta de muchas investigaciones en todo el mundo, pero aún necesita de una mayor divulgación a productores y otros miembros de la comunidad académica en general, desmitificando su implantación, uso y gestión, para que pueda cumplir así su función reduccionista en relación con el uso de recursos naturales para su operación (Ahmad *et al.*, 2017).

2. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO

2.1 Nitrógeno en la dieta de organismos acuáticos y su interacción con el ambiente

Uno de los mayores problemas en acuicultura intensiva es la acumulación de nitrógeno inorgánico en el agua y la dificultad en su remoción (Avnimelech, 1999). Para producir 1kg de pez vivo se necesitan entre 1 y 2kg de alimento, pero 75% de éste no es aprovechado por los peces y va a la columna de agua, bien sea por excreción o simplemente por no ser consumido, permaneciendo en los efluentes del cultivo (Craig y Helfrich, 2017).

El nitrógeno (N₂) es un elemento presente en las proteínas (en media, 16% del total de una proteína es N₂). Los peces necesitan de proteínas ya que 65 a 75% del total de su materia seca corporal está conformado de polipéptidos con grupo amino-terminal. Los polipéptidos son responsables por la estructura (queratina, músculo y colágeno) y los mecanismos de regulación del metabolismo de las enzimas y hormonas (Fracalossi y Cirino, 2013).

Solo la ingestión regular de proteína (y por ende de N₂) puede suplir los aminoácidos esenciales para las funciones que garantizan el proceso de crecimiento hipertrófico (combinación de lisina, metionina y treonina) y la ingestión de los aminoácidos que son responsables por evitar antagonismos con la lisina, como es el caso de la arginina. O sea, es muy difícil bajar los elevados niveles de proteína de la dieta en peces debido a su importancia en las más variadas funciones, principalmente en relación con crecimiento y bienestar del animal (Righetti *et al.*, 2011).

Al establecer la dieta de peces en cultivo es imprescindible considerar que solo 25% del alimento llega a ser consumido. Eso significa que en caso de que la alimentación proporcionada sea de 2% de la biomasa al día tendríamos: a) 20g de alimento/kg de biomasa al día; b) 6,04g de proteína/kg de alimento de 32% de PB al día; c) 1,02g de N₂/kg de biomasa al día; d) con 75% enviado al medio acuático, sea por el alimento no consumido o por vía de las excretas, 0,79g de N₂/kg o 79kg·t de biomasa al día estarán disponibles para convertirse compuestos inorgánicos y

tóxicos para los animales, tales como NH_4^+ (ion amonio), NH_3 (amonio no ionizado) y NO_2^- (nitrito) (Bakar *et al.*, 2015).

El principal producto de la excreción de los peces en sistemas de cultivo es el amonio, resultado del catabolismo de las proteínas. La interacción entre las formas tóxicas del N_2 en el agua, resultante del proceso denominado amonificación, es dependiente, principalmente, de los niveles de pH, de la temperatura y salinidad (Vinatea-Arana, 2004). Por eso, para bajar los niveles de N_2 inorgánico en el agua, una de las soluciones más usadas es cambiar el agua del medio, una vez que concentraciones continuas entre 0,01 y 0,05ppm de NH_4^+ y de 0,5ppm de NO_2^- son perjudiciales para las especies acuáticas más sensibles (Kubitza, 2011).

2.2 Cálculo de la relación C:N para formación y mantenimiento del biofloc

El uso de la técnica de recambio de agua para bajar los niveles de N_2 en la columna de agua trae problemas, como lo son el riesgo de fuga de los animales de cultivo, la transmisión y propagación de patógenos peligrosos para la acuicultura y medio ambiente, y los elevados costos por renovación de agua por bombeo. Así, el abordaje más interesante es el de aprovechar, y consecuentemente reducir, ese N_2 inorgánico para la producción de proteínas microbianas por la adición de fuentes de carbono (Avnimelech, 2007).

Las bacterias y otros microorganismos usan carbohidratos como fuente principal de alimento para generar energía y crecer. La capacidad de incorporación de C por parte de los microorganismos puede alcanzar entre 40-60% y el N_2 es necesario para que las células microbianas puedan producir nuevas células, donde el material básico es la proteína. O sea, la utilización microbiana de carbohidratos es acompañada de una inmovilización de N_2 inorgánico, un proceso microbiano que casi todas las especies de microorganismos llevan a cabo. Por eso, la adición de carbohidratos es una manera muy eficiente de reducir y minimizar la concentración de N_2 inorgánico en el agua (Avnimelech, 1999).

La relación óptima de 20:1 para C:N fue establecida por Avnimelech (1999) y es esencial para ofrecer las condiciones básicas para producción de proteína microbiana. Así, hay dos maneras de calcular la adición de C en el medio acuático (Tabla 01): por la concentración de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^-$) en el medio acuático (C_{agua}) y 2) por el nitrógeno presente en el alimento diariamente proporcionado para los animales en cultivo (C_{alimento}). Para el uso de estas ecuaciones debe tenerse en cuenta que el alimento ya tiene una relación C:N inicial, que debe ser

considerada en el momento del cálculo (Tabla 02) (Kubitza, 2011).

Tabla 1. Cálculos para adición de carbono al medio acuático

$C_{\text{agua}}^1 = \frac{\text{TAN} \times (\text{C:N})}{F_C (\%)}$	$C_{\text{alimento}}^2 = \frac{\text{PB} \times \text{N} \times \text{RA} \times (\text{C:N})}{F_C (\%)}$
C _{agua} : cantidad de C para adición en función del agua	C _{alimento} : cantidad de C para adición en función del alimento
TAN: (NH ₃ + NH ₄ ⁺)	PB(g): cantidad de proteína bruta en 1kg de alimento
C:N: relación carbono:nitrógeno	N: % de nitrógeno en la PB (16%)
F _C : nivel de C (%) que hay en la fuente de C escogida	RA (residuo alimentario): % de alimento que no es consumido por los animales (en general, 75%)
	C:N: relación carbono:nitrógeno
	F _C : nivel de C (%) que hay en la fuente de C escogida

Tabla 2. Relaciones C:N presentes en alimentos según contenido de proteína bruta

Proteína bruta en el alimento (%PB)	Relación C:N
15	21,5:1
16	20:1
20	16:1
24	12:1
30	10,8:1
36	9:1
40	8:1

La fuente de carbono más usada para formación de los flocs es la melaza. La melaza es el resultado del proceso de la refinación del azúcar y, generalmente posee entre 45-50% de sustancias derivadas del azúcar, como sacarosa, glucosa y fructosa, con 30% de C, y está disponible en presentación líquida (Silva *et al.*, 2009) o en polvo (Brol *et al.*, 2017). Otras fuentes de carbono que también pueden ser utilizadas son el azúcar (31% de C), harina de yuca (46% de C) (Silva *et al.*, 2017) y residuo de cervecería (45,8% de C) (Gandini, 2013). Este último producto registró resultados muy satisfactorios frente a melaza y harina de yuca en cultivo de camarón *L. vannamei* (Gandini *et al.*, 2016). La adición de fuentes de C orgánico y la mantención de niveles óptimos de O₂ disuelto en el agua estimulan el desarrollo de bacterias heterotróficas, aumentando la eficiencia del sistema acuático en retener N₂ inorgánico y formando los flocs bacterianos que poseen elevados niveles de aminoácidos y otros elementos esenciales (Silva *et al.*, 2009).

3. QUÉ ES BIOFLOC?

3.1 La comunidad microbiana presente

Los primeros registros experimentales del uso de biofloc para fines acuícolas fueron llevados a cabo en el *Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* con diferentes

especies de camarones, en el inicio de los años 1970 (Emerenciano *et al.*, 2013). Son dos las categorías principales de poblaciones bacterianas en sistemas BFT: heterotrófica amonio-asimilativa y quimioautotróficas nitrificantes. El cambio de color del biofloc de verde para marrón es debido a pasaje a transición de una dominancia algal-autotrófica para una dominancia biofloc-bacteriana. La cantidad de bacterias varía entre 1×10^6 y 1×10^9 /ml de masa de biofloc y la materia seca entre 10 y $30 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-3}$, con tamaño de partícula entre 100 y $1000 \mu\text{m}$ (Ahmad *et al.*, 2017), con baja densidad relativa y baja velocidad de precipitación en la columna de agua ($1\text{-}3 \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$) (Sears *et al.*, 2006).

Azim y Little (2008) identificaron tres grandes grupos taxonómicos asociados al biofloc en cultivo *indoor* de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*): Protozoa, Rotífera y Oligochaeta. Entre los protozoarios dominaron *Paramecium*, *Tetrahymena* y *Petalomonas*; para Rotífera dominaron *Lecane*, *Trichocerca*, *Polyarthra* y *Asplanchna*; y para Oligochaeta solo fue encontrado *Tubifex*. Los flocs identificados tenían una talla que varió entre 50 y $200 \mu\text{m}$.

Bakar *et al.* (2015) encontraron géneros de microalgas en sistemas BFT para cultivo de African catfish (*Clarias gariepinus*) que incluyeron *Scenedesmus*, *Cyclotella*, *Chaetoceros*, *Oocystis*, *Tribonema*, *Skeletonema*, *Micratinium*, *Anabaena*, *Gomphospaeria*, *Coelastrum*, *Oscillatoria* y *Protococcus*, y para zooplancton identificaron *Rotaria* y *Brachionus*.

Brol *et al.* (2017) estudiaron el cultivo de tilapias nilóticas en el sistema BFT en Brasil y caracterizaron la comunidad planctónica, la cual presentó variaciones en la densidad en función del tiempo. Ostrácodos y rotíferos fueron los más abundantes. Los rotíferos siempre estuvieron asociados con la existencia del biofloc, al paso que son responsables por la catálisis de los flocs y consumo de bacterias en el sustrato presente en el medio acuático.

A partir del análisis de las investigaciones relatadas se puede sugerir que la composición del biofloc presenta amplias diferencias. Fuentes de C utilizadas, intensidad de luz, relación deprimador-presa, región del mundo, fuente de agua y otros factores más pueden contribuir para que esa diferencia sea muy significativa entre un experimento y otro. Pero existen algunos parámetros físicos principales (Tabla 03) para su identificación y caracterización, ya que se considera que solo hasta 20% de la fracción orgánica de los bioflocs son células microbianas vivas, entre 30-40% es materia orgánica y 60-70% son compuestos inorgánicos (Avnimelech, 2007; De Schryver *et al.*, 2008).

Tabla 3. Principales parámetros y métodos para la caracterización de bioflocs en sistemas BFT

Parámetro	Definición	Determinación	Rango
Sólidos suspendidos (TSS)	Cantidad de partículas presente en una muestra del agua ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Las partículas son separadas del agua por filtración o centrifugación y deshidratadas <i>overnight</i> a 100°C .	0,2-1,0 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Sólidos volátiles suspendidos (VSS)	Cantidad de materia orgánica en forma de partícula en una muestra del agua ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	Después de secado, los sólidos son calentados a 600°C . El SS disminuye el rendimiento del parámetro VSS.	SDD
Sólidos Sedimentables (SSD)	El volumen ocupado por la materia disponible en una muestra del agua ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$)	Obtenido a partir del volumen del floc después de 20min de sedimentación en un cono Imhoff	10-30 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$

SDD: sin datos disponibles. Adaptado de De Schryver *et al.* (2008), Gaona *et al.* (2015), Brol *et al.* (2017).

La floculación de las comunidades microbianas es un proceso complejo. Su función está relacionada con el objetivo de agregar partículas de talla pequeña, creando agregados mayores y listos para el consumo de los peces. Los mayores constituyentes encontrados en la matriz biofloculante son polímeros macromoleculares como las glicoproteínas, polisacáridos, proteínas, lípidos, celulosa y ácidos nucleicos. Esas estructuras forman una matriz que encapsula células microbianas, resultando en un rápido y fácil proceso de formulación flocular. Bacterias heterotróficas con actividad biofloculante tienen un papel destacado en la formación y desenvolvimiento del biofloc (Jiang *et al.*, 2019).

Para promover la eficiencia en la agregación de biomasa microbiana es importante comenzar el inóculo inicial con especies que tengan características de agregación, condiciones de cultivo con niveles aceptables de relación C/N, pH, O_2 disuelto, temperatura y velocidad de agitación del agua de los tanques son factores importantes para la actividad de esos organismos (De Schryver *et al.*, 2008).

3.2 Composición nutricional

El biofloc es una comida natural disponible 24 horas al día a los animales en cultivo. La constante aireación y agitación de la columna de agua, así como la adición de fuentes de C, posibilita la descomposición aerobia y manutención de los niveles óptimos de los flocs microbianos en suspensión, permitiendo su continuo mantenimiento y reproducción. Bajo niveles ideales de la relación C:N, el N_2 inorgánico es inmovilizado por las células de las bacterias, mientras los substratos orgánicos son metabolizados. La conversión del amonio total en proteína microbiana,

diferentes fuentes de C, habilidad del animal para ingerir y digerir el alimento y la densidad de los bioflocs en el agua son los responsables por los elevados niveles de proteína bruta y por el valor nutricional del biofloc presentes en sistemas BFT (Ahmad *et al.*, 2017). En la Tabla 04 se presentan algunos de los valores nutricionales encontrados en la literatura.

Tabla 4. Reportes de composición centesimal de bioflocs disponibles en la literatura

Composición BFT*	Azim y Little (2008)	Ballester <i>et al.</i> (2010)	Ekasari <i>et al.</i> (2016)
Proteína bruta	38%	30%	35%
Lípidos	3%	5%	5%
Cenizas	12%	40%	20%
Fibras	6%	8%	8%
Extracto libre de N ₂	41%	17%	33%

* Composición en la materia seca

Para entender las diferencias presentes entre los trabajos (Tabla 04) es necesario analizar las metodologías utilizadas en cada uno de los estudios. Azim y Little (2008) emplearon exclusivamente harina de trigo como fuente de C para cultivo de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*, añadida a una tasa del 60% en la alimentación diaria. Ballester *et al.* (2010) evaluarán el cultivo de *Farfantepenaeus paulensis* en sistemas intensivos BFT *outdoors* usando melaza y salvado de trigo como fuente de C y una relación C:N de 20:1. Silva *et al.* (2013) usaran salvado de trigo y melaza en el cultivo de *Litopenaeus vannamei* bajo sistema BFT, considerando una relación de 6g de C para convertir 1g de TAN en biomasa bacteriana. Por último, Ekasari *et al.* (2016), evaluando la aplicación de la tecnología BFT en la producción de alevinos de *Clarias gariepinus*, utilizaron solo melaza en una relación de 10:1 para estimular el crecimiento de biomasa heterotrófica.

Muchas son las especies de interés para la acuicultura que posee mecanismo de filtración del biofloc en suspensión, pudiendo reciclar los nutrientes, heces y materia orgánica disponibles en el medio acuático, reduciendo los costos de inversión y mantenimiento alimentar (Luo *et al.*, 2014). El mecanismo de filtración funciona como una bomba de succión, realizando filtración por flujo cruzado con presencia de moco en los rastros branquiales que sirve para la adhesión de las partículas. Esas partículas adheridas en el moco son enviadas para el esófago y después engullidas. En especies más eficientes, como es el caso de la tilapia, hay un mecanismo que regula el proceso de producción del moco que es dependiente del tamaño de la partícula adherida (Silva, 2016).

Como en acuicultura el costo del alimento representa algo cercano al 60% del costo total de producción (Sonoda *et al.*, 2016), el consumo de bioflocs disponibles en el agua puede generar

reducciones de hasta 30% en la tasa de conversión de alimento (FCR: *feed conversion ratio*) en comparación con los sistemas tradicionales (Azim y Little, 2008; Silva *et al.*, 2013; Brol *et al.*, 2017).

4. AIREACIÓN EN LA TECNOLOGÍA BFT

Los principales objetivos de la aireación en acuicultura son remover gases como N₂ y CO₂ del agua y de elevar el nivel de la concentración de O₂ disuelto. Cuanto más O₂ es inyectado en el medio acuático menor es la cantidad de renovación de agua que el sistema necesita. La cantidad y la velocidad de transferencia de los gases al medio acuático depende, básicamente, de dos factores: momento de transferencia de masa (cuando hay entrada o salida de gases en el agua) y momento de equilibrio, donde hay las condiciones necesarias para que los gases se queden en equilibrio (Lekang, 2013).

El aireador, equipo responsable de elevar la concentración de O₂ disuelto en el agua, ha sido proyectado para crear condiciones lo más cerca posible a las condiciones de equilibrio entre el gas disponible en el aire atmosférico y el gas del medio acuático. En equilibrio con el aire atmosférico, la solubilidad del O₂ en el agua aumenta con la reducción de la temperatura y salinidad de agua, así como con la elevación de la presión atmosférica (Boyd, 1998).

El recambio de gases entre agua y aire atmosférico ocurre cuando hay una diferencia de presión de O₂ entre aire y agua. El agua estará saturada de O₂ cuando se alcanza el límite de saturación conocido como concentración de saturación (C_S). Cuando la concentración del O₂ disuelto en el agua (C_M) sea mayor que C_S va a ocurrir difusión de O₂ del agua hacia el aire y va a ocurrir a la inversa cuando C_M sea menor que C_S. Para saber si el agua está debajo o encima del límite de saturación, es necesario que utilizar la siguiente ecuación (Boyd, 1998):

$$\% \text{ saturación O}_2 = \frac{C_M}{C_S} \times 100$$

donde C_S: concentración de O₂ disuelto (mg·l⁻¹) en estado de saturación para la temperatura (°C) y salinidad (mg·l⁻¹) medidas, y C_M: concentración de O₂ disuelto medida (mg·l⁻¹)

La tabla de solubilidad de O₂ en el agua (Boyd, 1998) trae informaciones importantes sobre las relaciones que existen entre O₂, temperatura y salinidad. Una de las informaciones importantes de la tabla es indicar un límite de solubilidad por encima del cual el O₂ empezará a fluir del agua hacia el aire. Además, cuando el suministro de O₂ esté por encima del límite de saturación durante períodos prolongados, se pueden generar condiciones que resultan en una enfermedad conocida

como ‘embolia gaseosa’ o ‘enfermedad de las burbujas’ (en inglés, *gas bubble disease*; GBD), que puede provocar burbujas bajo la piel, exoftalmia, burbujas entre los radios de las aletas, burbujas en la membrana mucosa, entre otras patologías, produciendo elevadas mortalidades de los animales sometidos a esas condiciones (Boyd y Ahmad, 1987).

Para la llevar a cabo el suministro de O₂ en acuicultura existen tres métodos de aireación principales (Ghomi *et al.*, 2009; Pasco, 2015):

1) *flujo de agua* (aireadores tipo Venturi): el efecto de auto aspiración de aire o efecto Venturi se basa en los principios del tubo de Venturi, utilizando un eyector que emplea el vacío creado por la conducción forzada para mezclar O₂ con el agua a través de una tubería perpendicular al flujo de agua (Piccin *et al.*, 2010). Por este método la eficiencia media de aireación (SAE) es de 1,1 kgO₂/kWh;

2) *flujo de aire* (sopladores y compresores tipos blowers): sistema que utiliza sopladores, compresores, tuberías y difusores de aire para conducir aire atmosférico a través de burbujas al medio acuático. Según la ley de Laplace, una burbuja pequeña posee una tensión superficial mayor que una más grande con la misma presión circundante. Por eso, este sistema usa mangueras o discos difusores que van a producir micro o nano-burbujas, aumentando el tiempo de contacto entre burbuja y agua, facilitando la consecuente difusión del aire en la columna de agua. Por este método la SAE media es de 0,8 kgO₂/kWh;

3) *turbulencia* (aireadores tipo *splash* y de paleta): la aireación de turbulencia usa la relación inversa entre el espesor de los films o películas en la interfase agua-aire y el flujo laminar para transferir gases del aire para el medio acuático. A mayor turbulencia en la superficie del agua, menor va a ser el espesor de las películas que separan agua y aire, facilitando el proceso de transferencia de los gases presentes en el aire atmosférico, en especial el O₂. Por este método la SAE media de los aireadores ‘*splash*’ es de 2,03kgO₂/kWh y la SAE media de los aireadores ‘paleta’ es de 1,55 kgO₂/kWh.

Los tres métodos de aireación son eficientes y pueden ser empleados de forma complementaria. Los criterios para su empleo deben evaluar si fueron diseñados para condiciones de agua limpias, de cultivo, o para aplicaciones relacionadas con estaciones de tratamiento de agua potable. La mayoría de los aireadores vienen con especificaciones técnicas acerca de la tasa de transferencia de O₂ estándar (SOTR, kgO₂/h) (Boyd y Ahmad, 1987), pero esa tasa de transferencia puede ser modificada por la presión atmosférica, por diferentes condiciones de equilibrio y

saturación de agua en los tanques, por temperatura y salinidad. Por eso, es de fundamental importancia la realización de pruebas en condiciones productivas reales para determinación de la tasa de transferencia de O₂ (TTO) de los aireadores en cada situación específica.

Para aireadores del tipo difusores, la ecuación es más sencilla, una vez que hay información sobre la cantidad de aire que está siendo llevado al medio acuático:

$$TTO_{\text{blower}} = \frac{P_{\text{aire}} \cdot O_2 \cdot Q}{1000}$$

donde TTO_{blower} : tasa de transferencia de O₂ por flujo de aire (kgO₂/h), P_{aire} : peso de 1litro de aire atmosférico (1,288g), O_2 : concentración de O₂ presente en el aire atmosférico (21%), y Q : flujo del aire atmosférico (l·h⁻¹)

Para sistemas de turbulencia ('*splash*', 'paleta' y 'Venturi'), donde es necesario hacer una medición de la variación de la concentración en el agua, la ecuación es más compleja. Es importante resaltar que, debido al factor de solubilidad del O₂, los aireadores, en media, son 1,5% menos eficiente por cada grado de aumento de la temperatura:

$$TTO_{\text{difusión}} = \frac{(OD_{\text{Final}} - OD_{\text{Inicial}}) \cdot V}{1.000.000}$$

donde $TTO_{\text{difusión}}$: tasa de transferencia de O₂ por difusión atmosférica (kgO₂/h), OD_{Final} : concentración de O₂ disuelto después de 1h de medición (mg·l⁻¹), OD_{Inicial} : concentración de O₂ disuelto antes de empezar el teste (mg·l⁻¹), y V : volumen del reservorio (lit)

Después de definir la TTO para el sistema de aireación escogido, es necesario conocer su eficiencia en relación a su potencia (ESA). La ESA es fundamental para conocer la eficiencia real del sistema y para proyectar la potencia eléctrica necesaria y sus costos de producción relativos a los gastos con energía eléctrica.

$$ESA = \frac{TTO}{POT}$$

donde ESA: eficiencia del sistema de aireación (kgO₂/h/cv), TTO: tasa de transferencia de O₂ (kgO₂/h), y POT: potencia del sistema (cv).

La atención prestada a la cantidad del flujo que va a permitir la formación del floc es muy importante y debe ser establecida para cada caso, tanque por tanque. La información acerca de los diferentes niveles de potencia y de como interactúan con el proceso de floculación trae ventajas, permitiendo determinar el rango de potencia para el óptimo crecimiento de biofloc y el rango de potencia para la producción de flocs de diferentes tallas, una vez que los peces adultos prefieren flocs de mayores tallas, así como los juveniles prefieren flocs de tallas menores (De Schryver *et*

al., 2008).

Para proyectar la cantidad de O₂ necesaria para cada tanque es necesario conocer quienes son los consumidores de O₂ del tanque. El consumo de O₂ para especies tropicales de peces puede ser determinado por la siguiente ecuación (Kubitza, 1998):

$$\text{COD} = \left(\frac{1.000}{\text{peso}} \right) \cdot (\text{peso})^{0,82}$$

donde COD: consumo de O₂ en mg·h⁻¹·kg⁻¹ de pez, y peso: peso medio de los peces (g).

Los otros consumidores serán los demás organismos presentes en el medio acuático, por ejemplo los bioflocs heterótrofos responsables por convertir N₂ del medio acuático en proteína microbiana y que van a demandar aireación las 24 horas del día. Esa respiración de los organismos es difícil de prever, pero se puede hacer una estimación de la misma apagando el sistema de aireación por una hora y del total de la disminución del O₂ en el tanque, estimar lo que es debido a respiración de los peces. Así, también es posible hacer una previsión sobre cuánto tiempo el sistema soporta sin recibir aireación, como prueba en caso de emergencia.

Hay reportes y pruebas para uso y eficiencia de aireadores ‘*splash*’, ‘paletas’, ‘Venturi’ y de flujo de aire usando mangueras o discos difusores en cultivos de peces bajo sistemas BFT (Pasco, 2015). Pero para definir cual es la mejor opción es necesario conocer el sistema que va a ser empleado y sus respectivas características. Los aireadores superficiales (‘*splash*’ y ‘paletas’) son más eficientes para reducir la espesura de los films que hay entre agua y aire, lo cual facilita la difusión del O₂ atmosférico en el medio acuático. Sin embargo, al ser accionados, los sistemas de aireación superficiales rápidamente saturan de O₂ la superficie de agua y en el resto de la columna de agua el incremento de O₂ disuelto acaba ocurriendo de manera muy lenta (Boyd y Ahmad, 1987). Ya los aireadores sub-superficiales (‘Venturi’ y flujo de aire) son más eficientes para mezclar la columna de agua, considerando la producción ascendente de burbujas, lo cual dificulta la deposición de materia orgánica en el fondo de los tanques, mezclando todos los componentes existentes y permitiendo que no se forman capas que permitan superposición de los flocs. En la literatura se reporta el uso de más de un sistema de aireación por tanque, siempre en busca de una mayor eficiencia en los procesos de suministro de O₂ por caballo de fuerza (HP) y una mejor mezcla de la columna de agua (Crab *et al.*, 2009; Zhen *et al.*, 2013; Correia *et al.*, 2014).

5. CONCLUSIONES

Para enfrentar los desafíos cada vez mayores de producir alimentos más baratos en menos tiempo y considerando parámetros de rastreabilidad y sustentabilidad, la tecnología BFT sigue ganando espacio frente al cultivo tradicional. Mientras los sistemas tradicionales usan grandes extensiones de tierras y gran volumen hídrico, produciendo una gran cantidad de residuos y efluentes en los cursos de agua naturales, los sistemas BFT facilitan la ejecución de un cultivo más racional que busca una gestión con bioseguridad. La reducción de los costos de la alimentación y el valor nutricional de los bioflocs también es otro factor fundamental que debe contribuir para la propagación de la tecnología BFT en las regiones y países donde aún no es usada comúnmente.

6. REFERENCIAS

- AHMAD, I. et al. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. **Aquacult. Int.**, v. 25, p. 1215-1226, 2017.
- AVNIMELECH, Y. Carbon and 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.
- AZIM, M.; 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.
- BAKAR, N.S.A. et al. Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology. **Int. Biodeter. Biodegrad.** v. 102, p. 100-106, 2015.
- BALLESTER, E.L.C. et al. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. **Aquacult. Nutr.**, v. 16, p. 163-172, 2010.
- BROL, J. et al. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootecnico de tilapias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. **Arch. Zootec.**, v. 66, n. 254, p. 229-235, 2017.
- BOSSIER, P.; EKASARI, J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. **Microb. Biotechnol.**, v. 10, p.1012-1016, 2017.
- BOYD, C.E.; AHMAD, T. **Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming**. Auburn, EUA:

Auburn University, 52 p. 1987.

BOYD, C.E. **Water Quality for Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn, EUA: Auburn University, 39 p., 1998.

CORREIA, E.S. et al. Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. **Aquacult. Eng.**, v. 59, p. 48-54, 2014.

CRAB, R. et al. Bioflocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacult. Eng.**, v. 40, p. 105-112, 2009.

CRAIG, S.; HELFRICH, L.A. **Understanding Fish Nutrition, Feeds and Feeding**. Petersburg, EUA: Virginia State University, Publication 420-256, 4 p., 2017.

DE SCHRYVER, P. et al. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, p. 125-137, 2008.

EKASARI, J. et al. Biofloc technology application in African catfish fingerling production: The effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. **Aquaculture**, v. 464, p. 349-356, 2016.

EMERENCIANO, M. et al. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. En MATOVIC, M.D. (2013) **Biomass Now - Cultivation and Utilization**. InTech Online, p. 301-328, 2013.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture - Meeting the Sustainable Development Goals**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 227 p., 2018.

FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. **Nutriaqua: Nutrição e Alimentação de Espécies de Interesses para a Aquicultura Brasileira**. Florianópolis, Brasil: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 375 p., 2013.

GANDINI, F.A. **Avaliação do Resíduo de Cervejaria e Outras Fontes de Carboidratos para o Sistema de Bioflocos e o Crescimento do Camarão Branco, *Litopenaeus vannamei***. 49 f. Tesis (Doctorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

GANDINI, F.A. et al. Avaliação de diferentes fontes de carboidratos para o sistema de bioflocos e crescimento do camarão branco. **Bol. Inst. Pesca**, v. 42, p. 831-843, 2016.

GAONA, C.A.P. et al. Effect of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) BFT culture system during biofloc formation. **Aquacult. Res**, p. 1-10, 2015.

GHOMI, M.R. et al. An experimental study of nozzle diameters, aeration depths and angles on

standard aeration efficiency (SAE) in a venturi aerator. **Water Pract. Technol.**, v. 4, n.3, p. 1-8, 2009.

HOPKINS, J.S. et al. Effect of two protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water Exchange. **J. World Aquacult. Soc**, v. 26, p. 93-97, 1995.

JIANG, J. et al. Screening of a high bioflocculant-producing bacterial strain from an intensive fish pond and comparison of the bioflocculation effects with *Rhodococcus erythropolis*. **Aquacult. Res.**, v. 50, p. 1047-1056, 2019.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes – Parte III (Final). **Panor. Aquicult.**, v. 8, n. 47, p. 35-39, 1998.

KUBITZA, F. Criação de tilápias em sistemas de bioflocos sem renovação de água. **Panor. Aquicult**, v. 21, n. 125, p. 14-23, 2011.

LEKANG, O.I. **Aquacultural Engineering**. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, 433pp, 2013.

LUO, G. et al. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. **Aquaculture**, v. 422-423, p.1-7, 2014.

RIGHETTI, J.S. et al. Redução da proteína em dietas para tilápias-do-nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. **Rev. Bras. Zootec**, v. 40, p. 469-476, 2011.

SEARS, K. et al. Density and activity characterization of activated sludge flocs. **J. Environ. Eng.**, v. 132, p. 1235-1242, 2006.

SILVA, U.L. et al. Efeito da adição do melão na relação carbono/nitrogênio no cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei* na fase berçário. **Acta Sci**, v. 31, p. 337-343, 2009.

SILVA, A.F. et al. Efeito das altas densidades de estocagem no crescimento e sobrevivência de *Litopenaeus vannamei* na fase final de engorda, cultivados em sistemas de bioflocos (BFT). **Ciênc. Anim. Bras.**, v. 14, p. 279-287, 2013.

SILVA, M.A. **Níveis de proteína bruta em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em sistema de bioflocos em duas fases de crescimento**. 84 f. Tesis (Doctorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2016.

SILVA, U.L. et al. Carbon sources and C:N ratios on water quality for Nile tilapia farming in biofloc system. **Caatinga**, v. 30, p. 1017-1027, 2017.

- SONODA, D.Y. et al. Modelo de preço de ração para peixe no período de 2001 a 2015. **iPecege**, v. 2, n. 3, p. 57-71, 2016.
- PASCO, J.J.M. **Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água**. 120 f. Tesis (Doctorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2017.
- PICCIN, J.S. et al. Otimização de sistema de autoaspiração de ar tipo Venturi para tratamento de água ferruginosa. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 14, p. 531-537, 2010.
- TAW, N. Biofloc technology expanding at white shrimp farms. **Global Advocate**, v. may/June, p. 24-26, 2010.
- UN. **The World Population Situation in 2014: A Concise Report**. Department of Economic and Social Affairs. Nueva York, EUA: United Nations, 38 p., 2014.
- VAN RIJN, J.; RIVERA, G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. **Aquacult. Eng.**, v. 9, p. 217-234, 1990.
- VINATEA-ARANA, L. **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aquicultura: Uma Revisão para Peixes e Camarões**. Florianópolis, Brasil: UFSC, 2 ed, 231 p., 2004.
- ZHEN, M.A. et al. The effect of three culture methods on intensive culture system of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **J. Ocean Univ. China**, v. 12, p.434-440, 2013.

ARTIGO 02 – Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade

Marinho-Pereira, T.; Cavero, B.A.S.; Oliveira, C. P. F.; Aride, P.H.R.; Oliveira, A.T. (2020). Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade. Formatado para publicação na *Aquaculture Research*.

Desempenho zootécnico e parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade

Thiago Marinho-Pereira¹, Bruno Adan Sagratzki Cavero², Christiane Patrícia Feitosa de Oliveira³, Paulo Henrique Rocha Aride⁴, Adriano Teixeira de Oliveira⁴

¹Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém, Pará, Brasil

²Laboratório de Inovações Aquícolas para a Aquicultura (LITA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil

³Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos (LAFBOA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil

⁴Núcleo de Estudos de Vertebrados Amazônicos (NEVA), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Manaus, Amazonas, Brasil

Correspondence

Thiago Marinho-Pereira, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém, Pará, Brasil.

Email: tmarinhopereira@gmail.com

Abstract

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos de *Colossoma macropomum*, criado em sistema BFT, em função de quatro diferentes níveis de salinidade: (T1) = 0 ‰; (T2) = 2 ‰; (T3) = 4 ‰; (T4) = 6 ‰. Em um delineamento inteiramente casualizado, 96 juvenis de *Colossoma macropomum* foram distribuídos homogeneamente em 12 unidades experimentais (quatro tratamentos e três repetições), com volume útil de 290 L, cada. Durante 35 dias, os animais foram alimentados duas vezes ao dia (08:00 e 17:00), à saciedade aparente, com ração comercial contendo 42,0% de proteína bruta. Ao final do período experimental foi possível afirmar que o tratamento 4 ‰ apresentou melhores valores de ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE em %), ingestão média diária de ração (IMDR) e conversão alimentar aparente (CAA), apesar de não ter havido diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Em relação aos parâmetros hematológicos e de bem-estar (fator de condição relativo) houve diferença apenas para o Kn do tratamento 4‰ em relação ao valor centralizador (Kn = 1,00). Os parâmetros de qualidade de água se mantiveram dentro do exigido para a criação de *C. macropomum*. Dentre os tratamentos estudados, a salinidade de 4 ‰ é a mais indicada para a criação de *C. macropomum* em sistema BFT.

Palavras-chave: salinidade, bioflocos, parâmetros hematológicos, tambaqui, aquicultura.

1. INTRODUCTION

O tambaqui, *Colossoma macropomum*, é a espécie nativa mais cultivada no Brasil (Costa, Gomes, Bernardino, Sabbag & Martins, 2018). Pode ser encontrada naturalmente nas bacias do rio Amazonas e do rio Orinoco e possui uma dieta onde predomina o consumo de frutos, sementes e

zooplâncton. É uma espécie reofílica e que possui bastante rusticidade e resistência à ambientes hipóxicos (Rodrigues, 2014), sendo essas algumas características que justificam o seu elevado aproveitamento pela aquicultura praticada em propriedades localizadas na Amazônia (Peixe BR, 2020).

Cada vez mais a indústria alimentícia tem se preocupado em produzir por meio de práticas consideradas sustentáveis. Para a aquicultura ser considerada sustentável é necessário que se leve em consideração as 17 prioridades globais estabelecidas pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, que incluem: segurança alimentar, promoção do bem-estar e do desenvolvimento econômico sustentável e uso e conservação dos oceanos, mares e recursos aquáticos em geral (Stead, 2019).

No entanto, a produção de *C. macropomum* na Amazônia ainda não leva em consideração esses objetivos. O sistema semi-intensivo, que é o sistema amplamente utilizado na Amazônia, é caracterizado por baixas densidades de estocagem (entre 0,7 e 0,8 kg m⁻² ciclo), desflorestamento de grandes áreas, cadeia produtiva com baixa eficiência econômica, impactos ambientais relevantes, dentre outros problemas (Zacardi, Lima, Nascimento & Zanetti, 2017; Feitoza, Sonoda & Souza, 2018; Lima, Machado-Bussons & Pantoja-Lima, 2019; Lima et al., 2020).

Com o intuito de mudar esse cenário de degradação ambiental e de melhorar o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, surge a necessidade de se cultivar as espécies de peixes amazônicas em ambientes intensivos e de reaproveitamento dos recursos hídricos. Para este cenário, a tecnologia bioflocos aparece com uma das alternativas mais interessantes, uma vez que esta consegue reunir as condições básicas que permitem uma melhor produtividade por área e maior aproveitamento dos compostos nitrogenados comumente existentes em ambientes aquáticos de cultivo (Bakar, Nasir, Lananan, Hamid & Verani, 2015).

O sistema baseado na tecnologia bioflocos (também conhecido por BFT, sigla em inglês para *Biofloc Technology*) foi desenvolvido como forma de intensificar a produção e reduzir o consumo e a necessidade por renovação de água. Além dos bioflocos serem compostos proteicos que possuem entre 30 e 38% de proteína bruta (Marinho-Pereira et al., 2020), auxiliam no processo de controle e aproveitamento dos compostos nitrogenados que são tóxicos aos organismos aquáticos, pois são determinantes no processo de acúmulo e ação de bactérias heterotróficas e quimioautotróficas nitrificantes (García-Ríos, Miranda-Baeza, Coelho-Emerenciano, Huerta-Rábago & Osuna Amarillas, 2019).

Com isso, os sistemas BFT conseguem transformar a amônia em formas menos tóxicas como o nitrato, porém ainda possuem dificuldades sérias em controlar os níveis de nitrito. Isso se deve a especificidade do grupo de bactérias nitrificantes especialistas em oxidar o nitrito em nitrato. As bactérias do tipo BON (bactérias oxidadoras de nitrito) são filogeneticamente, ecologicamente e fisiologicamente diversas, sendo relatados dois gêneros dominantes em sistemas fechados (BFT e RAS) para a aquicultura: *Nitrobacter* e *Nitrospira* (Jiménez-Ojeda, Collazos-Lasso & Arias-Castellanos, 2018).

Apesar da função natural de oxidar nitrito a nitrato, as bactérias do tipo BON são mais sensíveis às condições naturais de um ambiente de produção aquícola e competem por ambiente e espaço com as bactérias do tipo BOA (bactérias oxidadoras de amônia, responsáveis pela primeira etapa da nitrificação). Com isso, acaba havendo uma deficiência, e conseqüente atraso, durante essa segunda etapa do processo de nitrificação, ocasionando uma rápida elevação nos níveis de nitrito dentro de ambientes intensivos de produção. Níveis elevados de nitrito costumam ser prejudiciais e letais aos animais aquáticos, pois depois de serem absorvidos pelos organismos aquáticos, o nitrito oxida a molécula de ferro existente na hemoglobina, diminuindo a capacidade desse pigmento plasmático em transportar oxigênio (Ruiz et al., 2019).

Uma das formas de diminuir a taxa de absorção do nitrito pelos organismos aquáticos é por meio do aumento da salinidade. Em peixes de água doce, o nitrito é absorvido por meio de células de cloreto existentes nas brânquias, sendo essa também a mesma rota fisiológica usada para absorver os íons cloreto. Devido a essas características, os íons cloreto são considerados inibidores competitivos do nitrito para espécies de água doce, diminuindo assim a sua toxicidade (Jia et al., 2015).

Além de ter a capacidade de diminuir a toxicidade do nitrito, o uso do sal também é de fundamental importância para a aquicultura, pois auxilia no processo osmorregulatório de espécies de água doce, pois por viverem em ambientes hiposmóticos, necessitam de um grande esforço fisiológico para reduzindo as perda dos sais presentes no próprio sangue para o meio aquático (Griffith, 2017).

Portanto, este trabalho possui o objetivo de avaliar o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos de *C. macropomum*, cultivado em sistema BFT, em função de quatro diferentes níveis de salinidade.

2. MATERIALS AND METHODS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Inovações para Aquicultura (LITA) localizado na Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, cidade de Manaus, estado do Amazonas, Brasil.

Inicialmente, machos e fêmeas de *C. macropomum* foram trazidos da Fazenda Ecology Pescados, localizado no município de Rio Preto da Eva, e estocados em caixa de 3.000 L para um período de quarentena de 07 dias. Após a quarentena, 96 animais foram pesados ($15,5 \pm 3,06$ g), medidos ($7,67 \pm 0,66$ cm) e distribuídos homogeneamente em 12 unidades experimentais (densidade de estocagem equivalente ≈ 27 peixes m^{-3}). Para a condução de um delineamento inteiramente casualizado, os animais experimentais foram mantidos em quatro diferentes níveis de salinidade, sendo todos em triplicata: (T1) = 0‰; (T2) = 2‰; (T3) = 4‰; (T4) = 6‰.

Com o intuito de evitar uma súbita mudança osmótica na água das unidades experimentais, proporcionando uma aclimação mais segura aos peixes, a quantidade total de sal marinho (contendo antiumectante) adicionada diariamente foi de $1,0 \text{ g L}^{-1}$.

As unidades experimentais foram compostas por caixas de polietileno com capacidade de 310L (290L de volume útil), equipadas com sistema de aeração impulsionado por soprador de 0,5 CV, conduzido por tubulação roscável de 1" e por mangueiras com pedras-porosas terminais para difusão do ar na água. A aeração constante e ininterrupta foi necessária para promover o oxigênio dissolvido que era constantemente consumido pelas reações oxidativas inerentes aos processos de nitrificação. A água inicialmente utilizada para encher as unidades experimentais foi oriunda de poço semiartesiano localizada na referida universidade.

A qualidade da água foi avaliada diariamente (09:00) por meio dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), amônia total (mg L^{-1} de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^-$), nitrito (mg L^{-1} de NO_2^-). Os sólidos sedimentáveis foram medidos uma vez por semana por meio do uso de cone Imhoff (mL L^{-1}). Para manutenção da relação carbono:nitrogênio (relação C:N) mínima de 6:1 (Ebeling, Timmons & Bisogni, 2006), a adição de açúcar cristal (40% de carbono oriundo da sacarose; $\text{C}_{12} \text{H}_{22} \text{O}_{11}$) foi realizada quando a concentração de amônia total $> 1,0 \text{ mg L}^{-1}$. Juntamente a adição de carbono foram adicionados 50 mL de inóculo oriundo de biorreator específico para bactérias heterotróficas (BIO-H), cultivados sob as seguintes condições e quantidades de insumos para 20 litros de água: temperatura ambiente, ausência de luz, aeração constante, presença de amônia total, quantidade de açúcar para promover uma relação C:N de 15:1,

alcalinidade total acima de 100 mg L⁻¹ de CaCO₃ e 20 g de produto probiótico enriquecido com bactérias heterotróficas não-patogênicas dos gêneros *Bacillus* sp. e *Lactobacillus* sp.

Para evitar mortalidade gerada por picos repentinos de nitrito, foram fornecidos 15 L de água oriunda de biorreator específico para cultivo de bactérias do tipo BON (BIO-BON) sempre que a concentração de nitrito alcançava 1,0 mg L⁻¹. Para iniciar o BIO-BON foi utilizado como inóculo inicial um ativador de filtragem biológica (Stability[®], um produto de Seachem Co.; Madison, Georgia, EUA), na dosagem recomendada pelo fabricante, diluído em uma bambona de 200 L equipada com aeração por pedras-porosas e tijolo quebrado (meio de suporte para fixação de bactérias), bambona inicialmente abastecida com água contendo alcalinidade acima de 100 mg L⁻¹ de CaCO₃, rica em nitrito e ausente de amônia.

Após entrada de água oriunda do BIO-BON, a salinidade foi medida por meio de equipamento multiparâmetro (Akso[®], modelo AK88; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), sendo então corrigida por meio do uso de sal marinho (contendo antiemectante). O bicarbonato de sódio foi adicionado sempre que necessário para manter o pH (próximo a 7,8) e a alcalinidade total (acima de 100 mg L⁻¹ de CaCO₃) em níveis que permitem o aparecimento e a manutenção das bactérias heterotróficas e quimioautotróficas no ambiente aquícola (Jiménez-Ojeda et al., 2018).

Durante os 35 dias do período experimental, a alimentação dos peixes foi realizada com ração 42% de proteína bruta, *pellet* 2,5 mm (Supra[®], um produto de Alisul Alimentos S.A.; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), duas vezes ao dia (08:00 e 17:00) de segunda à sábado, até a saciedade aparente. Os domingos foram reservados para a realização de limpeza e manutenção do sistema integrado para criação dos animais experimentais em BFT.

Para a realização dos procedimentos biométricos e de coleta de sangue, os peixes foram retirados da caixa com auxílio de puçá e anestesiados com eugenol (Inoue, Boijink, Ribeiro, Silva & Affonso, 2011). Com os resultados das biometrias foram calculados os seguintes índices relacionados ao desempenho zootécnico: Ganho de Peso = peso final – peso inicial; Taxa de Sobrevivência, em porcentagem (TS) = (peixes inicial – peixes final)/100; Conversão Alimentar Aparente (CAA) = ração gasta/ganho de biomassa; Ingestão média diária de ração (IMDR) = ração consumida/dia/biomassa; Taxa de Crescimento Específico (TCE) = $\{[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial})/\text{tempo de cultivo}] \times 100\}$.

Após a coleta de sangue (punção do vaso caudal por meio do uso de seringas heparinizadas), o plasma foi enviado para o Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos

(LAFBOA) da Universidade Federal do Amazonas, onde as condições fisiológicas puderam ser analisadas e avaliadas (Castro et al., 2020). O hematócrito (Ht, %) foi determinado por meio da técnica de microhematócrito. A concentração da hemoglobina (Hb, g dL⁻¹) foi determinada em acordo com o método da cianometahemoglobina. A contagem de células vermelhas (RBC, milhões mm⁻³) foi realizada em uma câmara de Neubauer por meio do uso de um microscópio óptico. Após a obtenção desses parâmetros iniciais, os seguintes índices foram determinados: volume corpuscular médio (VCM, fL), hemoglobina corpuscular média (HCM, pg) e concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM, g dL⁻¹) (Wintrobe, 1934).

De posse dos dados dos biométricos, ainda foi possível avaliar o “bem estar” dos animais por meio da determinação individual do fator de condição relativo ($Kn = Wt/We$). O fator Kn foi obtido por meio da razão entre o peso final amostrado (Wt, em gramas) e o peso final esperado (We, em gramas) para um determinado comprimento final amostrado (Ct, em centímetros) (Le Cren, 1951). Para isso, foi utilizada uma relação peso-comprimento logarítmica ($Wt = aLt^b$), sendo que as constantes “a” e “b”, oriundas dessa equação, foram posteriormente utilizadas para formar uma outra equação, fundamental para estimar um peso total (We) em função de um dado valor de comprimento total (Lt): $We = aLt^b$ (Tavares-Dias et al., 2008).

Os dados zootécnicos, de qualidade de água, hematológicos e de bem-estar dos animais foram analisados quanto à normalidade pelo Teste de Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade de variâncias pelo Teste de Levene para o uso da Análise de Variância. As diferenças estatísticas significativas entre as médias dos tratamentos foram avaliadas por meio do uso do Teste de Tukey. Todos os dados expressos em porcentagens foram transformados (arco-seno) e analisados com 95% de confiança (Bhujel, 2008). O fator de condição relativo (Kn) de cada um dos tratamentos foram comparados em relação ao padrão $Kn = 1,00$ por meio do Teste de Student, também à 5% de significância (Andrade-Talmelli, Fenerich-Verani & Verani, 1999).

3. RESULTS

Os parâmetros físicos e químicos da água durante o experimento se mantiveram dentro do intervalo de tolerância desejado para a manutenção da maioria das espécies neotropicais (Boyd, 2015). Não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos experimentais para nenhum dos parâmetros de qualidade da água amostrados. Os parâmetros variaram nos seguintes intervalos: oxigênio dissolvido de 4,3 a 5,3 mg L⁻¹ ($4,8 \pm 0,5$), temperatura da água entre 25,7 e

26,5 °C (26,1±0,4), pH de 7,5 à 8,2 (7,9±0,4). Os valores de amônia total e nitrito amostrados durante todo o experimental estão dispostos na Figura 01. Já a evolução diária dos níveis de sólidos sedimentáveis apresentados pelos tratamentos está demonstrada na Figura 02.

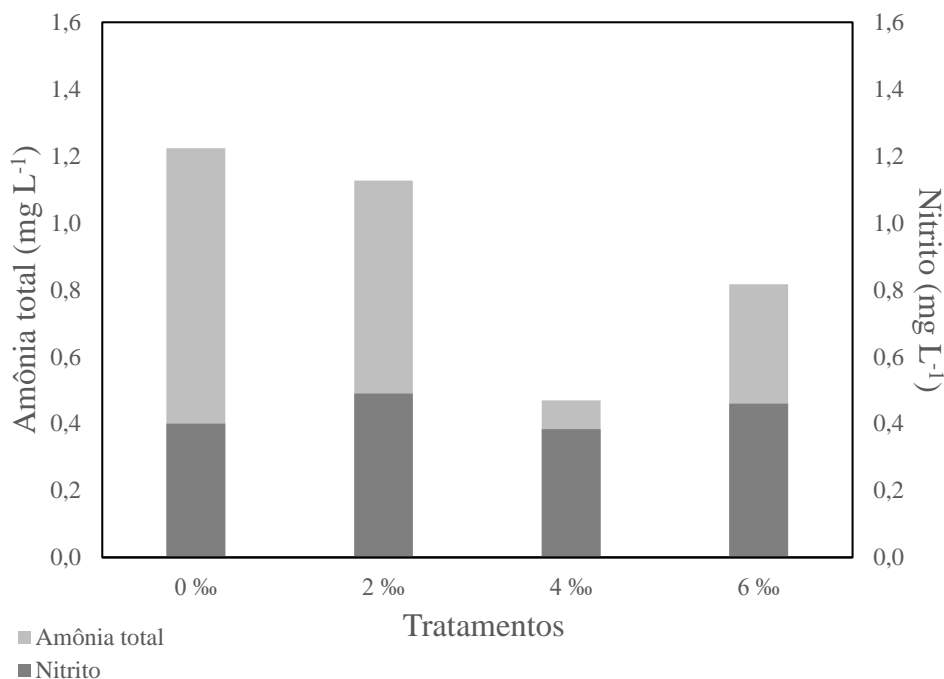


Figura 1. Níveis de amônia total (NH₃ + NH₄⁺) e nitrito (NO₂⁻) apresentados pela criação de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias

Não houve qualquer mortalidade durante o período em que foi conduzido o experimento. Dentre todos os parâmetros zootécnicos testados, o único que apresentou diferença estatística significativa foi o IMDR. Os demais não apresentaram qualquer diferença estatística significativa ao nível de $\alpha = 0,05$ (Tabela 01). Situação parecida foi verificada em relação às condições hematológicas dos animais experimentais, pois estas também não apresentam diferenças estatísticas significativas em relação aos tratamentos propostos ($p > 0,05$; Tabela 02).

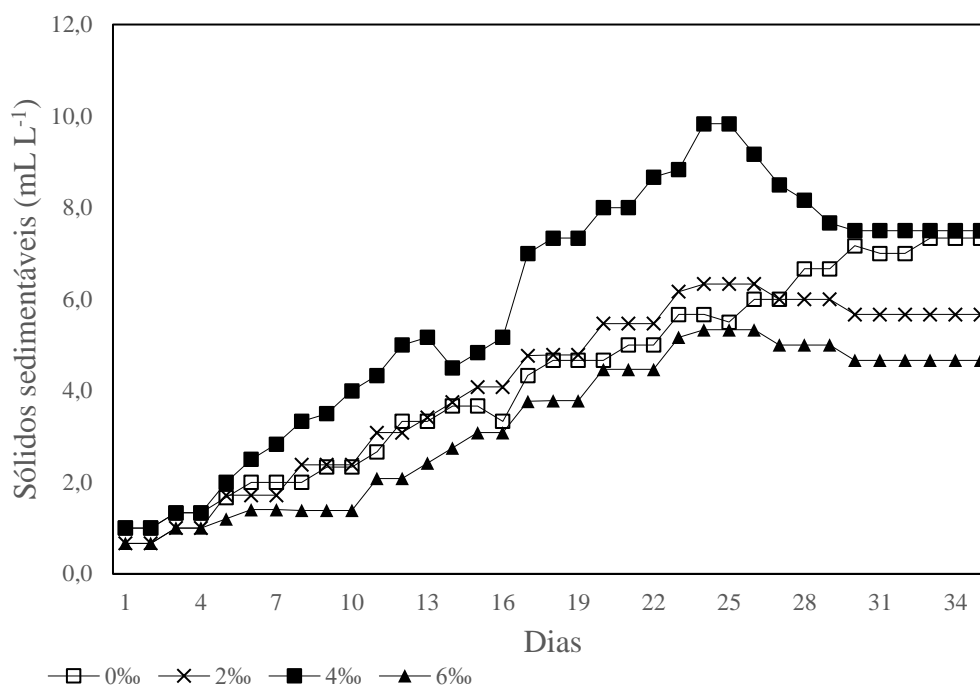


Figura 2. Sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹) apresentados pela criação de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias

Tabela 1. Parâmetros zootécnicos de juvenis de *C. macropomum* criados em quatro diferentes salinidades durante 35 dias

Parâmetros zootécnicos	Tratamentos			
	T1 = 0 g L ⁻¹	T2 = 2 g L ⁻¹	T3 = 4 g L ⁻¹	T4 = 6 g L ⁻¹
Sobrevivência (%)	100,0	100,0	100,0	100,0
Peso inicial (g)	15,4±0,4 ^a	15,9±0,3 ^a	15,3±0,2 ^a	15,6±0,2 ^a
Comprimento inicial (cm)	7,7±0,3 ^a	7,8±0,2 ^a	7,6±0,1 ^a	7,6±0,2 ^a
Peso final (g)	39,6±5,5 ^a	43,0±1,3 ^a	43,0±0,4 ^a	40,8±4,8 ^a
Comprimento final (cm)	10,4±0,3 ^a	10,7±0,31 ^a	10,6±0,01 ^a	10,3±0,3 ^a
Ganho de peso (g)	24,1±5,09 ^a	27,1±0,98 ^a	27,7±0,31 ^a	25,2±4,53 ^a
TCE (% dia ⁻¹)	2,67±0,3 ^a	2,85±0,1 ^a	2,96±0,04 ^a	2,73±0,3 ^a
IMDR (g alimento peixe ⁻¹ dia ⁻¹)	0,86±0,1 ^a	0,88±0,1 ^a	0,84±0,01 ^a	0,79±0,1 ^b
CAA	1,04±0,2 ^a	0,91±0,1 ^a	0,84±0,01 ^a	0,87±0,1 ^a

Os dados apresentados são por compostos por médias ± desvio padrão obtidos das unidades experimentais (01 caixa d'água = 01 réplica). Em cada uma das linhas, as médias significativamente iguais possuem as mesmas letras sobrescritas (p > 0,05).

Legenda: (TCE) = taxa de crescimento específico; (IMDR) = ingestão média diária de ração; (CAA) = conversão alimentar aparente

Com as biometrias realizadas no início, meio e final do período experimental foi possível fazer uma regressão linear e estimar a curva de crescimento para a recria de *C. macropomum* criado em ambiente salino: $y = 0,8118x + 15,65$; $R^2 = 0,9803$. Para isso, foram utilizados os dados biométricos dos animais submetidos ao tratamento que apresentou o maior ganho de biomassa (T3 = 4‰).

Também não houve diferenças estatísticas significativas em relação às condições hematológicas amostradas durante as análises da série vermelha para *C. macropomum* criados nas condições experimentais utilizadas (Tabela 02).

Avaliando a condição de bem-estar dos animais, o fator de condição (Kn) não apresentou diferença estatística na comparação entre os tratamentos testados. Porém, quando a comparação foi feita em relação ao valor centralizador padrão (Kn = 1,00), apenas um tratamento apresentou diferença estatística significativa (T3 = 1,03; $p < 0,05$) (Figura 03).

Tabela 2. Condições hematológicas e de bem-estar (fator de condição) de juvenis de *C. macropomum* criados em quatro diferentes salinidades durante 35 dias

Parâmetros	Tratamentos			
	T1 = 0 g L ⁻¹	T2 = 2 g L ⁻¹	T3 = 4 g L ⁻¹	T4 = 6 g L ⁻¹
Hemoglobina (g dL ⁻¹)	5,87±0,5 ^a	6,15±0,5 ^a	7,03±0,9 ^a	6,41±0,3 ^a
Hematócrito (%)	24,2±0,50 ^a	24,7±1,6 ^a	27,2±0,6 ^a	25,2±1,7 ^a
RBC (milhões mm ⁻³)	1,00±0,13 ^a	1,05±0,2 ^a	1,06±0,1 ^a	0,97±0,2 ^a
VCM (fL)	244,0±30,5 ^a	238,4±31,9 ^a	256,4±8,4 ^a	266,5±43,5 ^a
HCM (pg)	58,9±3,2 ^a	59,4±8,8 ^a	66,1±5,3 ^a	68,1±12,6 ^a
CHCM (g dL ⁻¹)	24,3±1,7 ^a	24,9±0,6 ^a	25,8±2,7 ^a	25,5±0,7 ^a
Fator de condição (Kn)	0,97±0,09 ^a	1,01±0,03 ^a	1,03±0,01 ^a	1,03±0,06 ^a

Os dados apresentados são por compostos por médias ± desvio padrão obtidos das unidades experimentais (01 caixa d'água = 01 réplica). Em cada uma das linhas, as médias significativamente iguais possuem as mesmas letras sobrescritas ($p > 0,05$).

Legenda: (RBC) = número de eritrócitos circulantes; (VCM) = volume corpuscular médio; (HCM) = hemoglobina corpuscular média; (CHCM) = concentração da hemoglobina corpuscular média

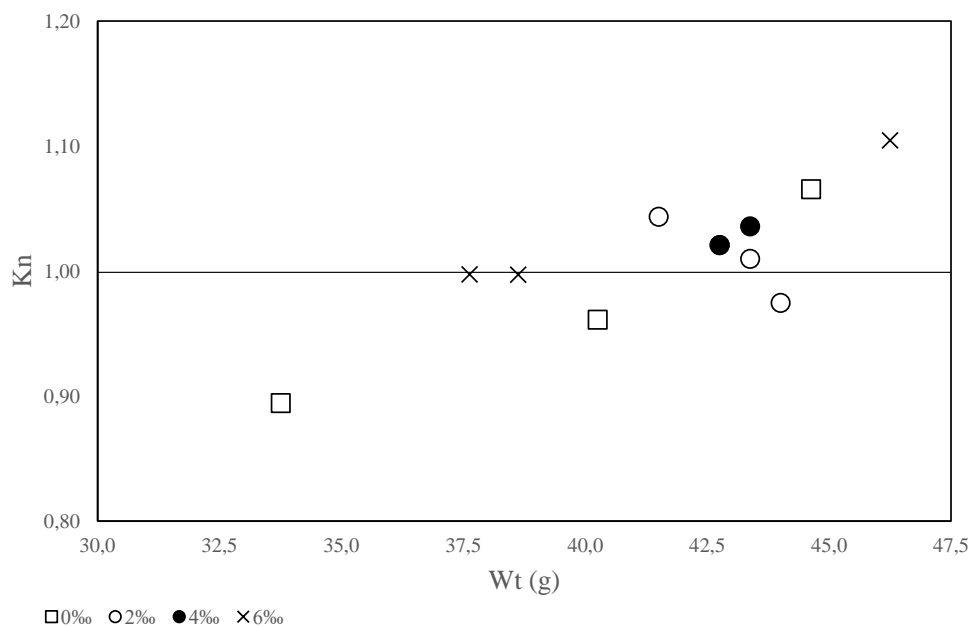


Figura 3. Valores individuais do fator de condição relativo (Kn), entorno do valor padrão (1,00), em relação ao peso total (Wt) de juvenis de *C. macropomum* em quatro diferentes salinidades durante o período experimental de 35 dias

4. DISCUSSION

Durante todo o período experimental, os níveis de pH (entre 7,5 a 8,2), temperatura (25,7 e 26,5 °C) e OD (4,3 a 5,3 mg L⁻¹) proporcionaram aos juvenis de *C. macropomum* condições produtivas satisfatórias.

O pH é um indicador da concentração dos íons hidrogênio, resultado das interações químicas entre as substâncias ácidas e básicas presentes na água (pH significa potencial hidrogeniônico). Um dos maiores acidificantes da água é o dióxido de carbono (CO₂), molécula química gerada pela fotossíntese e respiração animal. Para neutralizar esse processo natural de redução no pH é necessário aplicar insumos que sejam fontes de íons carbonato e bicarbonato, como é o caso do calcário e seus derivados (Boyd, 2015).

Zhang, Pan, Chen & Wang (2015) ressaltam que no sistema BFT existe um contínuo consumo da alcalinidade por parte das bactérias quimioautotróficas e heterotróficas durante o processo de assimilação da amônia, sendo necessária a constante reposição dessa alcalinidade consumida, o que evita a redução do potencial hidrogeniônico da água da unidade produtiva e proporciona carbono inorgânico para que as bactérias continuem nos processos de assimilação e nitrificação. Estudando os efeitos de três níveis de pH (7,0; 7,6; 8,1) sobre a criação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, os mesmos autores puderam determinar que a manutenção do pH no nível mais elevado, dentre os tratamentos testados, (8,1) proporcionou um maior crescimento corporal e uma menor concentração de amônia total e de nitrito na água. Porém, vale lembrar que o pH próximo ao neutro (entre 6,0 e 7,0) é o que mais favorece a homeostase de *C. macropomum* submetidos a criação intensiva, uma vez que a exposição permanente a valores maiores ou menores produz alterações significativas na hemoglobina, hematócrito, proteína total e glicose plasmática (Aride, Roubach & Val, 2004; Aride, Roubach & Val, 2007).

Em relação a temperatura, por ser um animal pecilotérmico, *C. macropomum* possui todo o metabolismo diretamente relacionado as oscilações diárias, em graus Celsius, da água nas unidades produtivas. Ou seja, tende a apresentar um metabolismo muito mais acelerado nas horas do dia em que a radiação solar é mais intensa. Barroso, Almeida-Val & Val (2020) demonstraram essa condição quando analisaram, durante 30 dias, o metabolismo de *C. macropomum* em repouso e sob velocidade crítica de natação. Em ambas as condições, o metabolismo dos peixes se mostrou menor em condição de jejum e na menor temperatura testada (27 °C). Essa supressão metabólica é uma estratégia natural bastante interessante e que permite a manutenção da capacidade natatória

de *C. macropomum* em momentos de vazante e seca dos rios da Bacia Amazônica. Já em relação ao sistema BFT, a temperatura pode influenciar negativamente na capacidade das bactérias heterotróficas não-patogênicas e quimioautotróficas (BOA e BON) em assimilar o nitrogênio inorgânico existente, sendo indicado uma temperatura que oscile entre 28 e 30 °C (Jiménez-Ojeda et al., 2018), valores próximos aos observados neste experimento.

Analisando os dados do oxigênio dissolvido, a média do OD nesse trabalho foi de fundamental importância para as bactérias de interesse do sistema BFT, pois as reações que envolvem neutralização de amônia e nitrito são oxidativas e necessitam de OD para ocorrerem. É aconselhável a manutenção do OD acima de 60% da saturação, uma vez que valores inferiores interferem negativamente na eficiência dessas reações (Collazos-Lasso & Arias-Castellanos, 2015). Para *C. macropomum*, cabe destacar seu comportamento fisiológico frente às possíveis oscilações de OD. Caso seja submetido a ambientes ou momentos de hipóxia, *C. macropomum* possui ferramenta adaptativa que promove uma rápida elevação na contagem do RBC, elevando a própria capacidade de enviar oxigênio, por meio do plasma, para seus tecidos e órgãos (Abdel-Tawwab, Monier, Hoseinifar & Faggio, 2019).

A amônia e nitrito são as formas nitrogenadas mais letais existentes na aquicultura. Aproximadamente, 85% do que o *C. macropomum* excreta é em forma de amônia (Wood, Netto, Wilson, Duarte & Val, 2017), composto químico precursor do nitrito e do nitrato durante o processo de nitrificação. A importância das heterotróficas não-patogênicas nesse processo é absorver a maior quantidade possível de amônia antes que essa possa ser transformada em nitrito pelas bactérias do tipo BOA (bactérias oxidadoras de amônia). Para que o nitrito remanescente possa ser transformado em nitrato, composto nitrogenado de menor toxicidade e letalidade, é imprescindível a presença de bactérias do tipo BON (bactérias oxidadoras de nitrito), sendo essas as únicas capazes de desempenhar o papel nitrificante (produção de nitrato, a partir de nitrito) neste processo (Bossier & Ekasari, 2017).

Os reduzidos e controlados valores de amônia e nitrito apresentados durante a execução deste experimento podem ser explicados, principalmente, pela manutenção dos níveis de OD acima de 4,0 mg L⁻¹, alcalinidade total acima de 100 mg L⁻¹, fornecimento contínuo de bactérias heterotróficas por meio do uso de probiótico e uso do biorreator BIO-BON, responsável pelo envio das bactérias nitrificantes sempre que os valores de nitrito atingiam níveis próximos a 1,0 mg L⁻¹. Vale destacar a importância na condução do correto processo de alcalinização da água por meio do

uso do bicarbonato de sódio, uma vez que o balanço existente dentro da equação química que determina a amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) é dependente do pH (Martins, Tarouco, Rosa & Robaldo, 2017). Para evitar ou reduzir a preponderância da amônia na sua forma não-ionizada (NH_3), forma gasosa e mais tóxica da amônia, é necessário que não haja um aumento exagerado do pH, sendo recomendável não ultrapassar um teto de 8,5 (Boyd, 2015).

Apesar de não ter havido diferença estatística significativa, tanto a amônia total quanto o nitrito obtiveram os menores níveis no tratamento T3 (4‰). Isso pode ser explicado por ter sido o tratamento que apresentou a maior concentração de sólidos sedimentáveis, uma vez que no sistema BFT os sólidos sedimentáveis cumprem o papel de substrato de fixação para as bactérias de interesse (BOA, BON e heterotróficas não-patogênicas). Aspecto semelhante também foi observado por Bakar et al. (2015) que determinaram que maiores relações C:N promovem um aumento dos sólidos sedimentáveis (bioflocos), resultando em mitigações de possíveis acúmulos de amônia e nitrito no sistema.

Não foi observada qualquer tipo de mortalidade durante a condução deste experimento para *C. macropomum*, algo observado também por Chagas e Val (2003), que criaram juvenis de *C. macropomum*, com e sem suplementação de ácido ascórbico, em caixas d'água acopladas a filtros biológicos durante 10 semanas; por López e Anzoátegui (2013) durante a criação de *C. macropomum* em sistema intensivo do tipo fechado (RAS); e por Albab, Ayu & Iskandar (2019) quando analisaram o efeito de diferentes quantidades de probiótico (*Bacillus* sp.) sobre o crescimento e taxa de sobrevivência de *C. macropomum*, também em sistema BFT. No entanto, peixes tropicais em densidades de estocagem e salinidades mais elevadas podem apresentar mortalidades, como foi observado por Brol et al. (2017) enquanto avaliavam o desempenho zootécnico das tilápias nilótica (*Oreochromis niloticus* – linhagem GIFT) e vermelha (*Oreochromis sp.*) em sistema BFT. No respectivo estudo de Brol et al. (2017), as taxas de sobrevivência oscilaram entre 72,9 e 90,6% para indivíduos criados em salinidade 8‰ e densidades de 400 e 800 indivíduos m^{-3} .

Os peixes deste experimento em salinidade 4‰ apresentaram maior TCE ($2,96 \pm 0,04\%$). O resultado por meio do cálculo do TCE do tratamento T3 foi superior que o TCE máximo obtido por Gomes et al. (2006) durante a avaliação do desempenho de *C. macropomum* submetido à quatro diferentes densidades de estocagem (20, 30, 40 e 50 peixes m^{-3}), sendo também superior as TCE's obtidas por Fiuza et al. (2013) e por Souza, Lima, Melo, Ferreira & Correia (2019). Fiuza et al.

(2013) avaliaram o desempenho zootécnico de juvenis de *C. macropomum*, criados em sistemas de recirculação e água clara, durante 84 dias e em quatro diferentes concentrações salinas: 0‰, 5‰, 10‰, 15‰. Já Souza et al. (2019) analisaram o crescimento de *O. niloticus*, durante 90 dias, em cinco diferentes salinidades (0‰, 4‰, 8‰, 12‰, 16‰). Fazendo a comparação dos resultados obtidos aqui neste trabalho com criações em ambientes ausentes de salinidade, Silva, Santos, Bruno & Soares (2013), criando *C. macropomum* em canais de abastecimento sob três diferentes densidades durante 45 dias, obtiveram TCE médio que oscilou entre $2,95 \pm 0,11\%$ e $3,13 \pm 0,15\%$, valores semelhantes aos obtidos aqui neste trabalho.

O ganho de peso (GP) também foi outro parâmetro zootécnico que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Porém, em virtude do tratamento 4‰ ter apresentado maior TCE, este tratamento também foi o que obteve o maior GP em números absolutos. O GP médio apresentado dentre os tratamentos testados aqui neste trabalho foi de $26,0 \pm 2,43$ g, valor inferior as médias de 45,02 g e $34,99 \pm 1,78$ g obtidas por Chagas e Val (2003) e Silva et al. (2013), respectivamente.

De todos os parâmetros zootécnicos, o IMDR foi o único parâmetro zootécnico que registrou diferença estatística ($p < 0,05$). O tratamento com 4‰ de salinidade foi o que apresentou maior IMDR, em termos absolutos, na comparação com os demais equivalentes estatisticamente. O IMDR médio alcançado com os juvenis de *C. macropomum* aqui neste trabalho foi de $0,81 \pm 0,05$ g dia⁻¹, valor inferior ao intervalo apresentado por Fiuza et al. (2013) que oscilou entre $1,0 \pm 0,1$ e $5,7 \pm 0,4$ g dia⁻¹.

Em relação as CAA's obtidas, a discrepância entre os valores em termos absolutos é algo bastante importante de se analisar ($T1\ 20\% > T3$), uma vez que o CAA é um dos parâmetros zootécnicos mais importantes e auxilia na demonstração da relação direta que existe entre o aumento da biomassa do lote e a quantidade de alimento ofertado. Portanto, pode-se afirmar que os valores mais baixos de IMDR influenciaram positivamente o CAA deste experimento, pois o CAA médio de $0,91 \pm 0,09$ foi inferior aos CAA's médios de 2,76 e $0,99 \pm 0,06$ encontrados por Chagas e Val (2003) e Silva et al. (2013), respectivamente, sendo também menor que o CAA de $1,3 \pm 0,01$ determinado por Fiuza et al. (2013) para os juvenis de *C. macropomum* criados em salinidade de 5‰. Muitos são os fatores que podem influenciar positivamente para redução do CAA: bem-estar animal, correta densidade de estocagem, dieta alimentar que obedeça a relação inversa entre necessidade proteica e tamanho do peixe e, para animais filtradores, alimento inerte

disponível para consumo (Crab, Lambert, Defoirdt, Bossier & Verstraete, 2010). Avnimelech (2007) determinou que os bioflocos demonstraram viabilidade como fonte alimentar para *O. niloticus*, permitindo afirmar que pode haver uma contribuição de até 50% das necessidades proteicas diárias para as espécies de peixes criadas comercialmente em sistema BFT. Todo esse potencial de substituição alimentar é devido aos elevados níveis de proteína bruta (% de PB) encontrados nos bioflocos, pois dependendo da espécie cultivada e da fonte de carbono utilizada, esses níveis de PB podem variar entre 30% e 38% (Marinho-Pereira et al., 2020).

Durante a análise do fator de condição relativo (Kn) não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos testados aqui neste trabalho. Todavia, o Kn dos peixes submetidos ao tratamento 4‰ ($1,03 \pm 0,01$) apresentou diferença significativa em relação ao valor centralizador padrão de 1,0 ($p < 0,05$), o que demonstra um maior conforto fisiológico dos peixes na concentração iônica gerada pela salinidade 4‰ (Figura 03). Os peixes de água doce são animais que dependem bastante de ferramentas fisiológicas para que não percam seus próprios sais durante o processo de absorção da água (osmorregulação). Sendo assim, em um ambiente onde predomine uma quantidade de sais equivalente ou maior que a apresentada normalmente no plasma sanguíneo, a tendência é que o animal gaste menos energia para a própria osmorregulação, deixando caminho livre para que essa energia possa ser convertida em crescimento corporal e demais funções fisiológicas (respiração, natação, digestão, dentre outras) (Mubarik et al., 2019). Santos et al. (2015), estudando o desempenho zootécnico da criação de *C. macropomum* em viveiros escavados de 50 m² com DE de 1 peixe m⁻², alimentados com ração comercial e massa de mandioca, verificaram que o Kn tende a variar, entre valores acima e abaixo do valor centralizador de 1,0, dentro do mesmo ciclo produtivo por causa de fatores atrelados a sazonalidade climática (estações do ano). Comparando os resultados alcançados aqui neste trabalho (Kn médio entre os tratamentos = $1,01 \pm 0,03$) com os obtidos por Scorvo-Filho, Rojas, Silva & Konoike (2004) para criação de pirarucus (*Arapaima gigas*) em sistema fechado de recirculação de água (Kn = $1,002 \pm 0,072$) é possível afirmar que o fator de condição relativo (Kn) pode ser usado para avaliar as condições aquícolas da estocagem de peixes em sistemas fechados e intensivos de criação.

Nenhum dos parâmetros hematológicos apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos. No entanto, Burgos-Aceves, Lionetti & Faggio (2019) ressaltam que podem haver alterações importantes na hemoglobina (Hb), hematócrito (Ht) e no número de eritrócitos circulantes (RBC) relacionados a estresses osmóticos desencadeados pelo aumento da salinidade.

A determinação do Hb é importante para indicar a capacidade que o plasma possui em transportar o gás oxigênio oriundo da respiração dos peixes. O Hb amostrado aqui neste trabalho oscilou entre $5,87 \pm 0,5$ e $7,03 \pm 0,9$ g dL⁻¹, menor que a média de $11,3 \pm 0,9$ g dL⁻¹ encontrada por Tavares-Dias e Sandrim (1998) em *C. macropomum* mantidos em viveiros, mas que não foram submetidos a situações normais de uma criação comercial, e que a média de $13,05 \pm 1,09$ g dL⁻¹ aferida por Gomes et al. (2006) para *C. macropomum* criados em tanques-rede. No entanto, o Hb médio deste estudo ficou dentro do intervalo médio de 4,2 a $11,0 \pm 0,3$ g dL⁻¹ apresentado por Ranzani-Paiva et al. (1999), onde os indivíduos também não foram submetidos as condições de estresse fisiológico comuns a qualquer sistema de criação semi-intensivo ou intensivo.

Já a análise do Ht se justifica por ser um parâmetro hematológico que demonstra a porcentagem de eritrócitos em relação ao volume total do sangue. Neste experimento, os valores médios correspondentes ao Ht oscilaram entre $24,2 \pm 0,50$ e $27,2 \pm 0,6\%$, dados inferiores aos $41,6 \pm 6,9\%$ encontrados por Tavares-Dias e Sandrim (1998), aos $30,7 \pm 3,79\%$ registrados por Gomes et al. (2006), mas semelhantes aos $25,4\%$ encontrados por Ranzani-Paiva et al. (1999). Todavia, foram maiores que o Ht médio de $21,8 \pm 0,7\%$ (intervalo entre 17,2 e 26,2%) registrado por Marcon e Wilhelm-Filho (1999) em *C. macropomum* capturados em ambiente natural.

Entretanto, um dos melhores indicadores hematológicos de saúde e bem-estar em peixes é o demonstra a porcentagem de eritrócitos em relação ao volume total do sangue (Burgos-Aceves et al., 2019). O RBC médio obtido junto aos animais experimentais oscilou entre $0,97 \pm 0,2$ e $1,06 \pm 0,1$ milhões mm⁻³, menor que a média de $2,45 \pm 0,40$ milhões mm⁻³ encontrada por Gomes et al. (2006).

Baixos valores de Ht, Hb e RBC, em ambiente de cultivo podem estar relacionados a quadros de anemia (Chagas & Val, 2003). No entanto, Ranzani-Paiva et al. (1999) justificaram que valores hematológicos inferiores aos padrões encontrados também podem ser ocasionados por diferenças relacionadas a variações naturais e específicas das condições dos locais onde os animais estão estocados. Em relação a comparação dos animais em condições de cativeiro e ambiente natural, Aride et al. (2007) demonstraram deficiências nas condições hematológicas quando submeteram juvenis de *C. macropomum* ao pH 8,0, na comparação com os pH's 4,0 e 6,0.

A hemoglobina corpuscular média (HCM), o volume corpuscular médio (VCM) e a concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM) também são parâmetros hematológicos comumente correlacionados a capacidade do plasma em carrear oxigênio e como indicador

ambiental para qualquer tipo de alteração química mais relevante na água (Kumar & Banerjee, 2016). Durante o atual experimento, os animais apresentaram VCM médio de $244 \pm 30,46$ fL, HCM médio de $58,88 \pm 3,23$ pg e CHCM médio de $24,27 \pm 1,73$ g dL⁻¹. Desses parâmetros determinados, o VCM ficou acima do que obtiveram Ranzani-Paiva et al. (1999) e Gomes et al. (2006), o HCM ficou acima para o amostrado por Tavares-Dias e Sandrim (1998), Ranzani-Paiva et al. (1999) e Gomes et al. (2006), e o CHCM ficou no intervalo encontrado por Ranzani-Paiva et al. (1999), mas abaixo do que obtiveram Tavares-Dias e Sandrim (1998) e Gomes et al. (2006).

Na natureza, a salinidade é um gradiente ambiental primário bastante utilizado para se diferenciar ambientes de água doce, estuarinos e marinhos. Embora os íons H⁺, K⁺ e HCO₃⁻ também contribuam, mas a osmolaridade do fluido aquático é crucialmente determinada pela presença específica de dois íons: Na⁺ e Cl⁻ (Griffith, 2017). Assim como ocorre com *C. macropomum*, outras espécies nativas, como o surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), o pacamã (*Lophiosilurus alexandri*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e a matrinxã (*Brycon amazonicus*), também podem ser consideradas espécies estenoalinas, ou seja, tolerantes a baixas concentrações salinas na água (Santos & Luz, 2009; Jomori, Luz & Portella, 2012; Fiuza et al., 2013; Jomori, Luz, Takata, Fabregat & Portella, 2013). Usar água com baixos níveis de salinidade pode promover interessantes efeitos positivos a criação comercial de organismos aquáticos de água doce em sistema fechado, pois: 1) reduz o gasto energético para a regulação iônica e osmótica, pois o plasma sanguíneo é hiperosmótico em relação ao ambiente aquático ausente de salinidade, o que acaba por maximizar o crescimento e demais parâmetros zootécnicos (Mubarik et al., 2019); 2) reduz o esforço relacionado a flutuabilidade, uma vez que a presença de salinidade aumentará a gravidade específica do fluido aquático (Jomori et al., 2013); 3) e diminui o estresse fisiológico, pois auxilia na rápida redução do cortisol plasmático após o manejo (Mirghaed & Ghelichpour, 2019).

ACKNOWLEDGMENTS

Este trabalho foi financiado pelo Laboratório de Inovações Tecnológicas para a Aquicultura (UFAM) e pela empresa Ecology Pescados (Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil). Também é necessário agradecer ao Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos (UFAM) pelo suporte técnico e científico.

CONFLICT OF INTEREST

Não existem conflitos de interesse em relação a publicação deste artigo.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

Todos os dados relevantes relacionados ao trabalho desenvolvido já foram disponibilizados neste artigo.

REFERENCES

ABDEL-TAWWAB, M., MONIER, M.N., HOSEINIFAR, S.H. & FAGGIO, C. (2019). Fish response to hypoxia stress: growth, physiological and immunological biomarkers. *Fish, Physiology and Biochemistry*, 45, 997-1013. doi: <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00614-9>

ALBAB, W.A., AYU, P.N. & ISKANDAR, P. (2019). Pengaruh Penambahan Probiotik dalam Pakan terhadap Laju Pertumbuhan dan Kelulushidupan Ikan Bawal Air Tawar (*Colossoma macropomum*) dengan Sistem Bioflok. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 24, 1, 32-40. doi: <https://doi.org/10.31258/jpk.24.1.32-40>

ANDRADE-TALMELLI, E.F., FENERICH-VERANI, N. & VERANI, J.R. (1999). Fator de condição relativo (Kn): um critério para selecionar fêmeas de piabanha, *Brycon insignis* (Steindachner, 1876) (Pisces: Bryconinae), para indução reprodutiva. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.25, p.95-99.

ARIDE, P.H.R., ROUBACH, R. & VAL, A.L. (2004). Water pH in Central Amazon and its importance for tambaqui (*Colossoma macropomum*) culture. *World Aquaculture*, v.35, n.2.

ARIDE, P.H.R., ROUBACH, R. & VAL, A.L. (2007). Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. *Aquaculture Research*, 38, 588-594. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01693.x>

AVNIMELECH, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 140-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>

BAKAR, N.S.A., NASIR, N.M., LANANAN, F., HAMID, S.H.A., LAM, S.S. & JUSOH, A. (2015). Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology. International Biodeterioration & Biodegradation, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.001>

BARROSO, D.C., ALMEIDA-VAL, V.M. & VAL, A.L. (2020). Temperature and food availability alters the physiology and aerobic capacity of tambaqui (*Colossoma macropomum*). Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, 245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110704>

BHUJEL, R.C. (2008). Statistics for aquaculture. USA: Wiley-Blackwell.

BOSSIER, P. & EKASARI, J. (2017). Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. Microbial Biotechnology, 10, 1012-1016. doi: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>

BOYD, C.E. (2015). Water quality: an introduction. USA: Springer. 2ed.

BROL, J., PINHO, S.M., SGNAULIN, T., PEREIRA, K.R., THOMAS, M.C., MELLO, G.L., MIRANDA-BAEZA, A. & EMERENCIANO, M.G.C. (2017). Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. Archivos de Zootecnia, 66, 254, 229-235. doi: <https://doi.org/10.21071/az.v66i254.2326>

BURGOS-ACEVES, M.A., LIONETTI, L. & FAGGIO, C. (2019). Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish. Science of the Total Environment, 670, 1170-1183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.275>

CASTRO, P.D.S, LADISLAU, D.S., RIBEIRO, M.W.S., LOPES, A.C.C., LAVANDER, H.D., BASSUL, L.A., MATTOS, D.C., LIEBL, A.R.S., ARIDE, P.H.R. & OLIVEIRA, A.T. (2020) Hematological parameters of three species of the peacock bass (*Cichla* spp.) from Balbina lake,

Presidente Figueiredo, Amazonas, Brazil. Brazilian Journal of Biology, in press. doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.219409>

CHAGAS, E.C. & VAL, A.L. (2003). Efeito da vitamina C no ganho de peso e em parâmetros hematológicos de tambaqui. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38 ,3, 397-402. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000300009>

COLLAZOS-LASSO, L.F. & ARIAS-CASTELLANOS, J.A. (2015) Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. Orinóquia, 19, 1, 77-86.

COSTA, J.I., GOMES, A.L.S., BERNARDINO, G., SABBAG, O.J. & MARTINS, M.I.E.G. (2018). Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil. Agro@mbiente On-line, 12, 234-244. doi: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i3.48985>

CRAB, R., LAMBERT, A., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P. & VERSTRAETE, W. (2010) The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. Journal of Applied Microbiology, 109, 1643-1649. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04791.x>

EBELING, J.M., TIMMONS, M.B. & BISOGNI, J.J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. Aquaculture, 257, 346-358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

FEITOZA, D.L.S.; SONODA, D.Y.; SOUZA, L.A. (2018). Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima. Revista iPecege, 4, 40-53. doi: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2018.4.40>

FIUZA, L.S., ARAGÃO, N.M., RIBEIRO-JUNIOR, H.P., MORAES, M.G., ROCHA, I.R.C.B., LUSTOSA-NETO, A.D., SOUSA, R.R., MADRID, R.M.M., OLIVEIRA, E.G. & COSTA, F.H.F. (2013). Effects of salinity on the growth, survival, haematological parameters and osmoregulation of tambaqui *Colossoma macropomum* juveniles. *Aquaculture Research*, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1111/are.12224>

GARCÍA-RÍOS, L., MIRANDA-BAEZA, A., COELHO-EMERENCIANO, M.G., HUERTA-RÁBAGO, J.A. & OSUNA-AMARILLAS, P. (2019). Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 502, 26-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.057>

GOMES, L.C., CHAGAS, E.C., MARTINS-JUNIOR, H., ROUBACH, R., ONO, E.A. & LOURENÇO, J.N.P. (2006). Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture*, 253, 374-384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.020>

GRIFFITH, M.B. (2017). Toxicological perspective on the osmoregulation and ionoregulation physiology of major ions by freshwater animals: Teleost fish, Crustacea, aquatic insects, and Mollusca. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 3, 576-600. doi: <https://doi.org/10.1002/etc.3676>

INOUE, L. A. K. A., BOIJINK, C. L., RIBEIRO, P. T., SILVA, A. M. D. D. & AFFONSO, E. G. (2011). Avaliação de respostas metabólicas do tambaqui exposto ao eugenol em banhos anestésicos. *Acta Amazonica*, 41, 2, 327-332. doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000200020>

JIA, R., HAN, C., LEI, J.L., LIU, B.L., HUANG, B., HUO, H.H. & YIN, S.T. (2015). Effects of nitrite exposure on haematological parameters, oxidative stress and apoptosis in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquatic Toxicology*, 169, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.09.016>

JIMENEZ-OJEDA, Y.K., COLLAZOS-LASSO, L.F. & ARIAS-CASTELLANOS, J.A. (2018). Dynamics and use of nitrogen in biofloc technology – BFT. *AAACL Bioflux*, 11, 4, 1107-1129.

JOMORI, R.K., LUZ, R.K. & PORTELLA, M.C. (2012). Effect of salinity on larval rearing of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a freshwater species. *Journal of the World Aquaculture Species*, 43, 03. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00570.x>

JOMORI, R.K., LUZ, R.K., TAKATA, R., FABREGAT, T.E.H.P. & PORTELLA, M.C. (2013). Água levemente salinizada aumenta a eficiência da larviculture de peixes neotropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48, 8, 809-815. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800001>

KUMAR, R. & BANERJEE, T.K. (2016). Arsenic induced hematological and biochemical responses innutritionally important catfish *Clarias batrachus* (L.). *Toxicology Reports*, 3, 148-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.01.001>

LE CREN, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch *Perca fluviatilis*. *The Journal of Animal Ecology*, 20, 2, 201-19. doi: <https://doi.org/10.2307/1540>

LIMA, C.A.S.; MACHADO-BUSSONS, M.R.F.; PANTOJA-LIMA, J. (2019). Classificação dos sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11. doi: <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.707>

LIMA, C.A.S.; BUSSONS, M.R.F.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; O’SULLIVAN, F.L.A.; PANTOJA-LIMA, J. (2020). Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil. *Aquaculture Economics & Management*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1080/13657305.2020.1765895>

LOPEZ, P. & ANZOÁTEGUI, D. (2013). Engorde de la cachama (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816) cultivada en un sistema de recirculación de agua. *Zootecnia Tropical*, 31, 4, 271-277.

MARCON, J.L. & WILHELM-FILHO, D. (1999). Antioxidant processes of the wild tambaqui, *Colossoma macropomum* (Osteichthyes, Serrasalminidae) from the Amazon. *Comparative Biochemistry and Physiology – Part C*, 123, 257-263. doi: [https://doi.org/10.1016/S0742-8413\(99\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(99)00030-4)

MARINHO-PEREIRA, T., FARIA-JUNIOR, C.H., RINCÓN, L.M.G., BRITTO, E.N., CAVERO, B.A.S., ARIDE, P.H.R. & OLIVEIRA, A.T. (2020). Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana. *Brazilian Journal of Development*, 6, 2, 7847-7862. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-187>

MARTINS, G.B., TAROUCO, F., ROSA, C.E. & ROBALDO, R.B. (2017). The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 468, 10-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.046>

MIRGHAED, A.T. & GHELICHPOUR, M. (2019). Effects of anesthesia and salt treatment on stress responses, and immunological and hydromineral characteristics of common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) subjected to transportation. *Aquaculture*, 501, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.008>

MUBARIK, M.S., ASAD, F., ZAHOOR, M.K., ABID, A., ALI, T., YAQUB, S., AHMAD, S. & QAMER, S. (2019). Study on survival, growth, haematology and body composition of *Cyprinus carpio* under different acute and chronic salinity regimes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 999-1002. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.12.013>

PEIXE BR. (2020). Anuário 2020 – Peixe BR da Piscicultura. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Piscicultura.

RANZANI-PAIVA, M.J., SALLES, F.A., EIRAS, J.C., EIRAS, A.C., ISHIKAWA, C.M. & ALEXANDRINO, A.C. (1999). Análises hematológicas de curimatá (*Prochilodus scrofa*), pacu

(*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do Instituto de Pesca, estado de São Paulo. Boletim do Instituto da Pesca, 25, único, 77-83.

RODRIGUES, A.P.O. (2014). Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). Boletim do Instituto do Pesca, 40, 35-145.

RUIZ, P., VIDAL, J.M., SEPÚLVEDA, D., TORRES, C., VILLOUTA, G., CARRASCO, C., AGUILERA, F., RUIZ-TAGLE, N. & URRUTIA, H. (2019). Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture systems. Reviews in Aquaculture, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12392>

SANTOS, J.C.E. & LUZ, R.K. (2009). Effect of salinity and prey concentrations on *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus costatus* and *Lophiosilurus alexandri* larviculture. Aquaculture, 287, 324-328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.014>

SANTOS, V.A., LOURENÇO, C.B., MALCHER, C.S., TRINDADE, G.V., ARAUJO, R.F. & LOBÃO, R.A. (2015). Relação peso-comprimento e fator de condição relativo do tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) em cativeiro utilizando a massa de mandioca como alimento alternativo. Boletim Técnico Científico do CEPNOR, 15, 1, 09-13. doi: <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p9-13>

SCORVO-FILHO, J.D., ROJAS, N.E.T., SILVA, C.M. & KONOIKE, T. (2004). Criação de *Arapaima gigas* (Teleostei Osteoglossidae) em estufa e sistema fechado de circulação de água, no estado de São Paulo. Boletim do Instituto da Pesca, 30, 2.

SILVA, A.D.R., SANTOS, R.B., BRUNO, A.M.S.S. & SOARES, E.C. (2013). Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes. Acta Amazonica, 43, 4, 517-524. doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400014>

SOUZA, R.L., LIMA, E.C.R., MELO, F.P., FERREIRA, M.G.P. & CORREIA, E.S. (2019). The culture of Nile tilapia at different salinities using a biofloc system. *Revista Ciência Agronômica*, 50, 2, 267-275. doi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190031>

STEAD, S.M. (2019). Using systems thinking and open innovation to strengthen aquaculture policy for the United Nations Sustainable Development Goals. *Journal of Fish Biology*, 94, 837-844. doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.13970>

TAVARES-DIAS, M. & SANDRIM, E.F.S. (1998). Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sanguíneo de espécimes de *Colossoma macropomum* em condições de cultivo. *Acta Scientiarum*, 20, 2, 157-160. doi: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v20i0.4466>

TAVARES-DIAS, M., MARCON, J.L., LEMOS, J.R.G., FIM, J.D.I., AFFONSO, E.G. & ONO, E.A. (2008) Índices de condição corporal em juvenis de *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) e *Colossomoma macropomum* (Cuvier, 1818) na Amazônia. *Boletim do Instituto da Pesca*, 34, 197-204.

WINTROBE, M.M. (1934) Variations on the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. *Folia Haematologica: Internationales Magazin fur Blutforschung*, 51, 32-49.

WOOD, C.M., NETTO, J.G.S., WILSON, J.M., DUARTE, R.M. & VAL, A.L. (2017). Nitrogen metabolism in tambaqui (*Colossoma macropomum*), a neotropical model teleost: hypoxia, temperature, exercise, feeding, fasting, and high environmental ammonia. *Journal of Comparative of Physiology B*, 187, 135-151. doi: <https://doi.org/10.1007/s00360-016-1027-8>

ZACARDI, D.M.; LIMA, M.A.S.; NASCIMENTO, M.M.; ZANETTI, C.R.M. (2017). Caracterização socioeconômica e produtiva da aquicultura desenvolvida em Santarém, Pará. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 5, 102-112. doi: <https://doi.org/10.2312/ActaFish.2017.5.3.102-112>

ZHANG, K., PAN, L., CHEN, W. & WANG, C. (2015). Effect of using sodium bicarbonate to adjust the pH to different levels on water quality, the growth and the immune response of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in zero-water exchange biofloc-based culture tanks. *Aquaculture Research*, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1111/are.12961>

ARTIGO 03 – Aspectos técnicos e econômicos da criação de tabaqui em sistema BFT com água salinizada

Marinho-Pereira, T.; Cavero, B.A.S.; Aride, P.H.R.; Oliveira, A.T. (2020). Aspectos técnicos e econômicos da criação de tabaqui em sistema BFT com água salinizada. Formatado para publicação na *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*.

ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA CRIAÇÃO DE TAMBAQUI EM SISTEMA BFT COM ÁGUA SALINIZADA

Thiago Marinho-Pereira*

Bruno Adan Sagratzki Cavero**

Paulo Henrique Rocha Aride***

Adriano Teixeira de Oliveira****

RESUMO: O objetivo deste artigo é o de demonstrar aspectos técnicos e econômicos relacionados a criação de tambaqui no sistema BFT sob diferentes salinidades. O trabalho foi conduzido nas instalações do Laboratório de Tecnologia e Inovações para Aquicultura (LITA) localizado na Universidade Federal do Amazonas, cidade de Manaus, estado do Amazonas, Brasil. Os índices zootécnicos obtidos e o custo dos insumos utilizados neste experimento tornaram possível simular os custos de produção, índices de rentabilidade e realizar análise comparativa com os sistemas tradicionais localizados nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima. Ao final do período experimental e de processamento dos dados foi possível determinar, pelo menos, 31 fatores de produção, entre investimento e custeio, diretamente relacionados a produção de tambaqui em sistema BFT. Dentre os cenários analisados, o estado do Amazonas é o que apresenta as melhores condições para o recebimento de empreendimentos para a produção de tambaqui. A tecnologia BFT somente é viável para a criação comercial do tambaqui, caso haja a instalação de sistema elétrico on-grid para geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: *Colossoma macropomum*. Bioflocos. Análise econômica. Aquicultura. Baixa salinidade.

*Doutorando em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, docente permanente (Assistente) no curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil

** Doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, docente permanente (Associado) no curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Amazonas

*** Doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, docente permanente no curso de Recursos Pesqueiros do Instituto Federal do Amazonas

**** Doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, docente permanente no curso de Recursos Pesqueiros do Instituto Federal do Amazonas

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF TAMBAQUI CULTIVATION IN BFT SYSTEM WITH SALINIZED WATER

ABSTRACT: The objective of this article is to demonstrate technical and economic aspects related to the cultivation of tambaqui in BFT system under different salinities. The work was conducted at the Laboratory of Technology and Innovations for Aquaculture (LITA) located at the Universidade Federal do Amazonas, city of Manaus, state of Amazonas, Brazil. The zootechnical indexes obtained and the cost of the inputs used in this experiment made it possible to simulate production costs, profitability indexes and perform a comparative analysis with the traditional systems located in the states of Amazonas, Rondônia and Roraima. At the end of the experimental period and data processing, it was possible to determine at least 31 factors of production, between investment and cost, directly related to the production of tambaqui in the BFT system. Among the scenarios analyzed, the state of Amazonas has the best conditions for receiving projects for the production of tambaqui. The BFT technology is only viable for the commercial creation of tambaqui if there is the installation of an on grid electrical system to generate energy through photovoltaic panels.

Keywords: *Colossoma macropomum*. Bioflocs. Economic and technical aspects. Intensive aquaculture.

INTRODUÇÃO

A aquicultura é um dos setores cruciais para a produção e alimentos no mundo, além de ter papel fundamental na geração de renda e criação de postos de trabalhos para trabalhadores rurais. Essa atividade utiliza conceitos biológicos, físicos, químicos e matemáticos para transformar, na grande maioria dos casos, subprodutos gerados por outros ramos do agronegócio em proteína animal essencial para elevar a qualidade nutricional da dieta de comunidades rurais e urbanas (Dawood et al., 2018).

Desde os anos 2000, a aquicultura mundial apresenta o maior e mais sustentado crescimento anual em comparação com qualquer outro ramo do agronegócio. Os dados mais recentes demonstram uma produção aproximada de 80 milhões de toneladas, sendo 67,5% oriundos, exclusivamente, da piscicultura (setor aquícola responsável pela produção de peixes) (FAO, 2018).

No Brasil, segundo dados da Associação Brasileira da Piscicultura (Peixe BR), somente no ano de 2019 foram produzidas 758.006 toneladas, o que representa um crescimento de 4,9% em relação ao ano anterior. Este é um resultado que pode ser

considerado extremamente positivo, uma vez que o PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro cresceu, na mesma época, apenas 1,0% (PEIXEBR, 2020).

Um dos fatores mais importantes e que ajuda a entender esse crescimento é o nutricional. Uma dieta saudável e completa para jovens e adultos consiste no consumo básico de proteínas que contenham todos os aminoácidos essenciais e diversidade de vitaminas e minerais. A carne do pescado é rica em vitaminas A, B e D, assim como um rol de minerais, com destaque para o cálcio, iodo, zinco, selênio e ferro. Além disso é uma proteína animal de fácil digestão e que possui todos os aminoácidos essenciais. Essas características são responsáveis por esse continuado interesse na carne do pescado por parte do mercado consumidor brasileiro, o que garante um consumo *per capita* anual de 9,5 kg (FAO, 2016).

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), aproximadamente, 85% dos empreendimentos aquícolas produzem peixes em viveiros de terra (IBGE, 2019). Apesar de ser o ambiente mais utilizado, existem uma série de desvantagens em se utilizar viveiros de terra para a criação de peixes. Dentre as quais, pode-se destacar a baixa produtividade por volume de água, demanda hídrica elevada, considerável geração de efluentes e dificuldade em controlar os parâmetros de qualidade de água (Lekang, 2013). Outro ponto negativo da criação em viveiros de terra é a dificuldade que esse sistema apresenta em termos de controle sanitário. Como o viveiro, geralmente, possui grandes dimensões e são feitos de material permeável e orgânico, os tratamentos profiláticos existentes para bactérias, vírus e fungos inerentes a atividade aquícola, muitas vezes, não possuem o efeito desejado, fazendo com que várias áreas infestadas por doenças sejam inutilizadas e, posteriormente, abandonadas (Leira et al., 2017).

Uma alternativa interessante para a produção de peixes de modo eficiente é por meio do uso do sistema BFT. A tecnologia bioflocos (ou BFT, da sigla em inglês para *Biofloc Technology*) é um tipo de sistema de criação de peixes realizado em ambientes inertes (tanques revestidos com material inorgânico) e que permite a conversão de resíduos alimentares e excretas em biomassa microbiana, além de transformar compostos nitrogenados mais tóxicos, como a amônia e nitrito, em formas menos agressivas aos animais, como é o caso do nitrato (Marinho-Pereira et al., 2020).

Essa tecnologia permite a criação intensiva de espécies de interesse econômico, possibilitando densidades de estocagem bastante superiores aos praticados na produção semi-intensiva em viveiros de terra. Uma maior intensividade nos processos produtivos significa maior produtividade por área, melhor aproveitamentos dos insumos inerentes a cadeia produtiva, menores custos fixos e redução no impacto ambiental que um empreendimento aquícola gera em seu entorno (Moreira; Kureski e Veiga, 2016; Mancipe et al., 2019).

Com o aumento da densidade de estocagem e do fornecimento de ração, mesmo em criações que utilizem o sistema BFT, costumam aparecer problemas relacionados ao acúmulo de nitrito (Furtado et al., 2015). A presença contínua de nitrito no ambiente aquático e a conseqüente absorção por parte dos peixes provoca a oxidação da hemoglobina (pigmento plasmático responsável por levar oxigênio aos órgãos e tecidos), provocando um quadro de anemia e posterior letalidade em massa dos animais produzidos (Kroupová et al., 2018).

Uma das formas de minimizar a absorção do nitrito por parte dos peixes é aumentando a salinidade. Apesar de haver diferenças osmorregulatórias importantes entre peixes marinhos e de água doce, existem trabalhos que já testaram com relativo sucesso a criação de espécies de águas interiores em ambientes aquáticos com água salinizada, o que acaba proporcionando a redução da toxicidade dos níveis de nitrito inerentes aos sistemas intensivos (Fiuza et al., 2013; Takata; Luz, 2015; Griffith, 2017; Souza et al., 2019)

Por isso, o objetivo deste artigo é o de demonstrar os aspectos técnicos e econômicos relacionados a criação do tambaqui (*Colossoma macropomum*), espécie nativa mais cultivada do Brasil (PEIXEBR, 2020) e naturalmente originária das Bacias dos rios Amazonas e Orinoco (Rodrigues et al., 2014), no sistema BFT com água salinizada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O trabalho foi conduzido nas instalações do Laboratório de Tecnologia e Inovações para Aquicultura (LITA) localizado na Universidade Federal do Amazonas - Faculdade de Ciências Agrárias, cidade de Manaus, estado do Amazonas, Brasil.

2.2 Origem dos dados

Os dados técnicos utilizados neste trabalho foram coletados durante o experimento que gerou o artigo intitulado “Desempenho zootécnico e fisiologia de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) criado no sistema BFT em diferentes níveis de salinidade”.

2.3 Aspectos técnicos da condução do experimento

A estrutura utilizada para a criação do tambaqui em sistema BFT está descrita na Figura 01. O sistema foi composto por 04 etapas, sendo três níveis destinados ao tratamento de água e um destinado à produção:

a) Macrocosmo (tratamento da água) – a água bombeada para dentro das unidades de criação vinha de um tanque de PVC com capacidade útil de 3.200 litros de água e que continha juvenis de tambaqui com peso médio de 20 g em uma densidade superior a 110 peixes/m³. O sistema de bombeamento foi composto por uma bomba submersa com vazão de até 190 L/h para uma altura máxima de 0,45 m e tubos de PVC soldável de ½”. A alimentação desses animais era realizada uma vez ao dia, sempre à saciedade aparente. Mesmo com aeração constante, houve trocas parciais de água (50% do total) a cada dois dias, sendo que a água repostada era oriunda de poço semiartesiano localizado na referida universidade. Sempre após a troca parcial da água foram adicionados 50 mL de inóculo oriundo de biorreator específico para bactérias heterotróficas (BIO-H), cultivados sob as seguintes condições e quantidades de insumos para 20 litros de água: temperatura ambiente, ausência de luz, aeração constante, presença de amônia total, quantidade de açúcar para promover uma relação carbono-nitrogênio de 15:1, alcalinidade total acima de 120 mg L⁻¹ de CaCO₃ e 2 g kg⁻¹ ração de produto probiótico enriquecido com bactérias heterotróficas não-patogênicas dos gêneros *Bacillus* sp. e *Lactobacillus* sp. A água que abastecia o macrocosmo tinha aspectos semelhantes às águas oriundas de aquíferos amazônicos (OD, pH e

alcalinidade baixas), porém quando bombeada continha OD acima de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$, sólidos sedimentáveis em níveis que variavam entre $3,0$ e $5,0 \text{ mL L}^{-1}$, níveis elevados de nitrito ($>1,5 \text{ mg L}^{-1}$) e baixos níveis de amônia ($< 0,5 \text{ mg L}^{-1}$).

b) Clarificação por sedimentação (tratamento da água) – essa etapa do processo de tratamento consiste na remoção mecânica por sedimentação das partículas dissolvidas de maior tamanho. Para isso, uma bambona de 200 L e com volume útil de 150 L foi montada para que a água que entrasse através de um tubo de PVC de 1”, necessitasse subir para alcançar o próximo estágio de tratamento da água. Assim, as partículas mais densas e de maior tamanho permaneciam no fundo.

c) Biorreator BIO-BON (tratamento da água) – essa etapa consiste em produzir bactérias do tipo BON (bactérias oxidadoras de nitrito), ou seja, bactérias especialistas em transformar nitrito em nitrato (em sua maioria, bactérias do gênero *Nitrobacter* sp.), pois esse grupo de bactérias de maior dificuldade em aparecer nos ambientes de criação destinado a produção de organismos aquáticos por meio do uso do sistema BFT. Para montar essa etapa do processo de tratamento da água foi utilizada uma bambona de 200 L (reservatório), tijolo quebrado, mangueiras de silicone e pedras porosas posicionadas no fundo do reservatório. O tijolo quebrado serviu como meio de suporte (substrato) para a fixação das bactérias BON. As mangueiras de silicone e as pedras porosas fizeram parte do sistema de aeração, uma vez que os processos de nitratação (transformação do nitrogênio inorgânico em forma de nitrito para nitrato é uma reação oxidativa e, por isso, consome oxigênio). A inicialização do processo foi efetuada por meio do uso da água do macrocosmo (ver descrição no item “Macrocosmo”) já clarificada. O inóculo inicial das bactérias BON foi feito por meio do uso de um ativador de filtragem biológica (Stability®, um produto de Seachem Co.; Madison, Georgia, EUA), na dosagem recomendada pelo fabricante para os 120 L de volume útil da bambona usada nesta etapa do processo. Após a adição do inóculo, foi necessário adicionar bicarbonato de sódio para corrigir e manter a alcalinidade da água acima de 120 mg CaCO_3 (bactérias BON são quimioautótrofas, ou seja, necessitam do carbono inorgânico oriundo da alcalinidade para crescimento estrutural e replicação celular).

d) Unidades experimentais (unidades produtivas) – compostas por caixas de polietileno com capacidade de 310L (290L de volume útil), equipadas com sistema de

aeração impulsionado por soprador de 0,5 CV, conduzido por tubulação roscável de 1” e por mangueiras com pedras-porosas terminais para difusão do ar na água. A aeração constante e ininterrupta foi necessária para promover o oxigênio dissolvido que era constantemente consumido pelas reações oxidativas inerentes aos processos de nitrificação.



Figura 01. Disposição do sistema BFT usado para produção de tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante o período experimental

Para manutenção da relação carbono:nitrogênio (relação C:N) mínima de 6:1 (Ebeling et al., 2006), a adição de açúcar cristal (40% de carbono oriundo da sacarose; $C_{12}H_{22}O_{11}$) foi realizada sempre que a concentração de amônia total superava a concentração de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$. Juntamente a adição de carbono foram adicionados 50 mL de inóculo oriundo do biorreator BIO-H (conforme descrito no item “Macrocosmo”).

Após entrada de água oriunda do BIO-BON, a salinidade foi medida por meio de equipamento multiparâmetro (Akso®, modelo AK88; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil) e então corrigida por meio do uso de sal marinho com antiuementante. O bicarbonato de sódio foi adicionado sempre que necessário para manter os níveis de pH (próximo a 7,8) e de alcalinidade total (acima de 120 mg L^{-1} de CaCO_3) em intervalos que facilitam o aparecimento e a manutenção das bactérias heterotróficas e quimio-

autotróficas no ambiente de criação de organismos aquáticos (Jiménez-Ojeda et al., 2018).

2.4 Alimentação dos animais

Os peixes foram alimentados com ração que continha 42% de proteína bruta, pellet 2,5 mm (Supra[®], um produto de Alisul Alimentos S.A.; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), de segunda à sábado, duas vezes ao dia (08:00 e 17:00) até a saciedade aparente. Os domingos foram destinados a limpeza e manutenção de todo o sistema de criação dos peixes.

2.5 Análise zootécnica, composição dos custos e viabilidade econômica

Por meio dos índices zootécnicos e do custo dos insumos utilizados neste experimento foi possível simular os custos de produção, índices de rentabilidade e realizar análise comparativa com os sistemas tradicionais localizados nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima (Feitoza et al., 2018).

Para realizar a estimativa dos custos envolvidos durante o processo produtivo e a análise da viabilidade econômico-financeira foi utilizada uma metodologia adaptada de Santos-Filho et al. (2016), onde:

Tabela 01. Detalhamento do cálculo do custo de produção e indicadores de análise da viabilidade econômico-financeira para a criação de peixes (Adaptado de Santos-Filho et al. 2016; Feitoza et al. (2018)

Item	Equação/Descrição
Custo Fixo (CF)	Custos que ocorrem independentes do nível de atividade (produção e/ou venda) do empreendimento.
Custo Variável (CV)	Custos que são diretamente proporcionais e relacionados ao processo produtivo, de comercialização e distribuição do produto.
Custos de Produção (CP)	São os custos variáveis diretamente atrelados ao processo produtivo. Ou seja, compõe o desembolso efetivo realizado durante o ciclo produtivo.
Custo Operacional Efetivo (COE)	Somatório de todos os fatores de produção relacionados aos CP. $COE = \sum CP$
Receita Bruta (RB)	Demonstra o faturamento do empreendimento por meio de uma multiplicação simples entre a produção anual em kg (PA) e o preço de venda por kg (PV) $RB = PA \times PV$
Receita Líquida (RL)	Resultado financeiro oriundo da subtração do COE a partir do total do RB

	$RL1 = RB - COE$
Relação CF:CV (RCF:CV)	Equivale, em porcentagem, a relação entre custos fixos e variáveis, determinando as obrigações do empreendimento em função da sua natureza produtiva. Menores relações CF:CV promovem maior sustentabilidade do empreendimento à longo prazo.
	$RCFV = CF/CV * 100$
Margem Bruta Simplificada (MBS)	Equivale, em porcentagem, ao resultado obtido pelo produtor após esse conseguir arcar com o COT, indicando a liquidez e capacidade empresarial do empreendimento.
	$MBS = (RL/COE) x 100$
Índice de Lucratividade (IL)	Responsável por demonstrar, em porcentagem, a disponibilidade de receita gerada pela atividade após a quitação de todas as responsabilidades operacionais.
	$IL = (RL/RB) x 100$
Ponto de Nivelamento (PN)	Equivalente a produção mínima necessária para que se possa cobrir integralmente o COT, levando em conta o PV praticado
	$PN = CF / (RB - CV)$

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Análise comparativa do desempenho zootécnico da criação de tambaqui (em sistema BFT e tradicional)

Os dados zootécnicos usados para a estimativa dos custos e análise comparativa de viabilidade estão dispostos na Tabela 02. Vale ressaltar que, durante o experimento que gerou os dados usados neste trabalho, não houve mortalidade. No entanto, a fim de se considerar que durante o período de um ciclo de produção (entre 300 e 360 dias) podem haver mortalidades, foi considerada a sobrevivência obtida por López e Anzoátegui (2013) para criação de tambaqui em sistemas fechados de recirculação de água.

Tabela 02. Dados zootécnicos usados para a análise comparativa da viabilidade econômico-financeira entre dois sistemas usados na criação de tambaqui (tradicional e BFT) e o sistema RAS para criação de tilápia

Dados zootécnicos	TAMAZ	TROND	TROR	TBFT
Densidade de estocagem inicial (peixes m ⁻²)*	0,62	0,42	0,39	5,0
Sobrevivência (%)**	64,0	61,0	72,0	92,2
Densidade de estocagem final (peixes m ⁻²)	0,40	0,26	0,28	4,75
Peso final (kg)*	2,67	3,09	3,00	2,00
Ciclos por ano	1,0	1,0	1,0	1,0
CAA (kg kg ⁻¹)**	1,81	1,66	1,78	1,72

Biomassa produzida (kg m ⁻² ano ⁻¹)	1,07	0,80	0,84	9,50
Ração fornecida (kg m ⁻² ano ⁻¹)	1,93	1,33	1,50	15,20

(*) = densidade sugerida em função do peso final mínimo necessário para comercialização do pescado nos mercados e feiras da Amazônia;

(**) = sobrevivência e conversão alimentar aparente em função dos dados obtidos por López e Anzoátegui (2013) para criação de tambaqui em sistema fechado;

Legenda: (TAMAZ) = criação de tambaqui no estado do Amazonas em sistema tradicional; (TROND) = criação de tambaqui no estado do Rondônia em sistema tradicional; (TROR) = criação de tambaqui no estado do Roraima em sistema tradicional; (TBFT) = projeção para criação de tambaqui em sistema BFT com água salinizada em 4 ‰.

Pode-se observar que dentre os três estados produtores amostrados, aquele que apresenta melhor resultado produtivo em relação à biomassa produzida por área é o estado do Amazonas. No entanto, ainda assim essa produção do Amazonas é, praticamente, nove vezes inferior ao sugerido na projeção TBFT (Tabela 02).

López e Anzoátegui (2013) conseguiram obter com o tambaqui, em 303 dias de cultivo, uma produtividade de 11,24 kg m⁻³ usando tanques “australianos” de 111,76 m³. Ou seja, apesar da produtividade sugerida aqui neste estudo ser bastante superior ao tradicionalmente praticado em empreendimentos piscícolas no Brasil, ainda é possível dizer que é um valor passível de ser ampliado com o aumento de estudos e pesquisas na área.

Para o bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*), Green e McEntire (2017) não encontraram diferenças estatísticas significativas no crescimento e na produtividade entre os animais produzidos em tanques de terra tradicionais (viveiros) e em tanques revestidos em PEAD onde foi aplicado o sistema BFT.

No entanto, vale ressaltar que a espécie mais estudada em ambientes onde se aplica o BFT é a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Pasco et al. (2017) publicaram estudo científico onde obtiveram uma produtividade de 21,16 kg m⁻³ para tilápias produzidas em sistema BFT com aeradores do tipo “chafariz”. Já com tilápias híbridas (*O. aureus* x *O. niloticus*), Green et al. (2019) conseguiram alcançar um rendimento bruto de 15 kg m⁻³, também em BFT, utilizando ração com 27,7% de proteína bruta. Porém, existem relatos de produtividades que podem atingir 40 kg m⁻³ (Avnimelech, 2007), muito acima que qualquer outro sistema tradicional (semi-intensivo) já empregado e próximo às criações de peixes em tanques-rede. Assim sendo, outras espécies amazônicas rústicas e que já apresentaram excelentes resultados em ambientes altamente adensados, como são os casos da matrinxã (*Brycon amazonicus*) e do pirarucu (*Arapaima gigas*), também

passam a ser consideradas para a criação sob esse tipo de sistema (Arbeláez-Rojas et al., 2002; Cavero et al., 2003).

3.2 Máquinas, equipamentos e insumos para a criação de tambaqui em sistema BFT com água salinizada

Na Tabela 03 é possível identificar máquinas, equipamentos e insumos necessários para se produzir tambaqui em sistema BFT com água salinizada. Para o uso aquícola, o mais indicado é o uso da geomembrana fabricada em cloreto de polivinila (PVC) de 1,0 a 1,5 mm de espessura. Em comparação com o PEAD (polietileno de alta densidade), tradicionalmente mais utilizado, possui maior flexibilidade quando trabalhada em três dimensões, alta resistência à tração e à ação do tempo (Lodi et al., 2009). Vale ressaltar que já existem fornecedores no Brasil que enviam peças de PVC de até 1.000 m², com as estruturas de sustentação e flange de drenagem, nas dimensões requeridas pelo comprador.

A tela sombrite, também conhecida como polysombra, é feita de polietileno e auxilia na redução de luminosidade dentro do ambiente de criação. Diminuir a incidência de luz solar nos tanques significa evitar com que haja um excessivo aumento da temperatura da água, além de dificultar o aparecimento e crescimento de algas nesses ambientes que, normalmente, já possuem uma carga bastante relevante de nutrientes (Melo-Junior et al., 2018).

O cone Imhoff é um instrumento necessário à medição dos sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹), material necessário para a fixação e proliferação das bactérias heterotróficas e quimioautotróficas nas unidades produtivas (Marinho-Pereira et al., 2020). O indicado é que a quantidade máxima de sólidos oscile entre 10 e 15 mL L⁻¹, pois, quanto maior o nível de sólidos, maior serão a demanda da unidade de produção por oxigênio dissolvido e mais difícil serão as trocas gasosas (respiração) dos organismos aquáticos por conta do acúmulo de matéria orgânica nas brânquias (García-Ríos et al., 2019). Caso a unidade produtiva registre quantidade superior ao intervalo sugerido, faz-se necessário operar o clarificador ligado ao sistema, sendo essa a unidade de tratamento de responsável pela redução e controle da quantidade de sólidos sedimentáveis.

Em relação aos sistemas de aeração, o uso do aerador do tipo “chafariz” (em inglês, *splash aerators*) se mostra mais eficiente em sistemas que adotam o BFT como tecnologia produtiva. Segundo Pasco (2015), em água com bioflocos e salinidade de 4 g L⁻¹, a eficiência padrão (SAE) para esse tipo de aerador é, em média, de 0,89±0,24 kg de O₂ kWh⁻¹. No entanto, durante a recria ainda se indica o uso do compressor radial juntamente com a mangueira microposora (aerotube) distribuído pelo tanque, e também por meio da adaptação de um *air lift* para melhor circulação da água, uma vez que o aerador “chafariz” possui ruído que pode causar estresse nos animais.

O uso diário para medição e controle dos parâmetros físicos da água é de fundamental importância para o bom funcionamento da produção de organismos aquáticos em sistema BFT (Furtado et al., 2015). Para empreendimentos que ocupam áreas de até 10 hectares ou com menos de 50 diferentes unidades de produção (gaiolas, tanques-rede, tanques ou viveiros), os parâmetros relacionados ao oxigênio dissolvido (OD), pH (potencial hidrogeniônico), temperatura (°C), condutividade ($\mu\text{s cm}^{-2}$) e salinidade podem ser facilmente medidos com multiparâmetros digitais de fabricação nacional e com relativo baixo custo de aquisição e manutenção. No entanto, quando se trata de empreendimentos de maior porte, é recomendável uma automação dos processos de coleta dessas informações relacionadas a qualidade da água, uma vez que tais parâmetros tem o poder de influenciar diretamente nos aspectos de bem-estar animal e consumo diário de ração, o que permite se antecipar e evitar mortalidades (Lima et al., 2020).

A automação nos processos de coleta de dados permite visualizar um panorama em tempo real da qualidade da água, permitindo gerenciar com mais eficiência o arraçamento (oferta de ração) para evitar desperdícios (metabolismo dos organismos é diariamente influenciado pela temperatura da água) e, em alguns casos mais recentes, ligar máquinas e equipamentos destinados a aeração de emergência, correção de pH, alarmes de segurança, geração de energia, dentre outros (Simbeye e Yang, 2014).

Em relação as rotinas relacionadas ao fornecimento de ração e a despesca, dependendo da proporção de cada um, é indicado que sejam balanças diferentes, uma vez que cada balança possui seus próprios intervalos de operação e precisão. Já o carrinho de mão é item indispensável destinado a facilitação dos processos de

transportes de materiais, equipamentos, insumos e pescado, uma vez que empreendimentos aquícolas, frequentemente, possuem ocupam grandes extensões territoriais.

Redes, puçá, tarrafa e baldes são itens diretamente aos procedimentos de despesca ou biometria dos animais criados. Apesar de não existir um comprimento padrão para as redes (única exigência é ser 50% maior que a largura dos tanques), aspectos como a malha (pós-larva = 1 mm; alevino = 3 ou 5 mm; juvenil = 5 a 8 mm), diâmetro (proporcional à malha), tipo da linha (multifilamento) e altura da rede (duas a três vezes superior à maior profundidade do viveiro ou tanque) são itens de fundamental importância para que a rede possa cumprir com eficiência suas duas funções durante a despesca: cercar os animais e retirá-los das unidades produtivas. Dependendo do porte da unidade produtiva, faz-se necessário uma rede para cada uma dessas funções. O puçá e a tarrafa são apetrechos de pesca usados para se coletar uma pequena quantidade de animais e bastante utilizados durante os processos de amostragens relacionados a biometria mensal de acompanhamento do crescimento. Os baldes de 10 L possuem diversas utilidades durante biometrias, transportes, arraçamento e demais rotinas dos empreendimentos aquícolas (Kubitza, 2009b). Mas um dos usos mais importantes em criações que usam a tecnologia BFT é de que o balde pode ser aproveitado como BIO-H (item 2.3, subitem “a”). Já os baldes para despesca/transporte são de uso opcional, uma vez que podem ser utilizados sacos plásticos ou de rafia para essa mesma finalidade.

O uso de produtos probióticos é de fundamental importância em se tratando de criações de organismos aquáticos mais intensivas (maior densidade de estocagem = maior número de indivíduos por área ou volume) em comparação com os sistemas tradicionais. Comumente, quando não observados protocolos atrelados a biossegurança e bem-estar dos animais, a aquicultura intensiva pode gerar quadros permanentes de estresse no lote criado, ocasionando uma porta de entrada para endo ou ectoparasitas e aumentando a patogenicidade dos mesmos. Os microrganismos existentes nos produtos probióticos possuem, basicamente, duas funções principais em sistemas BFT: 1) estimular o sistema imunológico para aumentar a resistência contra patógenos oportunistas; 2) no caso das bactérias heterotróficas, absorver grande parte do nitrogênio

presente na amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^-$), reduzindo a quantidade de nitrogênio disponível para as bactérias do tipo BOA (bactérias oxidadoras de amônia) e, conseqüentemente, a concentração de nitrito no ambiente aquático (Dawood et al., 2019; Marinho-Pereira et al., 2020).

O cloro ativo granulado é o produto químico mais utilizado nas estações de tratamento de água para inativação ou destruição de quaisquer microrganismos (Santos et al., 2016). Por conta dessas características, o uso do cloro na aquicultura tem duas funções básicas: 1) desinfecção das unidades produtivas; 2) retirada química de algas fotossintéticas que podem inviabilizar o processo de estabelecimento das bactérias heterotróficas e quimioautotróficas. Após a aplicação do cloro nos locais de interesse (cloração), recomenda-se o uso de vitamina C (ácido ascórbico) para a completa neutralização do cloro livre e de cloraminas (decloração) (Rodríguez-Pesantes et al., 2020).

Para que as bactérias heterotróficas não-patogênicas cresçam em tamanho e em quantidade é necessário que se procure manter uma relação C:N entre 12:1 e 15:1 (Serra et al., 2015; García-Ríos et al., 2019). A principal fonte de entrada de carbono orgânico no sistema produtivo é por meio da dieta alimentar, porém, quanto maior a quantidade de proteína bruta, menor será a quantidade de carbono existente na ração. Por isso, é necessária uma fonte auxiliar de carbono orgânico, sendo as mais utilizadas o melaço de cana e o açúcar cristal (Jiménez-Ojeda et al., 2018). A escolha entre as fontes de carbono a serem utilizadas dependerá de fatores como quantidade de carbono (%), solubilidade, preço, frete, disponibilidade e qualidade do produto.

A cal hidratada (hidróxido de cálcio), assim como o carbonato de cálcio e o bicarbonato de sódio (NaHCO_3), é um sal que serve como fonte de carbono inorgânico para as bactérias responsáveis pelos processos de nitrificação e podem ser utilizados na aquicultura (transformação biológica do nitrogênio inorgânico dissolvido na água em formas menos tóxicas para os organismos aquáticos) (Ebeling, 2006; Martins et al., 2017). A sua aplicação será necessária na medida em que as bactérias quimioautotróficas BOA e BON vão consumindo esse carbono inorgânico disponível, mantendo a alcalinidade total da água do sistema sempre acima de 100 mg de CaCO_3 (Furtado et al., 2015).

Tabela 03. Custo unitário e caracterização de máquinas, equipamentos e insumos para criação de tabaqui em sistema BFT com água salinizada

Item	Unidade	Preço Unitário (R\$)*	Tipo
Geomembrana PVC	m ²	61,50	INVESTIMENTO
Tela sombrite 80% (4 x 20 m)	m	3,10	
Cone Imhoff	und	210,00	
Compressor radial monofásico 2,35 CV	und	3.655,20	
Mangueira microporosa ½" (aerotube)	m	33,00	
Aerador chafariz ½ CV	und	1.150,00	
Multiparâmetro para QA (pH/cond/OD/temp)	und	3.161,40	
Balança digital despesca até 300 kg	und	750,00	
Balança com plataforma para ração até 100 kg	und	1.250,00	
Puçá	und	150,00	
Tarrafa	und	350,00	
Balde plástico graduado 10 L	und	8,00	
Carrinho de mão	und	185,00	
Rede de despesca	m ²	13,20	
Probiótico	balde de 1 kg	200,00	CUSTEIO
Cloro ativo granulado	balde de 10 kg	190,00	
Vitamina C	kg	80,00	
Fonte de carbono (melaço)	tonelada	810,00	
Cal hidratada	saco de 20 kg	20,00	
Kit titulação para amônia total (50 testes)	caixa	30,50	
Kit titulação para nitrito (100 testes)	caixa	29,50	
Kit titulação para alcalinidade (50 testes)	caixa	28,00	
Sal branco para uso agropecuário/ração animal	saco de 25 kg	3,20	
Alevinos	milheiro	100,00	
Ração 42% PB	saco de 25 kg	110,00	
Ração 32% PB	saco de 25 kg	65,00	
Ração 28% PB	saco de 25 kg	42,00	
Energia elétrica padrão rural	kWh	0,52	
Assistência técnica	salário mínimo	1.045,00	
Mão-de-obra + encargos sociais e trabalhistas	salário mínimo + 33,77%	1.397,00	
Manutenção	1% do faturamento estimado	15.292,60	

(*) = Preço FOB pesquisado em 13/06/2020

Os testes para medição de amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^-$), nitrito (NO_2^-) e alcalinidade total (mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) podem ser determinados em campo por meio de kits que usam métodos colorimétricos. Esses kits possuem custos de aquisição e de processamento bem mais acessíveis que os métodos analíticos mais sofisticados e que necessitam de equipamentos laboratoriais dispendiosos e estão disponíveis apenas em laboratórios especializados (Kubitza, 1998).

O termo “alevino” é comumente utilizado para se referir às sementes da cadeia produtiva da aquicultura. Apesar de ser equivocadamente usado, pois é uma adaptação da palavra francesa *alevin* que descreve uma fase da vida de peixes da família Salmonidae (Gomes et al., 2003), a comunidade técnica e científica usa “alevino” para se referir aos peixes que são comercializados em forma de milheiro e abastecem de sementes os empreendimentos que não possuem laboratórios de reprodução.

Em relação à dieta alimentar, vários foram os trabalhos que determinaram as exigências nutricionais do tambaqui (Rodrigues, 2014). Por ser um peixe onívoro, consegue metabolizar a energia presente nos carboidratos, reduzindo sua demanda por proteína bruta, e apresenta digestibilidade em relação à proteína de origem vegetal. (Kubitza, 2009a).

Tabela 04. Recomendações para tamanho de peletes (mm) e proteína bruta (%) na dieta alimentar extrusada de peixes onívoros (Adaptado de Kubitza, 2009a)

Peso médio (g)	Proteína Bruta (%)	Granulometria (mm)
Até 0,5	40 – 50	< 0,5
0,5 – 5,0	40 – 45	0,5 – 1,0
5,0 – 20,0	35 – 40	2,0
20,0 – 200,0	32 – 35	3,0 – 4,0
200,0 – 1.000,0	28 – 32	4,0 – 6,0
1.000,0 – 2.000,0	28 – 32	6,0 – 8,0

Para a energia elétrica, a Resolução nº 414, de 09 de setembro de 2010 e a Resolução Normativa nº 620, de 22 de julho de 2014, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), concedem aos empreendimentos que desenvolvem atividades aquícolas tarifas e descontos diferenciados (por exemplo, a Tarifa Verde que garante desconto a ser aplicado em um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos) (ANEEL, 2010; ANEEL, 2014). Para obter o desconto, basta procurar a concessionária e solicitar a instalação de um padrão específico para esse fim. Vale ressaltar que a aquicultura é caracterizada como atividade rural. Ou seja, mesmo que o projeto aquícola

seja localizado em área urbana, o padrão a ser instalado permitirá a cobrança de kWh equivalente ao cobrado em áreas rurais.

A assistência técnica para esse tipo criação de organismos aquáticos em sistema BFT ainda é bastante concentrada em algumas poucas partes do país. O que vai levar em conta no momento da seleção de um bom técnico são características a qualquer área profissional: formação específica, vínculo com o conselho da classe profissional e referências pessoas e profissionais. Existem alguns cursos no Brasil de bastante importância para quem deseja atuar nessa área como consultor, sendo, um dos mais relevantes para os meios acadêmico e profissional, o promovido pela Estação Marinha de Aquacultura da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na Praia do Cassino, município de Rio Grande, estado do Rio Grande do Sul.

A necessidade de mão-de-obra é diretamente proporcional a área total do empreendimento a ser percorrida durante o manejo alimentar e a quantidade de unidades produtivas que necessitam ter a qualidade da água monitoradas diariamente. Por isso, dada uma mesma produtividade total, os sistemas mais intensivos (BFT, por exemplo) requerem menor demanda por funcionários em relação aos tradicionais, o que acaba influenciando em questões relacionadas a custo fixo e ponto de nivelamento (item 3.3). Já o valor de manutenção das estruturas sempre é algo que dependerá da capacidade produtiva instalada e do nível de mecanização existente, sendo necessário considerar algo diretamente atrelado a receita bruta.

3.3 Análise comparativa da viabilidade econômico-financeira do sistema tradicional e do BFT (com e sem energia da concessionária) para a criação de tambaqui

De acordo com a Tabela 04, apesar de ser o estado que apresenta a menor produtividade absoluta de pescado em relação a Rondônia e Roraima (PEIXEBR, 2020), o Amazonas apresenta o melhor resultado comparativo, mesmo comparando com os resultados obtidos pelos sistemas mais intensivos propostos neste estudo. O resultado se deve, em parte, pelo maior valor de mercado (R\$ kg⁻¹) que o tambaqui possui naquele estado, sendo Manaus, capital do Amazonas, o maior e mais importante mercado consumidor de tambaqui do Brasil (Costa et al., 2018). Ou seja, se o produtor puder escolher o melhor logradouro para a produção do tambaqui, o mais indicado é que ele

busque selecionar área pertencente a Manaus ou a municípios adjacentes que possuam ligação pavimentada.

Porém, quando se analisam os custos fixos, os apresentados pelos sistemas BFT são menores que os dos sistemas tradicionais, uma vez que a intensificação favorece essa redução do custo por quilo, como já foi destacado anteriormente no item 3.3 (maior intensificação, mais fáceis e menos custosos serão os manejos alimentares e de qualidade da água).

No entanto, é importante ressaltar que caso fosse usada a rede elétrica da concessionária para fornecimento de energia o custo operacional efetivo para produção de tabaqui tornaria inviável a produção dessa espécie em sistema BFT. A diferença entre a criação em BFT com energia solar, pagando apenas a taxa mensal de disponibilidade para padrões trifásicos (100 kWh mês⁻¹), e sem o uso de painéis fotovoltaicos chega a ser de R\$ 2,36 kg⁻¹.

Tabela 05. Análise comparativa entre os custos de produção e os indicadores de análise de resultado de rentabilidade para criações de tabaqui no sistema tradicional e no BFT (com e sem energia da concessionária)

Custos e Receitas	Valores por kg (R\$)				
	TAMAZ*	TROND*	TROR*	TBFT**	TBTSOL**
Custo Fixo	0,72	0,82	0,43	0,25	0,25
Custo Variável	3,45	2,54	3,42	6,10	3,74
Custo Operacional Efetivo	4,17	3,36	3,85	6,35	3,99
Receita Bruta	6,24	4,85	5,91	5,67	5,67
Receita Líquida	2,07	1,49	2,06	-0,68	1,68
Indicadores de Rentabilidade	TAMAZ	TROND	TROR	TBFT	TBTSOL
Relação CF:CV	20,9%	32,3%	12,6%	4,0%	6,6%
Margem Bruta Simplificada (%)	49,6%	44,3%	53,5%	-10,8%	42,0%
Índice de Lucratividade (IL)	33,2%	30,7%	34,9%	-12,1%	29,6%
Ponto de Nivelamento (PN)	25,8%	35,5%	17,3%	-56,2%	12,9%

(*) = Dados extraídos de Feitoza et al. (2018);

(**) = Para estimar o tamanho das propriedades TBFT e TBTSOL foi levada em consideração a produtividade média anual dentre os estados amostrados (269,9 t) e o preço por quilo médio pago entre os estados amostrados (R\$ 5,67).

Legenda: (TAMAZ) = criação de tabaqui no estado do Amazonas em sistema tradicional; (TROND) = criação de tabaqui no estado do Rondônia em sistema tradicional; (TROR) = criação de tabaqui no estado do Roraima em sistema tradicional; (TBFT) = projeção para criação de tabaqui em sistema BFT com água salinizada em 4 ‰ usando energia elétrica da concessionária; (TBTSOL) = projeção para criação de tabaqui em sistema BFT com água salinizada em 4 ‰ usando energia solar no sistema on-grid;

Os dois principais motivos para essa inviabilidade são devido ao preço por quilo pago ao produtor (baixo em relação ao pago pela matrinxã e pirarucu; Gandra et al., 2010;

Silva et al., 2016) e menor produtividade por área em relação ao que se pode produzir por meio da criação de tilápia neste mesmo tipo de sistema (Avnimelech, 2007). Por isso, no momento em se escolher a espécie a ser produzida para comercialização, o produtor interessado deve preferir por espécies que apresentem maior valor de mercado (camarão, *Litopenaeus vannamei*) ou maior relação produtividade-área (tilápia, *Pangasius*, dentre outros).

A proporção entre custo fixo e custo variável é de vital importância para que se possa verificar o nível de independência/liberdade que o empreendimento possui. Ou seja, quanto mais baixo for essa relação, maior será a resistência do empreendimento em relação a volatilidade do mercado. Levando em conta os dados apresentados na Tabela 04, as pisciculturas que adotarem maior intensividade em seus respectivos processos produtivos ficarão menos suscetíveis ao aumento real dos custos de produção, contração da demanda, desvalorização cambial e demais externalidades que tornem mais difíceis a comercialização dos produtos finais.

Os demais dados relacionados a Margem Bruta Simplificada (MBS), Índice de Lucratividade (IL), Ponto de Nivelamento (PN) também servem para auxiliar no processo de tomada de decisão, uma vez que entre esses existem uma relação real de dependência entre custo-eficiência-receita. Além disso, vale destacar o baixo custo fixo apresentado pelas fazendas tradicionais de Roraima. Esse fato se deve ao conceito de escala de produção, uma vez que nesse estado foi identificada a lâmina d' água média por empreendimento de 77,7 ha, o que acaba ajudando a diluir o custo quilo⁻¹ no faturamento da propriedade (baixa relação CF:CV) (Feitoza et al., 2008).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os cenários e dados econômicos analisados é possível afirmar que a tecnologia BFT somente é viável para a criação comercial do tambaqui, caso haja a instalação de sistema elétrico *on-grid* para geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tecnologia e Inovações para Aquicultura (LITA) da Universidade Federal do Amazonas pela cessão do espaço, fomento das bolsistas e montagem de toda a infraestrutura relacionada ao sistema experimental.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução nº 414, de 09 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, [2010]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>. Acesso em: 13 jun. 2020.

ANEEL. Resolução nº 620, de 22 de julho de 2014. Altera os arts. 73, 107 e 108 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, e estabelece disposições transitórias, [2014]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2014620.pdf>. Acesso: 13 jun. 2020.

AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, v.264, p.140-147, 2007.

CAVERO, B.A.S. PEREIRA-FILHO, M. ROUBACH, R.; ITUASSU, D.R.; GANDRA, A.L.; CRESCENCIO, R. Biomassa sustentável de juvenis de pirarucu em tanques-rede de pequeno volume. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.6, p.723-728, 2003.

DAWOOD, M.A.O.; KOSHIO, S.; ABDEL-DAIM, M.M.; DOAN, H.V. Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, v.11, p. 907-924, 2018.

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

FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2016 – Contributing to food security and nutrition for all. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. ISBN 978-92-5-109185-2.

FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. ISBN 978-92-5-130562-1.

FEITOZA, D.L.S.; SONODA, D.Y.; SOUZA, L.A. Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima. Revista iPecege, v.4, n.4, 40-53, 2018.

FIUZA, L. S.; ARAGÃO, N. M.; RIBEIRO-JUNIOR, H. P.; MORAES, M. G.; ROCHA, I. R. C. B.; LUSTOSA-NETO, A. D.; SOUSA, R. R.; MADRID, R. M. M.; OLIVEIRA, E. G.; COSTA, F. H. F. Effects of salinity on the growth, survival, haematological parameters and osmoregulation of tambaqui *Colossoma macropomum* juveniles. Aquaculture Research, p. 01-09, 2013.

FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY JR., W. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). Aquaculture International, v. 23, p. 345-358, 2015.

GANDRA, A.L. O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus. Montevideu: Infopesca, 2010. ISSN: 1688-7085.

GARCÍA-RÍOS, L.; MIRANDA-BAEZA, A.; COELHO-EMERENCIANO, M.G.; HUERTA-RÁBAGO, J.A.; OSUNA-AMARILLAS, P. (2019). Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. Aquaculture, v. 502, p. 26-31.

GOMES, L.C.; ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; ROUBACH, R. Alevino – um termo equivocado na piscicultura brasileira com consequências no setor produtivo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v.20, n.2, p.353-359, 2003.

GREEN, B.W.; McENTIRE, M.E. Comparative water quality and channel catfish production in earthen ponds and a biofloc technology production system. *Journal of Applied Aquaculture*, v.29, n.1, p.1-15, 2017.

GREEN, B.W.; RAWLES, S.D.; SCHRADER, K.K.; GAYLORD, T.G.; McENTIRE, M.E. Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) performance, common microbial off-flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. *Aquaculture*, v.503, p.571-582, 2019.

GRIFFITH, M. B. Toxicological perspective on the osmoregulation and ionoregulation physiology of major ions by freshwater animals: teleost fish, crustacea, aquatic insects, and Mollusca. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 36, n. 03, p. 576-600, 2017.

IBGE. Censo Agropecuário: resultados definitivos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. ISSN 0103-6157.

JIMENEZ-OJEDA, Y.K.; COLLAZOS-LASSO, L.F.; ARIAS-CASTELLANOS, J.A. Dynamics and use of nitrogen in biofloc technology – BFT. *AAACL Bioflux*, v.11, n.4, p.1107-1129, 2018.

KROUPOVÁ, H. K.; VALENTOVÁ, O.; SVOBODOVÁ, Z; SAUER, P.; MÁCHOVÁ, J. Toxic effects of nitrite on freshwater organisms: a review. *Reviews in Aquaculture*, v. 10, p. 525-542, 2018.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes – Parte I. *Revista Panorama da Aquicultura*, v.08, n.45, 1998.

KUBITZA, F. Manejo na produção de peixes – Parte 4. Revista Panorama da Aquicultura, v.19, n.111, 2009a.

KUBITZA, F. Manejo na produção de peixes. Parte 6 – Boas práticas nas despescas, manuseio e classificações dos peixes. Revista Panorama da Aquicultura, v.19, n.118, 2009b.

LIMA, C. A. S.; MACHADO, M. R. F.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P.H.R.; O’SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA, J. Socioeconomic and Profitability Analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* Fish Farming in the State of Amazonas, Brazil. Aquaculture Economics & Management, v. 1, p. 1-16, 2020.

LEIRA, M.H.; REGHIM, L.S.; CIACCI, L.S.; CUNHA, L.T.; BOTELHO, H.A.; BRAZ, M.S.; DIAS, N.P.; MELO, C.C.V. Problemas sanitários das pisciculturas brasileiras. Pubvet, v.11, n.6, p.538-544, 2017.

LEKANG, O.I. Aquaculture Engineering. 2.ed. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2013. ISBN 978-0-470-67085-9.

LODI, P.C.; BUENO, B.S.; ZORNBERG, J.G. Avaliação da degradação de geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila) (PVC) utilizando análise termogravimétrica. Revista Iberoamericana de Polímeros, v.1, n.2, p.110-118, 2009.

LOPEZ, P.; ANZOÁTEGUI, D. Engorde de la cachama (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816) cultivada en un sistema de recirculación de agua. Zootecnia Tropical, v.31, n.4, p.271-277, 2013.

MARTIN, GB.; TAROUCO, F.; ROSA, C.E.; ROBALDO, R.B. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth

performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.468, p.10-17, 2017.

MANCIPE, L. E. H.; VELEZ, J. I. L.; GARCÍA, K. A. H.; HERNÁNDEZ, L. C. T. The biofloc systems: an efficient strategy in the aquaculture production. *Medicina Veterinaria e Zootecnia*, v.14, n. 1, p. 70-99, 2019.;

MARINHO-PEREIRA, T.; FARIA-JUNIOR, C.H.; RINCÓN, L.M.G.; BRITTO, E.N.; CAVERO, B.A.S.; ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T. Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 2, p. 7847-7862, 2020.

MOREIRA, V. R.; KURESKI, R.; VEIGA, C. P. Assessment of the economic structure of Brazilian agribusiness. *The Scientific World Journal*, v.2016, 2016.

MELO-JUNIOR, A.S.; BENTO-FILHO, R.C.; PAPADOPOLI, G.U.; MORAIS, A.C.; HOCK, L.B.J.; CHIRINOS, G.J. Avaliação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em uma lagoa facultativa. *Inovae*, v.6, jan-dez, p.300-319, 2018.

PASCO, J.J.M. Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água. 2015. 120 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PASCO, J.J.M; CARVALHO-FILHO, J.W.; SANTO, C.M.; VINATEA, L. Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* grown in BFT using two aeration systems. *Aquaculture Research*, p.1-10, 2017.

PEIXEBR. Anuário 2020 – Peixe BR da Piscicultura. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>. Acesso em: 30 mar. 2020.

RODRIGUES, A.P.O. Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). Boletim do Instituto do Pesca, 40, p. 135-145, 2014.

RODRÍGUEZ-PESANTES, D.; LODEIROS, C.; REVILLA, J.; MARQUEZ, A.; SONNENHOLZNER, S. Tratamiento físico-químico del agua para el cultivo larvario y el asentamiento de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1975). Aquatechnica, v.2, n.1, p.50-60, 2020.

SANTOS-FILHO, L.G.; VIEIRA-SANTOS, S.G.A.; SILVA, C.E.L.; SILVA, R.C.A.V. Utilização de indicadores de viabilidade econômica na produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema de recirculação: estudo de caso de uma piscicultura de pequena escala em Parnaíba-PI. Organizações Rurais & Agroindustriais, v.18, n.4, p.304-314, 2016.

SERRA, F.P.; GAONA, C.A.P.; FURTADO, P.S.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY JR. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture International, v. 23, p.1325-1339, 2015.

SILVA, N.M.N.; SILVA, A.A.; BRAGA, T.M.; FARIA-JUNIOR, C.H. Diagnóstico do comércio de Pirarucu nos mercados e feiras de Santarém, Pará. Biota Amazônica, v. 6, n. 4, p. 49-53, 2016.

SIMBEYE, D.S.; YANG, S.F. Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks. Journal of Networks, v.9, n.4, 2014.

SOARES, S.S.; ARRUDA, P.N.; LOBÓN, G.S.; SCALIZE, P.S. Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v.37, n.1, p.119-130, 2016.

SOUZA, R. L.; LIMA, E. C. R.; MELO, F. P.; FERREIRA, M. G. P.; CORREIA, E. S. The culture of Nile tilapia at different salinities using a biofloc system. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, p. 267-275, 2019.

TAKATA, R.; LUZ, R. K. Água salinizada na produção de peixes de água doce. In: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. S. *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*. v. 2. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. ISBN 978-85-7993-272-4

ARTIGO 04 – Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade

Marinho-Pereira, T.; Cavero, B.A.S.; Oliveira, C. P. F.; Aride, P.H.R.; Oliveira, A.T. (2020). Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade. Formatado para publicação na *Aquaculture International*.

Frequência alimentar alternativa para a recria de *Brycon amazonicus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes, Bryconidae) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1822 (Characiformes, Serrasalminidae) em sistema BFT sob baixa salinidade

Thiago Marinho-Pereira^{1*}, Bruno A.S. Cavero², Christiane P. F. de Oliveira³, Paulo H. R. Aride⁴, Adriano T. de Oliveira⁴

¹Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Campus Tapajós, Universidade Federal do Oeste do Pará, 68040-255 Santarém, Brazil

²Laboratório de Inovações Aquícolas para a Aquicultura, Minicampus, Universidade Federal do Amazonas, 69080-900 Manaus, Brazil

³Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos, Minicampus, Universidade Federal do Amazonas, 69080-900 Manaus, Brazil

⁴Núcleo de Estudos de Vertebrados Amazônicos, Campus Manaus-Centro, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), 69020-120 Manaus, Brazil

*Corresponding author

Thiago Marinho-Pereira

tmarinhopereira@gmail.com

Thiago Marinho-Pereira = <https://orcid.org/0000-0002-4340-0130>

Bruno A.S. Cavero = <https://orcid.org/0000-0002-9445-8041>

Christiane P.F. de Oliveira = <https://orcid.org/0000-0001-5885-0380>

Paulo H. R. Aride = <https://orcid.org/0000-0001-9752-5003>

Adriano T. de Oliveira = <http://orcid.org/0000-0003-4988-9878>

Abstract

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos de *B. amazonicus* e *C. macropomum* submetidos a duas diferentes frequências alimentares em sistema BFT sob baixa salinidade: (*C. macropomum* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*C. macropomum* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas; (*B. amazonicus* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*B. amazonicus* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas. Em um delineamento inteiramente casualizado, 84 animais foram pesados (g), medidos (cm) e distribuídos homoganeamente em 12 unidades experimentais. Durante 40 dias, a alimentação dos peixes foi realizada com ração 42% de proteína bruta, pellet 2,5 mm, duas vezes ao dia (08:00 e 17:00) até a saciedade aparente e conforme as frequências alimentares de cada tratamento. Ao final do período experimental foi possível afirmar que os parâmetros zootécnicos não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$). Em relação aos parâmetros hematológicos, o CHCM para *B. amazonicus* foi o único parâmetro que apresentou diferença significativa ($p < 0,05$). Na avaliação do “bem-estar” dos animais, o Kn do tratamento *B. amazonicus* 5/7 foi o único que apresentou diferença significativa em relação ao valor centralizador $Kn = 1,00$. Os parâmetros de qualidade de água se mantiveram dentro do exigido para a criação de *C. macropomum* e de *B. amazonicus*. Portanto, indica-se a salinidade 4‰ e o fornecimento de ração durante cinco dias para cada sete dias de criação de *C. macropomum* e *B. amazonicus* em sistemas intensivos BFT.

Keywords Aquicultura, tambaqui, matrinxã, tecnologia bioflocos, água salinizada

Introduction

A produção pesqueira mundial de peixes é da ordem de 170,9 milhões de toneladas, sendo que 47% destes são oriundos da aquicultura e 53% provém da pesca. Quando se menciona o termo “produção pesqueira”, refere-se ao que se é produzido por meio da pesca e da aquicultura, ambos praticados em ambientes marinhos e continentais. Em 2011, essa proporção entre pesca e aquicultura era mais próxima a 60% e 40%, também em favor da pesca. Porém, já é notório que se a aquicultura seguir no atual ritmo de crescimento, em no máximo quatro anos a produção de pescado oriundo da aquicultura suplantará, pela primeira vez na história humana, a produção mundial da pesca (FAO 2018). Um marco na história dessas duas atividades econômicas e um ponto chave muito importante para se entender o processo civilizatório pelo qual a humanidade atravessou (Harland 2019).

Mesmo com esse importante crescimento anual, ainda se pode dividir a aquicultura em tradicional (a mais praticada) e moderna. A aquicultura tradicional se baseia na criação de peixes em viveiros de terra ou gaiolas por meio do uso de: 1) densidade única (relação entre peixe e área ou volume) e que depende apenas da espécie criada; 2) rações feitas de resíduos agroindustriais e que, na maioria dos casos, não atendem às especificidades metabólicas das espécies; 3) força humana para o arrasto e despesca. Outros fatores importantes e que ajudam a caracterizar negócios aquícolas tradicionais são a ausência de controle sobre e qualidade da água, sanidade animal e qualidade da carne do pescado comercializado.

Já a aquicultura moderna se difere em grande parte da tradicional por conta da busca pelo aumento na produtividade por área ou volume (aeração suplementar e/ou de emergência), controle sobre todos os parâmetros inerentes a cadeia de produção do pescado (ração, sanidade dos peixes e qualidade da água) e mecanização de alguns dos processos da rotina diária dos empreendimentos aquícolas (medição da qualidade, arrasto, despesca, vigilância, dentre outros). Toda essa preocupação se justifica pela elevação na oferta mundial do pescado e o, conseqüente, aumento na concorrência pelos mais variados e exigentes mercados (Kumar et al. 2018).

Seja a aquicultura moderna ou tradicional, ainda hoje, um dos fatores que mais onera a produção de peixes em cativeiro é o preço por quilo da ração extrusada e o custo que essa ração contribui junto aos demais custos variáveis e que compõe o custo total de produção (Nhung et al. 2020). Em épocas de crise econômica e escassez monetária mundial causada por quarentena, caso os ingredientes que compõe a alimentação artificial de peixes se tornem mais caros, a elevação do custo de produção e um aumento do preço final do produto tendem a provocar uma redução no consumo de peixes por parte do mercado consumidor. Com isso, essa demanda, anteriormente atendida por pescado oriundo da aquicultura, será atendida por outros produtos com base proteica animal ou por peixes capturados em ambiente natural e que possuem menor preço para aquisição (bens substitutos) (Jensen et al. 2014, Schrobback et al. 2014).

Dentre as ferramentas atreladas ao arrasto (termo utilizado em aquicultura para definir o processo de fornecimento de alimentação artificial), uma das mais profícuas em relação a racionalização e, possível, redução no consumo de ração é a frequência alimentar (Gillanjad et al. 2019). A frequência alimentar ótima é algo que varia em acordo com a espécie a ser estudada e seu respectivo hábito alimentar, qualidade da água, tamanho do animal, composição do alimento e sistema de cultivo. Entretanto, é possível afirmar que uma correta frequência alimentar pode reduzir o consumo de ração, pois favorece a ingestão, digestão e absorção do alimento, reduzindo a quantidade de

compostos nitrogenados tóxicos, gerados pelas excretas, que se acumulam na água de cultivo, como é o caso da amônia e do nitrito (Baloi et al. 2014).

Dependendo da frequência alimentar utilizada, pode haver um estímulo ao consumo do alimento inerte na coluna d'água. Peixes que possuem a característica de conseguir aproveitar a microbiota aquática para sua alimentação são chamados de filtradores. Os peixes filtradores possuem a habilidade de se alimentar de fitoplâncton e microcrustáceos (zooplâncton), sendo essa habilidade automaticamente um pouco inibida uma vez que o alimento artificial é fornecido à saciação aparente ou, em muitos casos, em quantidade que supera a necessidade real dos animais de cultivo (Avnimelech, 2007). Porém, para que os peixes filtradores possam complementar a nutrição com essa alimentação alternativa é necessário utilizar de tecnologias que possibilitem a presença desses microrganismos de elevado valor nutricional no ambiente de cultivo.

A tecnologia BFT (da sigla em inglês para *Biofloc Technology*) é um dos sistemas de cultivo de peixes que mais possibilita esse fornecimento microalimentar suplementar para peixes filtradores, uma vez que adiciona carbono ao meio aquático e possibilita o aparecimento de macroagregados proteicos (bioflocos), estruturas bastante eficientes na proliferação e fixação desses organismos. Os bioflocos são partículas que medem entre 100 e 1.000 μm , possuem baixa densidade relativa e baixa velocidade de precipitação na coluna d'água (Ahmad et al. 2017). Além de grupos taxonômicos que correspondem a fito e zooplâncton, nos bioflocos são encontradas bactérias dos tipos quimio-autotróficas e heterotróficas, sendo estes dois grandes grupos bacterianos fundamentais para os processos de assimilação e nitrificação do nitrogênio inorgânico (Marinho-Pereira et al. 2020).

Para a assimilação dessa proteína microbiana presente nos bioflocos, duas espécies nativas aparecem como principais candidatas: o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e a matrinxã (*Brycon amazonicus*). O *C. macropomum* é a espécie mais criada do Brasil, sendo originária das Bacias do rio Amazonas e Orinoco e, no ambiente natural, possui uma dieta baseada no consumo de sementes, frutos e zooplâncton (Rodrigues 2014). Já *B. amazonicus* é um caracádeo que pode atingir até 4,0 kg e que na natureza se alimenta de restos vegetais, frutos, sementes, insetos, dentre outros (Marinho-Pereira et al. 2014). Ambas as espécies possuem mercado consumidor estabelecido, digestibilidade para proteína vegetal e resultados bastante satisfatórios no ramo da aquicultura (Rocha et al. 2018, Barros et al. 2019).

No Brasil, são 50.239 estabelecimentos agropecuários que cultivam *B. amazonicus* e *C. macropomum* (PeixeBR. 2020), valor que poderia ser bastante incrementado com o uso de tecnologias e sistemas intensivos, como é o caso do sistema BFT. No entanto, o sistema BFT também tem suas deficiências, sendo a maior delas os repentinos e constantes picos de nitrito. Isso é devido a uma maior sensibilidade que as bactérias do tipo BON (bactérias oxidadoras de nitrito) possuem em um ambiente aquícola, ocasionando uma dificuldade na estabilização e proliferação desse grupo de bactérias, que tem o gênero *Nitrobacter* como principal representante (Ruiz et al. 2019). Níveis excessivos de nitrito por tempo prolongado podem provocar, dentre outros efeitos: 1) oxidação da hemoglobina, gerando uma ineficiência no transporte de oxigênio por parte do sangue; 2) aumento no batimento cardíaco; 3) alteração nos níveis de excreção de amônia e ureia; 4) inibição na síntese do hormônio T4, desencadeando retenção de água pelo rim; 5) influência na absorção de Na^+ junto às células branquiais responsáveis pelas trocas iônicas (Jiménez-Ojeda et al. 2018).

Existem algumas maneiras de se reduzir a capacidade de absorção de nitrito por parte dos peixes, sendo o aumento na concentração dos íons Cl^- , por meio do uso de sal (NaCl) uma das técnicas mais conhecidas e utilizadas por parte dos aquicultores. A diminuição na toxicidade da concentração do nitrito ocorre devido ao fato que os íons

Cl⁻ também são absorvidos pelas células de cloreto existentes nas brânquias. Ou seja, por usarem a mesma rota fisiológica para serem absorvidos pelos peixes, é certo dizer que os íons Cl⁻ são inibidores competitivos do nitrito (Jia et al. 2015).

Além da capacidade na redução da toxicidade do nitrito, o uso do sal também possui fundamental relevância para a aquicultura, auxiliando no processo osmorregulatório de espécies de água doce, pois proporciona a esses animais, que vivem em ambientes hiposmóticos, um meio aquático que reduza o esforço fisiológico e as perdas dos sais presentes no próprio sangue (Griffith 2017).

Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo avaliar a frequência alimentar para *B. amazonicus* e *C. macropomum* em sistema BFT sob baixa salinidade. A hipótese desse trabalho é que ambas as espécies possam crescer mais e ter melhores parâmetros hematológicos em relação ao meio aquático ausente de salinidade, uma vez que o ambiente aquático onde existe um nível de hiperosmolaridade estará mais próximo de um equilíbrio que favoreça os mecanismos osmorregulatórios intrínsecos aos peixes de água doce.

Materials and methods

O trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Inovações para Aquicultura (LITA) localizado na Universidade Federal do Amazonas - Faculdade de Ciências Agrárias, cidade de Manaus, estado do Amazonas, Brasil.

Inicialmente, machos e fêmeas de *C. macropomum* e de *B. amazonicus* foram trazidos da Fazenda Ecology Pescados, localizado no município de Rio Preto da Eva, e estocados em caixa de 3.000 L para um período de quarentena de 07 dias. Após a quarentena, 84 animais foram pesados (g), medidos (cm), com auxílio de ictiômetro, e distribuídos homogeneamente em 12 unidades experimentais (*B. amazonicus* = 40,0 ± 9,3 g e 12,2 ± 0,9 cm; *C. macropomum* = 42,2 ± 5,9 g e 10,7 ± 0,6 cm). Os tratamentos foram constituídos por duas diferentes frequências alimentares para cada uma das espécies: (*C. macropomum* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*C. macropomum* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas; (*B. amazonicus* 6/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos; (*B. amazonicus* 5/7) = alimentação todos os dias, exceto aos domingos e quartas.

Com o intuito de evitar uma súbita mudança osmótica na água das unidades experimentais, proporcionando uma aclimação mais segura aos peixes, a quantidade total de sal marinho (contendo antiemectante) adicionada diariamente foi de 1,0 g L⁻¹.

As unidades experimentais foram compostas por caixas de polietileno com capacidade de 310L (290L de volume útil), equipadas com sistema de aeração impulsionado por soprador de 0,5 CV, conduzido por tubulação roscável de 1" e por mangueiras com pedras-porosas terminais para difusão do ar na água. A aeração constante e ininterrupta foi necessária para promover o oxigênio dissolvido que era constantemente consumido pelas reações oxidativas inerentes aos processos de nitrificação. A água inicialmente utilizada para encher as unidades experimentais foi oriunda de poço semiartesiano localizada na referida universidade.

A qualidade da água foi avaliada diariamente (09:00) por meio dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), amônia total (mg L⁻¹ de NH₃ + NH₄⁺), nitrito (mg L⁻¹ de NO₂⁻) e sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹; uso de cone Imhoff). Para manutenção da relação carbono:nitrogênio (relação C:N) mínima de 6:1 (Ebeling, et al. 2006), a adição de açúcar cristal (40% de carbono oriundo da sacarose; C₁₂ H₂₂ O₁₁) foi realizada

sempre que a concentração de amônia total superava 1,0 mg L⁻¹. Juntamente a adição de carbono foram adicionados 50 mL de inóculo oriundo de biorreator específico para bactérias heterotróficas (BIO-H), cultivados sob as seguintes condições e quantidades de insumos para 20 litros de água: temperatura ambiente, ausência de luz, aeração constante, presença de amônia total, quantidade de açúcar para promover uma relação C:N de 15:1, alcalinidade total acima de 120 mg L⁻¹ de CaCO₃ e 20 g de produto probiótico enriquecido com bactérias heterotróficas não-patogênicas dos gêneros *Bacillus* sp. e *Lactobacillus* sp.

Para evitar mortalidade gerada por picos repentinos de nitrito foram fornecidos 15 L de água oriunda de biorreator específico para cultivo de bactérias do tipo BON (BIO-BON) sempre que a concentração de nitrito alcançava 1,0 mg L⁻¹. Para iniciar o BIO-BON foi utilizado como inóculo inicial um ativador de filtração biológica (Stability[®], um produto de Seachem Co.; Madison, Georgia, EUA), na dosagem recomendada pelo fabricante, diluído em uma bambona de 200 L equipada com aeração por pedras-porosas e tijolo quebrado (meio de suporte para fixação de bactérias quimioautotróficas). Esta bambona foi inicialmente abastecida com água contendo alcalinidade acima de 120 mg L⁻¹ de CaCO₃, rica em nitrito e ausente de amônia.

Após entrada de água oriunda do BIO-BON, a salinidade foi medida por meio de equipamento multiparâmetro (Akso[®], modelo AK88; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), sendo então corrigida por meio do uso de sal marinho com antiulectante. O bicarbonato de sódio foi adicionado sempre que necessário para manter o pH (próximo a 7,8) e a alcalinidade total (acima de 120 mg L⁻¹ de CaCO₃) em níveis que permitirem o aparecimento e a manutenção das bactérias heterotróficas e quimio-autotróficas nas unidades experimentais (Jiménez-Ojeda et al. 2018).

Durante os 40 dias de período experimental, a alimentação dos peixes foi realizada com ração 42% de proteína bruta, pellet 2,5 mm (Supra[®], um produto de Alisul Alimentos S.A.; São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), duas vezes ao dia (08:00 e 17:00) até a saciedade aparente e conforme as frequências alimentares de cada tratamento. Os domingos foram reservados para a realização de limpeza e manutenção do sistema integrado para criação dos animais experimentais em sistema de bioflocos.

Para a realização dos procedimentos biométricos e de coleta de sangue, os peixes foram retirados da caixa com auxílio de puçá e anestesiados com eugenol (Inoue et al. 2011). Com os resultados das biometrias foram calculados os seguintes índices relacionados ao desempenho zootécnico: Ganho de Biomassa (GB) = biomassa final – biomassa inicial; Taxa de Sobrevivência, em porcentagem (TS) = (peixes inicial – peixes final)/100; Conversão Alimentar Aparente (CAA) = ração gasta/ganho de biomassa; Ingestão média diária de ração (IMDR) = ração consumida/dia/biomassa; Taxa de Crescimento Específico (TCE) = $\{[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial})/\text{tempo de cultivo}] \times 100\}$.

Após a coleta de sangue (punção do vaso caudal por meio do uso de seringas heparinizadas), o plasma foi enviado para o Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos (LAFBOA) da Universidade Federal do Amazonas, onde as condições fisiológicas puderam ser analisadas e avaliadas (Castro et al. 2020). O hematócrito (Ht, %) foi determinado por meio da técnica de microhematócrito. A concentração da hemoglobina ([Hb]), g dL⁻¹) foi determinada em acordo com o método da cianometahemoglobina. A contagem de células vermelhas (RBC, milhões mm⁻³) foi realizada em uma câmara de Neubauer por meio do uso de um microscópio óptico. Após a obtenção desses parâmetros iniciais, os seguintes índices foram determinados: volume corpuscular médio (VCM, fL),

hemoglobina corpuscular média (HCM, pg) e concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM, g dL⁻¹) (Wintrobe 1934).

De posse dos dados dos biométricos, ainda foi possível avaliar o “bem estar” dos animais por meio da determinação individual do fator de condição relativo ($Kn = Wt/We$). O fator Kn foi obtido por meio da razão entre o peso final amostrado (Wt, em gramas) e o peso final esperado (We, em gramas) para um determinado comprimento final amostrado (Ct, em centímetros) (Le Cren 1951). Para isso, foi utilizada uma relação peso-comprimento logarítmica ($Wt = aLt^b$), sendo que as constantes “a” e “b”, oriundas dessa equação, foram posteriormente utilizadas para formar uma outra equação, fundamental para estimar um peso total (We) em função de um dado valor de comprimento total (Lt): $We = aLt^b$ (Tavares-Dias et al. 2008a).

Os dados zootécnicos, de qualidade de água, hematológicos e de bem-estar dos animais foram analisados quanto à normalidade pelo Teste de Shapiro-Wilk. As diferenças estatísticas significativas entre as médias dos tratamentos foram avaliadas por meio do uso do Teste de t de Student. Todos os dados expressos em porcentagens foram transformados (arco-seno) e analisados com 95% de confiança (Bhujel, 2008). O fator de condição relativo (Kn) de cada um dos tratamentos foram comparados em relação ao padrão $Kn = 1,00$ por meio do Teste de Student, também à 5% de significância (Andrade-Talmelli et al. 1999).

Results

Durante todo o período experimental, as médias dos parâmetros químicos e físicos amostrados da água de cultivo se mantiveram dentro do preconizado para a criação de caracídeos neotropicais (Boyd 2015). Os dados de qualidade de água estão dispostos na Tabela 01, sendo que não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das comparações estatísticas realizadas.

Tabela 01. Parâmetros físicos da água de criação de juvenis de *C. macropomum* e *B. amazonicus* submetidos à salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias

Parâmetros	Tratamentos com <i>C. macropomum</i>		Tratamentos com <i>B. amazonicus</i>	
	CM 5/7	CM 6/7	BA 5/7	BA 6/7
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	6,2±0,18 ^a	6,2±0,13 ^a	6,3±0,36 ^b	6,1±0,09 ^b
Temperatura (°C)	26,5±0,3 ^a	26,8±1,0 ^a	26,3±0,8 ^b	26,1±0,2 ^b
pH	7,8±0,15 ^a	7,9±0,10 ^a	7,9±0,13 ^b	7,9±0,06 ^b
Amônia total (NH ₄ + NH ₃ ⁻)	0,2±0,01 ^a	0,4±0,14 ^a	0,3±0,10 ^b	0,3±0,13 ^b
Nitrito (NO ₂ ⁻)	1,3±0,1 ^a	1,3±0,3 ^a	1,3±1,0 ^b	1,47±0,5 ^b
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	5,3±2,3 ^a	8,7±2,5 ^a	7,3±4,5 ^b	8,2±3,0 ^b

Os dados apresentados são por compostos por médias ± desvio padrão obtidos das unidades experimentais (01 caixa d'água = 01 réplica). Em cada uma das linhas, as médias significativamente iguais possuem as mesmas letras sobrescritas ($p > 0,05$). As comparações estatísticas foram apenas de natureza intraespecífica.

Legenda: (CM 5/7) = tratamento *C. macropomum* 5/7; (CM 6/7) = tratamento *C. macropomum* 6/7; (BA 5/7) = *B. amazonicus* 5/7; (BA 6/7) = *B. amazonicus* 6/7.

Em relação a sobrevivência, vale ressaltar que houve perdas, durante o período experimental, para os tratamentos que utilizaram *B. amazonicus* como espécie estudada. Dentre os demais parâmetros zootécnicos estudados foram não foi encontrada nenhuma diferença estatística significativa ao nível de $\alpha = 0,05$ ($p > 0,05$) (Tabela 02). Com

as biometrias conduzidas no início, final e metade do período experimental foi possível realizar regressão linear para estimação da curva de crescimento de ambas as espécies (Figura 01).

Tabela 02. Parâmetros zootécnicos de juvenis de *C. macropomum* e *B. amazonicus* criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias

Parâmetros	Tratamentos com <i>C. macropomum</i>		Tratamentos com <i>B. amazonicus</i>	
	CM 5/7	CM 6/7	BA 5/7	BA 6/7
Sobrevivência (%)	100,0 ^a	100,0 ^a	83,3±28,9 ^b	77,8±25,5 ^b
Peso inicial (g)	42,3±0,3 ^a	42,1±1,0 ^a	40,2±1,8 ^b	39,7±0,2 ^b
Comprimento inicial (cm)	10,7±0,1 ^a	10,8±0,3 ^a	12,2±0,2 ^b	12,2±0,2 ^b
Peso final (g)	69,4±1,8 ^a	71,0±4,9 ^a	51,5±8,4 ^b	49,0±1,9 ^b
Comprimento final (cm)	12,9±0,1 ^a	12,8±0,3 ^a	13,3±1,0 ^b	13,7±0,5 ^b
Ganho de peso (g)	27,1±2,1 ^a	28,9±4,2 ^a	16,4±5,4 ^b	9,3±1,8 ^b
TCE (% dia ⁻¹)	1,2±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	0,6±0,5 ^b	0,5±0,1 ^b
IMDR (g alimento peixe ⁻¹ dia ⁻¹)	1,08±0,0 ^a	1,05±0,1 ^a	0,77±0,1 ^b	0,73±0,1 ^b
CAA	1,00±0,08 ^a	0,95±0,14 ^a	2,35±0,78 ^b	3,85±0,91 ^b

Os dados apresentados são por compostos por médias ± desvio padrão obtidos das unidades experimentais (01 caixa d'água = 01 réplica). Em cada uma das linhas, as médias significativamente iguais possuem as mesmas letras sobrescritas ($p > 0,05$). As comparações estatísticas foram apenas de natureza intraespecífica.

Legenda: (TCE) = taxa de crescimento específico; (IMDR) = ingestão média diária de ração; (CAA) = conversão alimentar aparente; (CM 5/7) = tratamento *C. macropomum* 5/7; (CM 6/7) = tratamento *C. macropomum* 6/7; (BA 5/7) = *B. amazonicus* 5/7; (BA 6/7) = *B. amazonicus* 6/7.

Com as biometrias realizadas no início, meio e final do período experimental foi possível fazer uma regressão linear para e estimar a curva de crescimento, durante a recria, para cada uma das espécies estudadas em ambiente salino de 4 g L⁻¹. Para isso, foram utilizados os dados biométricos dos animais oriundos dos tratamentos que obtiveram os maiores ganhos em termos de biomassa (CM 6/7; BA5/7):

a) para *C. macropomum*:

$$y = 0,7412x + 41,229; R^2 = 0,9998$$

b) para *B. amazonicus*:

$$y = 0,2898x + 39,482; R^2 = 0,9822$$

Também não houve diferenças estatísticas significativas em relação às condições hematológicas amostradas durante as análises da série vermelha para *C. macropomum* criados nas condições experimentais utilizadas (Tabela 02).

Avaliando a condição de bem-estar dos animais, o fator de condição (Kn) não apresentou diferença estatística na comparação entre os tratamentos testados. Porém, quando a comparação foi feita em relação ao valor centralizador padrão (Kn = 1,00), apenas um tratamento apresentou diferença estatística significativa (BA 5/7 = 1,05; $p < 0,05$) (Figura 02).

Tabela 03. Condições hematológicas e de bem-estar (fator de condição) de juvenis de *C. macropomum* e *B. amazonicus* criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias

Parâmetros	Tratamentos com <i>C. macropomum</i>		Tratamentos com <i>B. amazonicus</i>	
	CM 5/7	CM 6/7	BA 5/7	BA 6/7
Hemoglobina (g dL ⁻¹)	6,27±0,15 ^a	6,35±0,85 ^a	7,64±0,32 ^b	6,97±0,48 ^b
Hematócrito (%)	24,42±1,59 ^a	25,88±3,05 ^a	28,94±1,68 ^b	28,56±1,15
RBC (milhões mm ⁻³)	1,16±0,28 ^a	1,25±0,17 ^a	1,42±0,19 ^b	1,49±0,28 ^b

VCM (fL)	219,45±53,63 ^a	208,35±16,94 ^a	204,79±15,20 ^b	195,06±28,95 ^b
HCM (pg)	56,86±16,75 ^a	51,11±5,26 ^a	54,11±4,87 ^b	47,09±5,61 ^b
CHCM (g dL ⁻¹)	25,73±1,57 ^a	24,51±0,56 ^a	26,40±0,42 ^b	24,19±0,72 ^{ab}
Fator de condição (Kn)	0,98±0,02 ^a	1,01±0,02 ^a	1,05±0,03 ^b	0,94±0,10 ^b

Os dados apresentados são por compostos por médias ± desvio padrão obtidos das unidades experimentais (01 caixa d'água = 01 réplica). Em cada uma das linhas, as médias significativamente iguais possuem as mesmas letras sobrescritas ($p > 0,05$). As comparações estatísticas foram apenas de natureza intraespecífica.

Legenda: (RBC) = contagem de células vermelhas; (VCM) = volume corpuscular médio; (HCM) = hemoglobina corpuscular média; (CHCM) = concentração da hemoglobina corpuscular média; (CM 5/7) = tratamento *C. macropomum* 5/7; (CM 6/7) = tratamento *C. macropomum* 6/7; (BA 5/7) = *B. amazonicus* 5/7; (BA 6/7) = *B. amazonicus* 6/7.

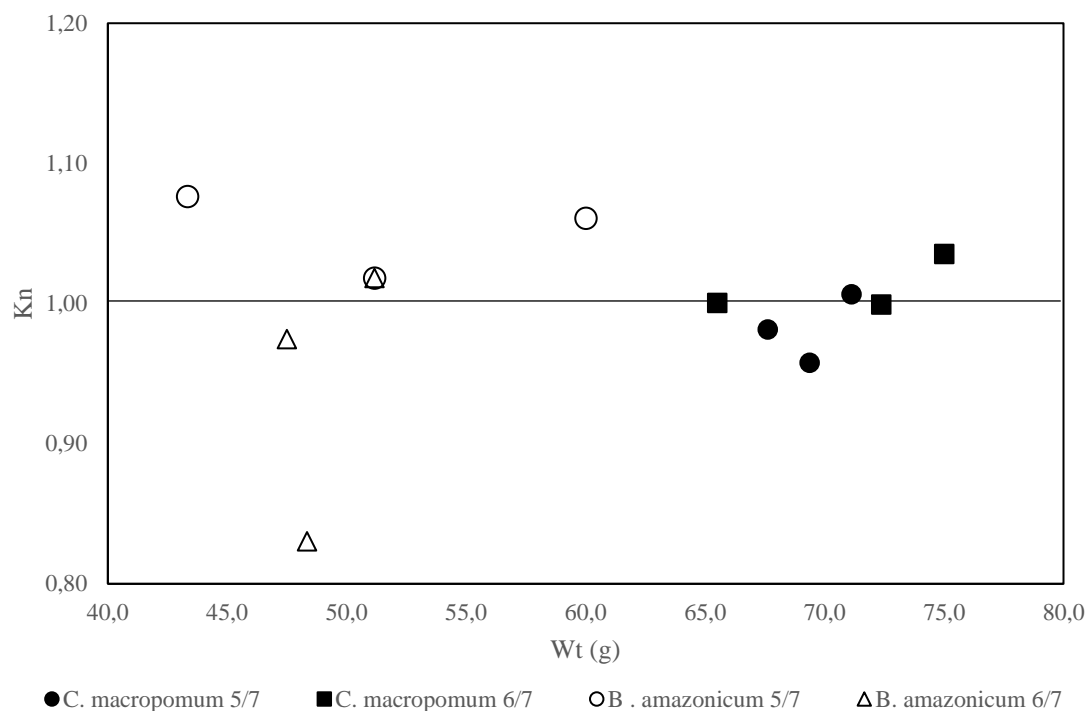


Figura 01. Valores individuais do fator de condição relativo (Kn), entorno do valor padrão (1,00), em relação ao peso total (Wt) de juvenis de *C. macropomum* e *B. amazonicus* criados em salinidade de 4 ‰ e diferentes frequências alimentares durante 40 dias

Discussion

Durante todo o período experimental, os níveis médios do pH ($7,89 \pm 0,11$), temperatura ($26,4 \pm 0,30$ °C) e OD ($6,2 \pm 0,20$ mg L⁻¹) proporcionaram a *C. macropomum* e a *B. amazonicus* permanecerem dentro do esperado e indicado para a criação de ambas as espécies (Morais e O'Sullivan. 2017; Mattos et al. 2018).

O pH (sigla para potencial hidrogeniônico) serve para indicar a concentração dos íons hidrogênio no meio aquoso. Existem processos naturais (geração de CO₂) que tendem a acidificar a água destinada a ser o ambiente de criação os organismos aquáticos (Boyd 2015). Para evitar que o pH saia da faixa ideal para condução das práticas aquícolas de espécies tropicais é necessário que se utilize insumos alcalinizantes, capazes de neutralizar esse processo de acidificação, que sejam fontes de íons carbonato e bicarbonato, como é o caso do calcário e seus derivados (Martins et al. 2017). Em ambientes BFT, esses processos de alteração do pH se tornam ainda mais importantes de serem

controlados, uma vez que há um consumo contínuo do carbono inorgânico presente na alcalinidade por parte das bactérias quimio e heterotróficas durante o processo de assimilação da amônia e do nitrito (Ruiz et al. 2019). Por conta do constante consumo, faz-se necessária a constante reposição desse carbono inorgânico consumido por meio da reposição da alcalinidade consumida, proporcionando carbono inorgânico para que as bactérias continuem executando com a mesma eficiência os processos de assimilação e nitrificação (Ebeling et al. 2006).

Aride et al. (2007) determinaram que o pH próximo ao neutro (entre 6,0 e 7,0) favorece a homeostase de *C. macropomum* submetido a ambientes de produção aquícola. Caso haja uma exposição contínua a pH que não esteja nessa faixa de conforto sugestionada, haverá mudanças significativas na condição fisiológica dos animais, refletindo em alterações nos parâmetros hematológicos padrões para essa espécie. Para *B. amazonicus*, os trabalhos de Marques et al. (2004), Tavares-Dias et al. (2008b) e Arbeláez-Rojas e Moraes (2009) avaliaram hematologicamente indivíduos submetidos a condições aquícolas em pH's médios de $7,6\pm 0,15$, $7,2\pm 0,9$ e $7,2\pm 0,5$, respectivamente.

Em relação a temperatura, os peixes em geral assumem uma condição de serem diretamente afetados diretamente no seu metabolismo pela oscilação diária da temperatura existente na água das unidades produtivas (Evans et al. 2014), principalmente em ambientes mais intensivos que usem apenas telas plásticas usadas na plasticultura para diminuir a radiação solar (Pinho et al. 2017). Para o *C. macropomum*, Barroso et al. (2020) estudaram o metabolismo em repouso e sob velocidade crítica de natação, concluindo que o metabolismo dos indivíduos apresentou menor atividade na temperatura testada mais baixa ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$). Em relação ao *B. amazonicus*, Arbeláez-Rojas et al. (2002) obtiveram maior biomassa produzida e menor conversão alimentar aparente em ambiente conhecido como “canal-de-igarapé” e que apresentou temperatura média de $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. No sistema BFT, a temperatura também é bastante importante, uma vez que as bactérias heterotróficas, BOA e BON possuem um intervalo em que ambas conseguem, ao mesmo tempo, assimilar amônia e nitrito existente no meio aquático das unidades produtivas. A faixa de temperatura mais indicada para que as bactérias heterotróficas não-patogênicas e dos grupos BOA e BON consigam desempenhar com sucesso os processos de assimilação do nitrogênio inorgânico presente no ambiente de criação de organismos aquáticos é de $28\text{ a }30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ruiz et al. 2019), valores aproximados da média observada aqui durante este experimento ($26,4\pm 0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

No caso do oxigênio dissolvido, os dados registrados aqui neste trabalho demonstraram que os níveis de OD permaneceram no intervalo médio entre 6,1 e 6,3 mg L^{-1} (média geral de $6,2\pm 0,2\text{ mg L}^{-1}$) para ambas as espécies. Caso houvesse uma redução repentina nos níveis de OD, a espécie *C. macropomum* possui uma maior adaptação em relação a *B. amazonicus* frente a qualquer tipo de redução brusca nos níveis de OD, inclusive apresentando adaptação que promove um maior RBC no plasma (Ferreira et al. 2010; Wood et al. 2017; Abdel-Tawwab et al. 2019). Para criação de qualquer tipo de organismo aquático em sistema BFT é importante ressaltar que as reações que envolvem neutralização de amônia e nitrito dependem de níveis de OD próximos ao nível de saturação, havendo prejuízos metabólicos para as bactérias de interesse no sistema BFT em valores abaixo de $2,0\text{ mg L}^{-1}$. Portanto, aconselha-se a manutenção do OD mínimo registrado sempre acima de 60% da saturação (Collazos-Lasso e Arias-Castellanos 2015).

Dos compostos inorgânicos existentes em unidades aquícolas, amônia e nitrito são os mais limitantes para a aquicultura intensiva (Souza et., 2019). Para que haja um processo eficiente na remoção desses dois compostos, aplicações regulares de bactérias heterotróficas não-patogênicas são vitais, pois essas aproveitam o nitrogênio presente na amônia para o próprio crescimento e replicação celular (Albab et al. 2019). No ciclo do nitrogênio, enquanto as

bactérias do tipo BOA transformam a amônia em nitrito, forma nitrogenada mais letal em ambientes de criação comercial, as bactérias do tipo BON são as únicas capazes de dar prosseguimento ao ciclo do nitrogênio, oxidando o nitrito em nitrato, forma menos tóxica do nitrogênio (Bossier e Ekasari 2017). Os valores de amônia e nitrito obtidos pelos tratamentos não apresentaram diferença estatística para os tratamentos avaliados ($p>0,05$) e se mostraram dentro do padrão para a criação de *B. amazonicus* e *C. macropomum*. (Brandão et al. 2004; López e Anzoátegui 2013). Alguns fatores produtivos foram cruciais para que esses níveis de amônia e nitrito não alcançassem níveis letais: níveis de OD sempre acima de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$, alcalinidade total acima de 100 mg L^{-1} , fornecimento contínuo de bactérias heterotróficas e de nitratantes por meio dos biorreatores BIO-H e BIO-BON (Ruiz et al. 2019).

No ambiente BFT, os sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}) são fundamentais para a conservação dos níveis de amônia e nitrito dentro do recomendável para a criação de organismos aquáticos, pois a quantidade de bactérias que pode colonizar os bioflocos varia entre 1×10^6 e $1 \times 10^9 \text{ mL}^{-1}$ da biomassa total dos bioflocos (Ahmad et al. 2017). Bakar et al. (2015) determinaram que maiores relações C:N promovem um aumento dos sólidos sedimentáveis (bioflocos), resultando em mitigações de possíveis acúmulos de amônia e nitrito no sistema. Ao final do período experimental, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos para a média de sólidos sedimentáveis ($p>0,05$).

Apesar de ter não ter sido verificada mortalidade para os tratamentos com *C. macropomum*, *B. amazonicus* apresentou grau de mortalidade quando submetida às condições desse experimento. A mortalidade apresentada por *B. amazonicus* não deve ser creditada a salinidade, mas sim a baixa densidade de indivíduos por metro cúbico de água (Arbeláez-Rojas e Moraes 2009). Todavia, peixes tropicais, naturalmente, de água doce podem apresentar mortalidades em ambientes salinos, algo intrinsecamente relacionado a salinidade. Brol et al. (2017) puderam avaliar o efeito da salinidade (8‰) e da densidade de estocagem (400 e $800 \text{ peixes m}^{-3}$) sobre o desempenho zootécnico das tilápias nilótica (*Oreochromis niloticus* – linhagem GIFT) e vermelha (*Oreochromis* sp.) e observaram uma sobrevivência média que variou entre $72,9 \pm 7,3$ e $90,6 \pm 4,7\%$.

Também não houve diferença estatística significativa, entre os tratamentos testados, para ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico ($p>0,05$). Isto significa dizer que a alimentação de apenas cinco dias em cada sete, ao invés de seis dias em cada sete, consegue suprir as necessidades nutricionais tanto *C. macropomum* quanto para *B. amazonicus*, durante o período de recria em sistema BFT. Neste experimento, *C. macropomum* obteve um TCE médio de $1,27 \pm 0,1\%$ e o *B. amazonicus* de $0,7 \pm 0,2\%$, valores inferiores que aos obtidos por Fiuza et al. (2013) e Mattos et al. (2018), respectivamente. Fiuza et al. (2013) obtiveram um TCE médio de $1,85 \pm 0,8\%$ avaliando o desempenho zootécnico de juvenis de *C. macropomum* (peso inicial = $57,4 \pm 5,5 \text{ g}$) criados em sistemas de recirculação e água clara, durante 84 dias e em quatro diferentes concentrações salinas: 0‰, 5‰, 10‰, 15‰). Já Mattos et al. (2018) relataram um TCE médio de $4,72 \pm 0,2 \text{ g}$ para juvenis de *B. amazonicus* (peso médio inicial = $3,2 \pm 0,2 \text{ g}$) submetidos a quatro diferentes níveis de proteína bruta (30%, 35%, 40%, 45%) na dieta alimentar durante 60 dias.

Para o GP não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos ($p>0,05$), tendo sido obtido um GP médio de $28,0 \pm 3,1 \text{ g}$ para o *C. macropomum* e $12,1 \pm 4,9$ para *B. amazonicus*, valores inferiores aos GP's médios de $65,8 \pm 5,1 \text{ g}$ e $51,1 \pm 5,8 \text{ g}$, obtidos por Brandão et al. (2004) e Mattos et al. (2018) para *B. amazonicus*, e também menores em relação aos relatados por Fiuza et al. (2013) e Silva et al. (2013) para *C. macropomum*, $26,97 \text{ g}$ (GP obtido na menor salinidade testada) e $34,99 \pm 1,78 \text{ g}$, respectivamente. Brandão et al. (2004) avaliaram quatro densidades de

estocagem para a recria de *B. amazonicus* em tanques-rede (200, 300, 400 e 500 peixes m⁻³). Silva et al. (2013) analisaram o desempenho zootécnico do *C. macropomum* em canais de abastecimento sob três diferentes densidades de estocagem durante 45 dias: (60, 90 e 120 peixes m⁻³).

Não foi encontrada diferença estatística significativa ($p>0,05$) também para a ingestão média diária de ração (IMDR). Para *C. macropomum*, o IMDR médio obtido foi de $1,07\pm 0,1$ g alimento peixe⁻¹ dia⁻¹, valor inferior ao intervalo apresentado por Fiuza et al. (2013) que oscilou entre $5,7\pm 0,4$ e $1,0\pm 0,1$ g alimento peixe⁻¹ dia⁻¹. Já para o *B. amazonicus* foi obtido um IMDR médio de $0,76\pm 0,1$ g alimento peixe⁻¹ dia⁻¹, bastante superior ao IMDR médio de $0,03$ g alimento peixe⁻¹ dia⁻¹ obtido por Marques et al. (2004) quando analisaram a influência de quatro diferentes densidades de estocagem (24, 48, 72 e 96 peixes m⁻³) no crescimento de *B. amazonicus* com (peso médio inicial = $2,0\pm 0,82$ g) durante 20 dias.

Os valores obtidos de conversão alimentar aparente (CAA) também não apresentaram diferenças estatísticas frente aos tratamentos testados ($p>0,05$). Aqui neste experimento foram encontrados os CAA's médios de $0,97\pm 0,1$ para *C. macropomum* e $3,08\pm 1,1$ para *B. amazonicus*. Para *B. amazonicus*, os valores se justificam devido a mortalidade apresentada pelos tratamentos, o que acabou por influenciar negativamente a biomassa final e, consequentemente, o CAA. Comparando com demais trabalhos, o valor obtido aqui neste experimento para *C. macropomum* foi inferior aos CAA's médios obtidos por Silva et al. (2013) e Fiuza et al. (2013), $0,99\pm 0,06$ e $1,3\pm 0,01$ (considerado apenas os animais criados em salinidade de 5‰), respectivamente. Já para *B. amazonicus*, os animais aqui deste experimento apresentaram dados superiores aos CAA's médios de $1,33\pm 0,0$, $1,29\pm 0,2$ e $1,49\pm 0,3$ obtidos por Brandao et al. (2004), Marques et al. (2004) e Mattos et al. (2018), respectivamente.

Para que a criação de organismos aquáticos apresente CAA reduzidos ou compatíveis com uma atividade agroeconômica passível de gerar lucros ao produtor, deve-se levar em consideração alguns fatores que são de suma importância para uma melhoria na relação direta existente entre biomassa produzida e consumo de ração: 1) qualidade da água; 2) densidade de estocagem compatível com o tamanho do animal e o período dentro do ciclo produtivo (larvicultura, recria e terminação); 3) dieta alimentar que ofereça os níveis de proteína bruta adequados para a idade do peixe; 4) e, para os filtradores, aumento na oferta de alimento inerte disponível para consumo (fitoplâncton e zooplâncton) (Crab et al. 2010). Avnimelech (2007), estudando aspectos e métodos quantitativos para avaliação da ingestão de bioflocos por tilápias (*Oreochromis niloticus*), determinou que os flocos podem contribuir com até 50% das necessidades proteicas diárias de peixes filtradores. Isso se deve, em parte, aos níveis de PB(%) que compõe os bioflocos, pois dependendo da fonte de carbono utilizada (melaço de cana, açúcar refinado, farinha de trigo, dentre outros), esses níveis de PB (%) podem variar entre 30% e 38% para na composição centesimal dos flocos, além de apresentar um balanço entre proteína, lipídeos, cinzas e carboidratos satisfatório para o uso alimentar na aquicultura. (Crab et al. 2012; Marinho-Pereira et al. 2020).

Neste trabalho não foi registrada diferença estatística para o fator de condição relativo (Kn) entre os tratamentos testados ($p>0,05$) (Figura 01). No entanto, o tratamento que submeteu o *B. amazonicus* a frequência alimentar de cinco dias alimentados para cada sete dias de criação (BA5/7) apresentou diferença estatística significativa ($p<0,05$) em relação ao valor centralizador (Kn = 1,00), o que indica o bem-estar dos animais acima do normal para este tratamento. Organismos aquáticos de água doce dependem bastante dos processos intrínsecos a osmorregulação para que não percam muitos sais durante o processo de absorção da água. Sendo assim, em ambientes onde exista uma

concentração de sais (principalmente, Na^+ e Cl^-) semelhante ou maior que a apresentada no plasma sanguíneo, como foi o caso deste experimento promovendo uma salinidade de 4‰, a tendência é que haja redução no gasto energético relacionado a própria osmorregulação, permitindo deslocar maior oferta de energia para fatores fisiológicos relacionados a crescimento corporal e demais funções biológicas (respiração, natação, digestão, dentre outras) (Griffith 2017). Marques et al. (2004) encontraram Kn médio de $1,17 \pm 0,0$, acima do Kn médio de $1,00 \pm 0,1$ encontrado para *B. amazonicus* aqui neste experimento. Tavares-Dias et al. (2008a) encontraram Kn médio de 1,00 para *C. macropomum* e *B. amazonicus* para indivíduos com, aproximadamente, 90 dias de idade que foram coletados aleatoriamente em viveiro semi-escavado. Santos et al. (2015), durante avaliação do desempenho zootécnico de *C. macropomum* em viveiros escavados com DE de 01 peixe m^{-2} alimentados com ração comercial e massa de mandioca, verificaram que o Kn poderá variar, dentro do mesmo ciclo produtivo, entre valores acima e abaixo do valor centralizador de $\text{Kn} = 1,0$, dependendo de questões relacionadas a sazonalidade climática (estação do ano) e da relação direta entre taxa de metabolismo-idade do animal. A partir da análise desses dados é possível afirmar que o fator de condição relativo (Kn) é uma ferramenta eficiente para avaliar as condições aquícolas de peixes submetidos a sistemas fechados ou intensivos de criação.

Em relação aos parâmetros hematológicos não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as duas frequências alimentares testadas ($p > 0,05$). Porém, é importante frisar que a hemoglobina (Hb), o hematócrito (Ht) e o número de eritrócitos circulares (RBC) podem apresentar alterações relevantes que servem de base para identificar estresses fisiológicos ocasionados por adaptações osmorregulatórias atreladas a criação de peixes, originalmente de água doce, em ambiente hídricos com baixa salinidade. A determinação da Hb é crucial na indicação da capacidade sanguínea de transportar o gás oxigênio, oriundo da respiração, por todo o corpo do animal. Já a avaliação do Ht é realizada para que se determine a relação proporcional existente entre o volume de eritrócitos (hemácias) e o volume total de sangue. Juntamente a análise do Ht, o RBC desempenha papel fundamental na indicação de possível doença infecciosa que esteja acometendo o animal analisado, sendo considerado um dos mais importantes indicadores hematológicos de saúde para peixes (Burgos-Aceves et al. 2019).

A Hb média, o Ht médio e o RBC médio amostrados aqui neste trabalho foram de $6,31 \pm 0,5$ g dL^{-1} , $25,13 \pm 2,3\%$ e $1,20 \pm 0,2$ milhões mm^{-3} para *C. macropomum*, respectivamente. Todos esses parâmetros médios ficaram abaixo do determinado por Tavares-Dias e Sandrim (1998), exceto RBC, e por Gomes et al. (2006), mas acima do relatado por Fiuza et al. (2013) para condições semelhantes de criação, onde havia a presença de salinidade e densidade de estocagem usada em sistemas intensivos fechados. Tavares-Dias e Sandrim (1998) avaliaram as condições hematológicas de *C. macropomum* estocados em viveiros semi-escavados, porém não submetidos a densidade de estocagem normal de uma criação semi-intensiva. Gomes et al. (2006) estudaram o desempenho de *C. macropomum* submetidos a quatro diferentes densidades de estocagem (20, 30, 40 e 50 peixes m^{-3}) em tanques-rede durante oito meses. Já para *B. amazonicus*, a Hb média, o Ht médio e o RBC médio determinados neste trabalho foram de $7,28 \pm 0,5$ g dL^{-1} , $28,85 \pm 1,3\%$ e $1,45 \pm 0,2$ milhões mm^{-3} , respectivamente, valores semelhantes aos encontrados por Tavares-Dias et al. (2008b) após analisarem indivíduos, com idade de 82 dias, criados em cativeiro. Ou seja, pode-se afirmar que os resultados hematológicos encontrados aqui neste trabalho estão em acordo com os parâmetros estabelecido por Tavares-Dias et al. (2008b) para criação em cativeiro de *B. amazonicus*.

Valores de Ht, Hb e RBC fora do intervalo padrão considerado satisfatório para peixes em situação de criação comercial pode indicar quadro de anemia (Burgos-Aceves et al. 2019). Todavia, Ranzani-Paiva et al. (1999) relataram que oscilações nos valores hematológicos também podem ser resultado de condições específicas do local de criação, dentre outros aspectos. Para *C. macropomum*, Aride et al. (2007) relataram deficiências fisiológicas em animais submetidos a pH's que ultrapassem o valor de 6,0. Já para *B. amazonicus*, Arbeláez-Rojas et al. (2002) encontraram um melhor desempenho produtivo em ambientes com perfil característico dos inúmeros pequenos cursos d'água existentes na Amazônia, conhecidos popularmente pelo termo indígena "igarapé": temperatura média de 25,8 °C; pH oscilando entre 4,6 e 5,6; oxigênio dissolvido médio de 5 mg L⁻¹; transparência total; e fluxo contínuo de água, sendo a natação sustentada um fator importante e que auxilia no processo de crescimento de *B. amazonicus* (Arbeláez-Rojas e Moraes 2009).

Os demais parâmetros hematológicos médios, e que também não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos ($p > 0,05$; exceto o CHCM para *B. amazonicus* que apresentou diferença estatística intraespecífica), foram os seguintes para *C. macropomum* e *B. amazonicus*, respectivamente: Volume Corpuscular Médio (VCM) = 213,9±36,1 e 199,9±197,7 fL; Hemoglobina Corpuscular Média (HCM) = 54,0±11,5 e 50,6±5,9 pg; Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM) = 25,1±1,3 e 25,3±1,4 g DL⁻¹. Estes valores são bastante semelhantes aos determinados por Gomes et al. (2006) e Tavares-Dias et al. (2008b) para *C. macropomum* e *B. amazonicus*, respectivamente. Na comparação com Gomes et al. (2006), apenas o CHCM alcançado aqui neste experimento se mostrou inferior. A HCM, o VCM e a CHCM são de fundamental importância para que se possa analisar integralmente a capacidade plasmática que os peixes possuem para transportar os gases oxigênio e carbônico, além de servir como bioindicador para a presença de quaisquer tóxicos (p.ex. metais) na água (Kumar e Banerjee 2016).

Em ambientes naturais, os níveis de salinidade servem para caracterizar os diferentes ambientes aquáticos, segregando ambientes de água doce dos estuarinos e dos marinhos. Dentro dessa diferenciação é necessário entender que os íons Na⁺ e Cl⁻ são determinantes durante análise do grau de osmolaridade do fluido aquático e, suas respectivas concentrações, fundamentais na tomada de decisão em relação a preferência por ambientes aquáticos com baixos níveis de salinidade (próximo a 4 ‰), mas que tendem a favorecer os processos osmorregulatórios de espécies de peixes que possuem habitat natural em ambientes ausentes de salinidade e baixa osmolaridade (Griffith 2017). Alguns trabalhos já foram conduzidos para que se pudesse compreender o comportamento fisiológico de espécies nativas nesses ambientes com presença de salinidade, onde se pode destacar os estudos conduzidos com o surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), o pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Ou seja, além de *C. macropomum* e *B. amazonicus*, todas essas espécies anteriormente citadas podem ser consideradas como estenoalinas, pois são tolerantes a baixas concentrações salinas na água (Santos e Luz 2009; Jomori et al. 2012).

A utilização de sistemas aquáticos fechados para criação de organismos em ambientes de baixa salinidade pode ser interessante, pois é capaz de produzir alguns efeitos positivos importantes para qualquer empreendimento aquícola e nos animais ali criados: 1) redução no gasto energético destinado a regulação iônica e osmótica, deslocando maior quantidade energética para processos fisiológicos que sejam capazes de maximizar o crescimento corporal e a conversão alimentar aparente (Mubarik et al., 2019); 2) diminuição do esforço destinado a flutuabilidade, pois ambientes aquáticos com salinidade apresentam maior gravidade específica (Jomori et al. 2013); 3) promoção de rápida

redução do cortisol plasmático, resultando em menor estresse fisiológico após processos de manejo físico dos animais ou comportamento de fuga (Mirghaed e Ghelichpour, 2019).

O gerenciamento dos processos relacionados ao fornecimento de ração é um dos fatores mais importantes em empreendimentos aquícolas comerciais, pois a ração é o insumo que mais contribui dentro do custo variável da produção de organismos aquícolas (Baloj et al, 2014). Comparando as duas espécies testadas aqui neste estudo, *B. amazonicus* é considerada uma espécie com menor capacidade de aproveitar alimento inerte no ambiente aquático em relação a *C. macropomum*, uma vez que possui rastros branquiais de maior espessura, em menor número e mais separados entre si (Arbeláez-Rojas et al. 2002). O aproveitamento dos flocos por parte dos peixes é fundamental no incremento da diversidade alimentar em ambientes aquícolas, permitindo reciclar a fração não utilizada do alimento fornecido e possibilitando que a proteína possa ser duplamente aproveitada pelas espécies criadas (Avnimelech 2007). Por não ter havido diferenças significativas entre os tratamentos e as condições hematológicas terem apresentado resultados comparativamente semelhantes, indica-se a salinidade 4‰ e o fornecimento de ração durante cinco dias para cada sete dias do ciclo de produção de *C. macropomum* e *B. amazonicus* em sistemas intensivos BFT.

References

Abdel-Tawwab M, Monier MN, Hoseinifar SH, Faggio C (2019) Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish, Physiology and Biochemistry* <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00614-9>

Ahmad I, Rani AMB, Verma AK, Maqsood M (2017) Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture Research* <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0108-8>

Albab WA, Ayu NP, Iskandar P (2019) Pengaruh Penambahan Probiotik dalam Pakan terhadap Laju pertumbuhan dan Kelulushidupan Ikan Bawal Air Tawar (*Colossoma macropomum*) dengan Sistem Bioflok. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* <https://doi.org/10.31258/jpk.24.1.32-40>

Andrade-Talmelli EF, Fenerich-Verani N, Verani JR (1999) Fator de condição relativo (kn): um critério para selecionar fêmeas de piabanha, *Brycon insignis* (Steindachner, 1876) (Pisces: Bryconinae), para indução reprodutiva. *Boletim do Instituto de Pesca*, 25:95-99

Arbeláez-Rojas GA, Fracalossi DM, Fim JDI (2002) Composição corporal de tambaqui, *Colossoma macropomum*, e matrinxã, *Brycon cephalus*, em sistemas de cultivo intensivo, em igarapé, e semi-intensivo, em viveiros. *Revista Brasileira de Zootecnia* <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000500001>

Arbeláez-Rojas GA, Moraes G (2009) Interação do exercício de natação sustentada e da densidade de estocagem no desempenho e na composição corporal de juvenis de matrinxã *Brycon amazonicus*. *Ciência Rural* <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000100031>

Aride PHR, Roubach R, Val AL (2007) Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. *Aquaculture Research* 38:588-594 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01693.x>

Avnimelech Y (2007) Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>

Bakar NSA, Nasir NM, Lananan F, Hamid SHA, Lam AA, Jusoh A (2015) Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing bioflocs technology. *International Biodeterioration & Biodegradation* <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.001>

Baloi M, Carvalho CVA, Sterzelecki FC, Passini G, Cerqueira VR (2014) Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juveniles Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindacher 1879). *Aquaculture Research* <https://doi.org/10.1111/are.12514>

Barros IBA, Villacorta-Correa MA, Carvalho TB (2019) Stocking density and water temperature as modulators of aggressiveness, survival and zootechnical performance in matrinxã larvae, *Brycon amazonicus*. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.070>

Barroso DC, Almeida-Val VMF, Val AL (2020) Temperature and food availability alters the physiology and aerobic capacity of tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Comparative Biochemistry and Physiology – Part A* <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110704>

Bhujel, RC (2008) *Statistics for aquaculture*. USA: Wiley-Blackwell

Bossier P, Ekasari J (2017) Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Technology* <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>

Boyd, CE (2015) *Water quality: an introduction*. USA: Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>

Brandão FR, Gomes LC, Chagas EC, Araújo LD, Silva ALF (2004) Densidade de estocagem de matrinxã (*Brycon amazonicus*) na recria em tanque-rede. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300014>

Brol J, Pinho SM, Sgnaulin T, Pereira KR, Thomas MC, Mello, GL, Miranda-Baeza A, Emerenciano MGC (2017) *Archivos de Zootecnia* <https://doi.org/10.21071/az.v66i254.2326>

Burgos-Aceves MA, Lionetti L, Faggio C (2019) Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish. *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.275>

Castro PDS, Ladislau DS, Ribeiro MWS, Lopes ACC, Lavander HD, Bassul LA, Mattos DC, Liebl ARS, Aride PHR, Oliveira AT (2020) Hematological parameters of three species of the peacock bass (*Cichla* spp.) from Balbina lake, Presidente Figueiredo, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* <https://doi.org/10.1590/1519-6984.219409>

Collazos-Lasso LF, Arias-Castellanos JA (2015) Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revision. *Orinoquia* 19:77-86

Crab R, Lambert A, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W (2010) The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Microbiology* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04791.x>

Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W (2012) Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>

Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ (2006) Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

Evans DH, Claiborne JB, Currie S, (2014) *The physiology of fishes*. CRC Press: USA

FAO (2018) *The state of world fisheries and aquaculture – Meeting the sustainable development goals*. Food and Agriculture Organization, Rome <http://www.fao.org/3/CA0191EN/CA0191EN.pdf> Accessed 22 June 2020

Ferreira MS, Oliveira AM, Val AL (2010) Velocidade crítica de natação (Ucrit) de matrinxã (*Brycon amazonicus*) após exposição à hipóxia. *Acta Amazonica* <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000400009>

Fiúza LS, Aragão NM, Ribeiro-Júnior HP, Moraes MG, Rocha IRCB, Lustosa-Neto AD, Sousa RR, Madrid RMM, Oliveira EG, Costa FHF (2013) Effects of salinity on the growth, survival, haematological parameters and osmoregulation of tambaqui *Colossoma macropomum* juveniles. *Aquaculture Research* <https://doi.org/10.1111/are.12224>

Gilannejad N, Silva T, Martínez-Rodríguez G, Yúfera M (2019) Effect of feeding time and frequency on gut transit and feed digestibility in two fish species with different feeding behaviours, gilthead seabream and Senegalese sole. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734438>

Gomes LC, Chagas EC, Martins-Júnior H, Roubach R, Ono EA, Lourenço JNP (2006) Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.020>

Griffith MB (2017) Toxicological perspective on the osmoregulation and ionoregulation physiology of major ions by freshwater animals: Teleost fish, Crustacea, aquatic insects, and Mollusca. *Environmental Toxicology and Chemistry* <https://doi.org/10.1002/etc.3676>

Harland J (2019) The origins of aquaculture. *Nature Ecology & Evolution* <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0966-3>

Inoue LAKA, Boijink CL, Ribeiro PT, Silva AMD, Affonso EG (2011) Avaliação de respostas metabólicas do tambaqui exposto ao eugenol em banhos anestésicos. *Acata Amazonica* <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000200020>

Jensen F, Nielsen M, Nielsen, R (2014) Increased competition for aquaculture from fisheries: Does improved fisheries management limit aquaculture growth? *Fisheries Research* <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.05.004>

Jia R, Han C, Lei JL, Liu BL, Huang B, Huo HH, Yin ST (2015) Effects of nitrite exposure on haematological parameters, oxidative stress and apoptosis in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquatic Toxicology* <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.09.016>

Jimenez-Ojeda YK, Collazos-Lasso LF, Arias-Castellanos JA (2018) Dynamics and use of nitrogen in biofloc technology – BFT. *AAACL Bioflux* 11:1107-1129

Jomori RK, Luz RK, Portella MC (2012) Effect of salinity on larval rearing of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a freshwater species. *Journal of the World Aquaculture Society* <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00570.x>

Jomori RK, Luz RK, Takata R, Fabregat TEHP, Portella MC (2013) Água levemente salinizada aumenta a eficiência da larvicultura de peixes neotropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800001>

Kumar G, Engle C, Tucker C (2018) Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the World Aquaculture Society* <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>

Kumar R, Banerjee (2016) Arsenic induced hematological and biochemical responses innutritionally important catfish *Clarias batrachus* (L.). *Toxicology Reports* <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.01.001>

Le Cren ED (1951) The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Animal Ecology <https://doi.org/10.2307/1540>

López P, Anzoátegui D (2013) Engorde de la cachama (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816) cultivada en un sistema de recirculación de agua. Zootecnia Tropical 31:271-277.

Marinho-Pereira T, Vinhote-Marinho NM, Cavero BAS (2014) A matrinxã e os sistemas de produção. In: Marinho-Pereira T (ed) *Brycon amazonicus*: produção reprodução artificial, transporte, sanidade e perspectivas. Novas Edições Acadêmicas, Saarbrücken, pp 24-37

Marinho-Pereira T, Faria-Junior CH, Rincón LMG, Britto EN, Cavero BAS, Aride PHR, Oliveira AT (2020) Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-187>

Marques NR, Hayashi C, Furuya WM, Soares CM (2004) Influência da densidade de estocagem no cultivo de alevinos de matrinxã *Brycon cephalus* (Günther, 1869) em condições experimentais. Acta Scientiarum <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v26i1.1670>

Martins GB, Tarouco F, Rosa CE, Robaldo RB (2017) The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.046>

Mattos BO, Bueno GW, Honczaryk A, Pereira-Filho M, Roubach R (2018) Níveis de proteína bruta na dieta de juvenis de matrinxã (*Brycon amazonicus*). Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences <https://doi.org/10.22491/rca.2018.2649>

Mirghaed A, Ghelichpour M (2019) Effects of anesthesia and salt treatment on stress responses, and immunological and hydromineral characteristics of common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) subjected to transportation. Aquaculture <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.008>

Morais IS, O'Sullivan FLA (2017) Biología, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816). Scientia Amazonia, 6:81-93

Mubarik MS, Asad F, Zahoor MK, Abid A, Ali T, Yaqub S, Ahmad S, Qamer S (2019) Study on survival, growth, haematology and body composition of *Cyprinus carpio* under different acute and chronic salinity regimes. Saudi Journal of Biological Sciences <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.12.013>

Nhung NTT, Cuong TH, Burney P, Hop HTM, Dogot T, Lebailly P (2020) Economic analysis of different aquaculture systems in coastal buffer zones of protected areas: a case study in Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Eco. Env. & Cons.* 26:S44-S52

Peixe BR (2020) Anuário 2020 – Peixe BR da Piscicultura. Associação Brasileira da Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>. Accessed 22 June 2020

Pinho SM, Molinari D, Mello GL, Fitzsimmons KM, Emerenciano MGC (2017) Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering* <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>

Ranzani-Paiva MJT, Salles FA, Eiras JC, Eiras AC, Ishikawa CM, Alexandrino AC (1999) Análises hematológicas de curimatá (*Prochilodus scrofa*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do Instituto de Pesca, estado de São Paulo. *Boletim do Instituto da Pesca*, 25:77-83.

Rocha MJS, Jerônimo GT, Costa OTF, Malta JCO, Martins ML, Maciel PO, Chagas EC (2018) Changes in hematological and biochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) parasitized by metazoan species. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology* <https://doi.org/10.1590/S1984-296120180073>

Rodrigues APO (2014) Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Boletim do Instituto da Pesca*, 40:135-145

Ruiz P, Vidal JM, Sepúlveda D, Torres C, Villouta G, Carrasco C, Aguilera F, Ruiz-Tagle N, Urrutia H (2019) Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture* <https://doi.org/10.1111/raq.12392>

Santos JCE, Luz RK (2009) Effect of salinity and prey concentrations on *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus costatus* and *Lophiosilurus alexandri* larviculture. *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.014>

Santos VA, Lourenço CB, Malcher CS, Trindade GV, Araújo RF, Lobão RA (2015) Relação peso-comprimento e fator de condição relativo do tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) em cativeiro utilizando a massa de mandioca como alimento alternativo. *Boletim Técnico e Científico do CEPNOR* <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p9-13>

Schroback P, Pascoe S, Coglan L (2014) Impacts of introduced aquaculture species on markets for native marine aquaculture products: the case of edible oysters in Australia. *Aquaculture Economics & Management* <https://doi.org/10.1080/13657305.2014.926465>

Silva ADR, Santos RB, Bruno AMSS, Soares EC (2013) Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes. *Acta Amazonica* <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400014>

Souza J, Cardozo A, Wasielesky Jr. W, Abreu PC. (2019) Does the biofloc size matter to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? *Aquaculture* <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.051>

Tavares-Dias M, Sandrim EFS (1998) Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sanguíneo de espécimes de *Colossoma macropomum* em condições de cultivo. *Acta Scientiarum* <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v20i0.4466>

Tavares-Dias M, Marcon JL, Lemos JRG, Fim JDI, Affonso EG, Ono EA (2008a) Índices de condição corporal em juvenis de *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) e *Colossomoma macropomum* (Cuvier, 1818) na Amazônia. *Boletim do Instituto da Pesca*, 34:197-204

Tavares-Dias M, Affonso EG, Oliveira SR, Marcon JL, Egami MI. (2008b). Comparative study on hematological parameters of farmed matrinxã, *Brycon amazonicus* Spix and Agassiz, 1829 (Characidae: Bryconinae) with others Bryconinae species. *Acta Amazonica* <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400026>

Wood CM, Netto JGS, Wilson JM, Duarte RM, Val AL (2017) Nitrogen metabolism in tambaqui (*Colossoma macropomum*), a neotropical model teleost: hypoxia, temperature, exercise, feeding fasting, and high environmental ammonia. *J Comp Physiol B* <https://doi.org/10.1007/s00360-016-1027-8>

Wintrobe MM (1934) Variations on the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. *Folia Haematologica: Internationales Magazin fur Blutforschung*, 51: 32-49

Funding Este trabalho foi financiado pelo Laboratório de Inovações Tecnológicas para a Aquicultura (UFAM) e pela empresa Ecology Pescados (Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil). Também é necessário agradecer ao Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia de Organismos Aquáticos (UFAM) pelo suporte técnico e científico.

CONCLUSÃO GERAL

O tambaqui apresentou melhora significativa no desempenho zootécnico, cultivado em sistema BFT, em salinidade 4 ‰. Esta espécie também apresentou parâmetros hematológicos compatíveis com os dados apresentados, anteriormente, por estudos que analisaram as condições fisiológicas da espécie submetida a condições de cultivo.

Quando as espécies testadas aqui neste trabalho foram submetidas a duas diferentes frequências alimentares, estas demonstraram não apresentar diferença significativa em relação a crescimento e condições fisiológicas. Portanto, o mais indicado é o fornecimento de ração para ambas as espécies criadas sob sistema BFT em salinidade 4 ‰ no sistema de cinco dias de alimentação para cada sete dias de criação.

Com relação ao sistema a ser utilizado para criação do tambaqui, o uso do sistema BFT somente é indicado quando houver a presença de sistema elétrico on-grid para geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos. Ou seja, torna-se inviável a criação desta espécie no sistema BFT ligado a rede das concessionárias de energia elétrica, seja pelo atual preço pago pelo kWh no Brasil, seja pelos aumentos anuais e/ou estabelecimento de bandeiras tarifárias que tornarão o custo de produção maior que a receita bruta auferida.