

**EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE
Macrobrachium rosenbergii CULTIVADO EM EM SISTEMAS INTENSIVOS DE
PRODUÇÃO**

Marcele Trajano de Araújo



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE
Macrobrachium rosenbergii CULTIVADO EM EM SISTEMAS INTENSIVOS DE
PRODUÇÃO**

Marcele Trajano de Araújo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Doutora.

Profa. Dra. Maria Raquel Moura Coimbra

Orientadora

Prof. Dr. Luis Otavio Brito da Silva

Co-orientador

Recife,

Outubro/2022

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

A663e

de Araujo, Marcele Trajano

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE *Macrobrachium rosenbergii*
CULTIVADO EM EM SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO / Marcele Trajano de Araujo. - 2022.
65 f. : il.

Orientadora: Maria Raquel Moura Coimbra.

Coorientador: Luis Otavio Brito da Silva.

Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Recife, 2022.

1. Camarão gigante da Malásia. 2. Sistemas intensivos. 3. Nutrição de camarão . 4. Alta densidade. I. Coimbra, Maria Raquel Moura, orient. II. Silva, Luis Otavio Brito da, coorient. III. Título

CDD 639.3

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE
***Macrobrachium rosenbergii* CULTIVADO EM EM SISTEMAS INTENSIVOS DE**
PRODUÇÃO

Marcele Trajano de Araújo

Tese julgada adequada para obtenção do
Título de Doutora em Recursos Pesqueiros e Aquicultura.
Defendida e aprovada em 10/10/2022 pela seguinte Banca Examinadora:

Profa. Dra. Maria Raquel Moura Coimbra

Orientadora

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Gelcirene de Albuquerque Costa

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Karina Ribeiro

Escola Agrícola de Jundiá
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Alfredo Olivera Gálvez

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Jesaias Ismael da Costa

Instituto Federal do Amazonas

Dedicatória

Dedico este trabalho a Jarson Maciel de Araújo Júnior
(*In memoriam*)

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, criador de todas as coisas, dono de toda ciência e sabedoria, sem Ele, nada do que existe teria sido feito e eu não teria chegado até aqui.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Departamento de Pesca e Aquicultura e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, em nome de todos os professores, que contribuíram para a minha formação durante todo esse período, bem como os funcionários, pela alegria, acolhimento e prestatividade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o período de curso.

Ao meu sempre orientador, Prof. Dr. Eudes de Souza Correia, pela paciência, dedicação e ensinamentos. À Profa. Dra. Maria Raquel Moura Coimbra, orientadora que me acolheu no meio do Doutorado e que mesmo em meio a tantas turbulências neste último ano foi paciente, me ajudando, orientando e ensinando. Ao Prof. Dr. Luis Otavio Brito da Silva, co-orientador, por dividir um pouco do seu vasto conhecimento. Ao Prof. Dr. Alfredo Olivera Galvez, por sempre estar disposto a ajudar, pela preocupação e pelas trocas de conhecimentos.

A Douglas Lemos, estagiário exemplar, pela disponibilidade e disposição mesmo em meio às dificuldades impostas pela pandemia. À Elizabeth Santos e Renata Farias, minhas amigas, companheiras de laboratório e de vida, por segurarem a minha mão nos momentos mais complicados e com leveza me ajudarem a seguir. Aos amigos das rodadas de café: Valdemir Queiroz, Otavio Lacerda, Karolayne Oliveira, Fabiana Penalva e Ítalo Braga, pelos momentos de descontração e pelas conversas científicas e por vezes, aleatórias. E a todos que, de alguma forma, cooperaram para a realização deste trabalho e que se fizeram presentes durante este período intenso da minha vida.

À minha família, meu bem mais precioso, em especial ao meu irmão, geólogo exemplar Jadson Araújo e a meus pais Jarson Araújo e Marluce Trajano por sempre se fazerem presentes e serem meu porto seguro, por toda dedicação e força, além de todo o esforço que fizeram para me educar.

Ao meu irmão Jarson Jr (*In memoriam*), que me ensinou até os seus últimos dias sobre força e resiliência; ao meu avô José Trajano (*In memoriam*), que me mostrou o quanto o estudo e qualificação são importantes; e ao meu avô Jaime Araujo (*In memoriam*), que me provou que posso alcançar o que quiser, basta trabalhar duro e lutar pelo que almejo.

Resumo

Com o aumento da população e a necessidade de seu suprimento com proteína animal de alta qualidade há a necessidade de maior eficiência nas atividades aquícolas, visando melhor aproveitamento da água e menor emissão de efluentes, associado à maior produtividade e rentabilidade. A preocupação com a sustentabilidade é um dos maiores desafios na agenda de inovação da aquicultura. Os sistemas de cultivo dependentes da constante renovação da água que produz efluentes tóxicos não estão mais alinhados com a crise mundial da água e exigem sistemas alternativos de produção. Desta forma, a presente pesquisa objetivou-se, avaliar o desempenho zootécnico de *Macrobrachium rosenbergii* cultivado em sistema heterotrófico e autotrófico, alimentado com diferentes teores de proteína bruta na fase de berçário (35 e 40%) e engorda (30 e 35%). A fase berçário teve duração de 21 dias, no qual foram testadas as combinações: AUT 35, AUT 40, HET 35 e HET 40, com quatro repetições. Os dados foram submetidos a teste de normalidade Shapiro-Wilk e homogeneidade de Levene, em seguida os resultados de qualidade de água foram submetidos a análise de variância de medidas repetidas; os resultados de desempenho zootécnico, custos básicos e análise microbiológica foram submetidos a análise de variância de bifatorial; e quando observadas diferenças significativas, os dados foram submetidos ao teste Tukey. Para avaliar os dados não paramétricos foram realizados os testes Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis e Friedman. Os dados foram analisados adotando o nível de significância 5%, usando o programa Statistica 12.5. Foi determinado o desempenho zootécnico dos camarões e composição centesimal das rações utilizadas e dos agregados microbianos, também acompanhou a qualidade da água do cultivo e os custos básicos de produção. O experimento de engorda durou 42 dias, constando as combinações: RAS 30, RAS 35, HET 30 e HET 35, com três repetições. Para tal foi determinado o desempenho zootécnico dos animais cultivados, qualidade de água e a análise microbiológica do tecido animal e da água do cultivo. Diferenças significativas não foram encontradas para: temperatura, oxigênio dissolvido e pH, bem como para os índices de desempenho zootécnico, na fase de berçário; e para temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, nitrogênio da amônia total e do nitrito e sólidos sedimentáveis, peso final, ganho de peso, taxa de crescimento específico, fator de conversão alimentar e sobrevivência na fase de engorda. Foram detectadas diferenças significativas entre os diferentes sistemas de cultivo quanto a: NAT, N-NO₂, N-NO₃, alcalinidade total, dureza total e PO₄³⁻ durante o berçário; e para N-NO₃, PO₄³⁻, dureza total durante a engorda, assim como para produtividade, ganho de biomassa e biomassa

final, tendo o sistema autotrófico apresentado os maiores resultados. Concluiu-se que é possível a redução do teor proteico da ração, em ambas fases de cultivo, sem que houvessem prejuízos no desempenho zootécnico dos camarões e na qualidade de água. Para a fase de berçário, a combinação HET 35 apresentou o maior lucro líquido (203.143 USD ha⁻¹), além da redução substancial no uso de água (cerca de 10 vezes).

Palavras-chave: Camarão gigante da Malásia, sistemas intensivos, nutrição de camarão, alta densidade

Abstract

With the increase in population and the need to supply it with high quality animal protein there is a need for greater efficiency in aquaculture activities, aiming at better use of water and lower effluent emissions, associated with higher productivity and profitability. The concern with sustainability is one of the biggest challenges on the innovation agenda in aquaculture. Cultivation systems dependent on the constant renewal of water that produce toxic effluents are no longer in line with the global water crisis and require alternative production systems. Thus, the present research aimed to evaluate the zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* farmed in heterotrophic and autotrophic systems, fed with different crude protein contents in the nursery (35 and 40%) and grow-out (30 and 35%) phases. The nursery phase lasted 21 days, in which the combinations were tested: AUT 35, AUT 40, HET 35 and HET 40, with four repetitions. The data were submitted to the Shapiro-Wilk normality and Levene homogeneity tests, and then the water quality results were submitted to repeated measures analysis of variance; the zootechnical performance, basic costs, and microbiological analysis results were submitted to two-way analysis of variance; and when significant differences were observed, the data were submitted to the Tukey test. To evaluate the non-parametric data, the Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis, and Friedman tests were performed. The data were analyzed adopting the 5% significance level, using the Statistica 12.5 program. The zootechnical performance of the shrimp and the centesimal composition of the feed used and biofloc, the culture water quality and the basic production costs were determined. The fattening experiment lasted 42 days, consisting of the combinations: RAS 30, RAS 35, HET 30 and HET 35, with three repetitions. For this purpose, the zootechnical performance of the farmed animals, water quality and microbiological analysis of the animal tissue and farm water were determined. No significant differences were found for temperature, dissolved oxygen and pH, as well as for zootechnical performance indices in the nursery phase; and for temperature, dissolved oxygen, pH, alkalinity, total ammonia nitrogen and nitrite nitrogen and settleable solids, final weight, weight gain, specific growth rate, feed conversion factor and survival in the fattening phase. Significant differences were detected among the different culture systems for: NAT, N-NO₂, N-NO₃, total alkalinity, total hardness and PO₄³⁻ during nursery; and for N-NO₃, PO₄³⁻, total hardness during fattening, as well as for productivity, biomass gain and final biomass, with the autotrophic system showing the highest results. It was concluded that it is possible to reduce the protein content of the feed, in both phases of culture, without

affecting the zootechnical performance of the prawn and the water quality. For the nursery phase, the HET 35 combination presented the highest net profit (203,143 USD ha⁻¹), besides the substantial reduction in water use (about 10 times).

Key words: Giant Malaysian prawn, intensive systems, prawn nutrition, high density

Lista de figuras

	Página
Figura 1- Variations in weekly concentrations of TAN, N-NO ₂ and N-NO ₃ for the different culture systems and concentration of crude protein in the in the <i>M. rosenbergii</i> nursery.	38

Lista de tabelas

	Página
Capítulo 1	
Tabela 1- Water quality variables of juvenile <i>Macrobrachium rosenbergii</i> reared in different culture systems and crude protein in the feed	39
Tabela 2 – Proximate composition of the biofloc and feed used in the experiment	40
Tabela 3 - Zootechnical performance of <i>Macrobrachium rosenbergii</i> juveniles reared in different culture systems and fed different crude protein rations	41
Tabela 4 - Economics information of the 21-day experiment of <i>Macrobrachium rosenbergii</i> juveniles reared in different culture systems and fed different crude protein rations	42
Capítulo 2	
Tabela 1 - Variáveis de qualidade de água no cultivo de juvenis de <i>Macrobrachium rosenbergii</i> em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração.	50
Tabela 2 - Desempenho zootécnico de juvenis de <i>Macrobrachium rosenbergii</i> cultivados em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração	52
Tabela 3 - Unidades formadoras de colônias (UFC) em amostras de água e camarão no cultivo de juvenis de <i>Macrobrachium rosenbergii</i> em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração	53

Sumário

	Página
Dedicatória	4
Agradecimento	5
Resumo	6
Abstract	8
Lista de figuras	10
Lista de tabelas	11
Introdução	13
Objetivos do trabalho	17
Capítulo 1 - EFFECTS OF AUTOTROPHIC AND HETEROTROPHIC SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY AND ECONOMIC ANALYSIS OF NURSERY PHASE IN THE <i>Macrobrachium rosenbergii</i> AQUACULTURE	18
Capítulo 2 - EFEITO DE SISTEMAS INTENSIVOS DE CULTIVO NA PERFORMANCE DE JUVENIS DE <i>Macrobrachium rosenbergii</i> ALIMENTADOS COM DIFERENTES TEORES DE PROTEÍNA BRUTA NA RAÇÃO	43
Considerações finais	61
Referências	62

Introdução

1.1- Contextualização da pesquisa

A carcinicultura de água doce é um setor da aquicultura que vem crescendo mundialmente ao longo dos últimos anos, tendo em 2020 uma produção de 1.240.000 toneladas, dos quais 294 mil toneladas são do camarão popularmente conhecido como camarão da Malásia, *Macrobrachium rosenbergii* (FAO, 2022). Esta espécie é considerada uma das mais importantes da aquicultura mundial em regiões de clima tropical e subtropical (TAVABE et al., 2013), atingindo a quinta posição dentre as oito espécies de crustáceos mais cultivados no mundo (FAO, 2022).

Apesar de sua produção ser significativamente menor quando comparada à produção do *Penaeus vannamei*, a sua média de preço por unidade é maior (USD 5.76/kg) que a média de preço do mencionado camarão de água marinha (USD 4.87/kg) (FAO, 2017). Sua origem natural é o Sudeste da Ásia, e nas últimas décadas foi introduzida na América do Norte e Sul, África, Europa e outras regiões da Ásia (NEW, 2000).

Os indivíduos desta espécie são considerados os maiores camarões de água doce, podendo atingir em média 32 cm e 500 g de peso (PINHEIRO e HEBLING, 1998), sendo despescados geralmente com peso entre 20 e 50g (VALENTI, 1996). Este fator associado à facilidade de reprodução em cativeiro, alta taxa de fecundidade, adaptabilidade à ração inerte, alta resistência à doenças quando comparados aos camarões peneídeos, além de possuir carne de excelente qualidade, justificam o interesse em sua produção (LOBÃO, 1996; NEW, 2002; GUPTA et al., 2007; PILLAI e BONAMI, 2012; MOHANTY, 2010).

Além destas características, o “gigante da Malásia” possui hábito alimentar onívoro, consumindo alta variedade de plantas e animais, vivos ou em decomposição, assim como aceitam dietas artificiais balanceadas e possui requerimento nutricional baixo, podendo se adaptar em diversos tipos de ambientes e condições de cultivo (NEW, 2002).

O camarão *M. rosenbergii* apresenta crescimento heterogêneo, devido à presença de diferentes tipos morfológicos de machos, relacionados com a dominância, reprodução e alimentação, podendo ser encontrados em uma mesma população durante o cultivo. Este crescimento pode estar associado a estrutura social dos camarões que é caracterizada pelos diferentes morfotipos de machos, que são classificados como: pequenos (small male - SM), quela laranja (orange claw - OC) e quela azul (blue claw - BC), sendo as fêmeas e os machos pequenos, indivíduos menores que os exemplares de quela laranja e quela azul (KARPLUS e SAGI, 2010). Por conta das diferenças de tamanho, os níveis de

sobrevivência geralmente ficam entre 50 e 80% durante a engorda em viveiros com duração entre quatro e nove meses (VALENTI e FLICKINGER, 2020)

Na tentativa de minimizar o crescimento heterogêneo, a produção do *M. rosenbergii* tem sido realizada em três etapas (larvicultura, berçário e engorda) e com diferentes níveis de tecnologia, além da adição de substratos verticais nos sistemas intensivos (Valenti e Flickinger, 2020). A fase da larvicultura é realizada objetivando o crescimento das larvas até realizarem a metamorfose à fase de pós-larvas. A fase de berçário pode ser realizada em dois estágios: berçário I, durante 15 dias após a metamorfose e berçário II, durante 60 dias após a metamorfose, entretanto esta fase pode ser eliminada quando as pós-larvas são diretamente estocadas nos viveiros de engorda. A alimentação durante esta fase do ciclo de produção é geralmente realizada com rações comerciais contendo entre 36 e 40% de proteína bruta de acordo com MARQUES e MORAES-VALENTI (2012).

O período de duração da fase de engorda depende do tamanho requerido para a comercialização, e a partir disso é definida a densidade de estocagem a ser adotada. Os monocultivos podem ser realizados de forma extensiva, semi-intensiva ou intensiva, divergindo de acordo com o planejamento das fazendas e o nível de interferência do produtor no processo produtivo (VALENTI e FLICKINGER, 2020). Por ser de hábito bentônico e onívoro, o *M. rosenbergii* pode ser cultivado juntamente com várias espécies de peixes e outros animais, ou plantas, podendo aproveitar resíduos de ração das demais espécies aquáticas ou terrestres cultivadas (MARQUES et al., 2016; VALENTI e FLICKINGER, 2020).

Várias estratégias têm sido utilizadas para a otimização da produção em todas as fases de cultivo, visando o aumento da produtividade. Com isso, para a manutenção das condições adequadas de qualidade de água, durante o cultivo destes organismos são necessárias realizações de trocas frequentes, parciais ou até mesmo totais da água da unidade de cultivo. Desta forma, geram elevado volume de efluente tóxico devido ao excesso de nutrientes e matéria orgânica que são liberados em ambientes naturais (MARTÍNEZ et al., 2012), além da necessidade de grandes volumes utilizados durante a troca de água (NAYLOR et al., 2001). Tais fatores resultam em degradações ambientais e estimulam a busca constante por novas metodologias de cultivo, dentre estas, o sistema heterotrófico ou de bioflocos (FROÉS et al., 2013).

O sistema de cultivo heterotrófico se baseia no ajuste da relação carbono e nitrogênio (C:N), através da utilização de fonte de carbono orgânico e vem sendo

desenvolvido, em razão dos seus benefícios quando comparado ao sistema de cultivo tradicional. Ao se utilizar este sistema há a possibilidade do aumento das densidades de estocagem, e com isso o uso de menores áreas de cultivo, além da reutilização da água do cultivo em diversos ciclos de produção, e redução do nível proteico das rações devido ao aproveitamento dos agregados microbianos por parte do *M. rosenbergii*, culminando na redução dos custos produtivos (AVNIMELECH, 2009; SAMOCHA et al., 2017).

A possibilidade deste reaproveitamento da água se deve, principalmente, à presença das bactérias quimiotróficas e heterotróficas, que transformam compostos nitrogenados em proteína microbiana, proporcionando o controle da qualidade da água em relação a estes compostos (KRUMMENAUER et al., 2012). Devido à presença das bactérias quimiotróficas no sistema, que se desenvolvem com a adição de fonte de carbono inorgânico, ocorre a oxidação da amônia em nitrito e posteriormente em nitrato, ocasionando a redução da alcalinidade do sistema, sendo necessária a reposição dos carbonatos através da utilização de bicarbonato de sódio.

As partículas floculadas (bioflocos) são compostas por agregado microbiano formado principalmente por algas, protozoários e matéria orgânica, que podem servir de alimentação suplementar aos indivíduos cultivados, ficando disponíveis como alimento natural 24 horas por dia (AVNIMELECH, 2007). Porém, sua qualidade nutricional depende das condições de cada sistema de produção, inclusive da fonte de carbono orgânico utilizada para o estímulo do desenvolvimento bacteriano (BUFORD et al., 2004; AVNIMELECH, 2009; SAMOCHA et al., 2017), influenciando além da composição centesimal, a digestibilidade e palatabilidade dos flocos (CRAB et al., 2009).

Os agregados podem atingir em seu peso seco, níveis elevados de proteína, em torno de 30 a 45%, e com isso possibilitam a redução do percentual de proteína contido na alimentação artificial (HARGREAVES, 2013). A proteína é um dos principais componentes na formulação de rações para crustáceos, sendo considerada como um fator limitante no crescimento, manutenção do funcionamento vital e reprodução dos organismos (GUILLAUME, 1997; OUJIFARD et al., 2012). Porém um dos entraves para a aquicultura é o alto custo associado a este nutriente, podendo, o custo com alimentação exógena, atingir até 50% do total na atividade produtiva (SAMOCHA et al., 2017).

Assim, se faz cada vez mais necessária a utilização de dietas que proporcionem proteína suficiente para o suprimento energético dos camarões, que minimize a quantidade de nitrogênio e de concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato

introduzido no ambiente de cultivo, reduzindo também as renovações de água das unidades de cultivo (MCINTOSH et al., 2001; CORREIA et al., 2014).

Então, é de extrema importância a realização de estudos que visem à produção de organismos nutricionalmente saudáveis com menor custo econômico e ecológico, além de que as publicações sobre esta espécie em sistema intensivo são escassas, dificultando o estabelecimento da relevância desta tecnologia no aumento da produção do “camarão gigante da Malásia”. Frente ao exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar diferentes teores de proteína presente em rações comerciais no cultivo de *M. rosenbergii* em sistema autotrófico e heterotrófico durante a fase de berçário e sistema de recirculação e heterotrófico na fase de engorda.

1.2- Objetivos do trabalho

✓ Objetivo geral

Avaliar a utilização de diferentes níveis proteicos na dieta do camarão de água doce *Macrobrachium rosenbergii* cultivados em diferentes sistemas de produção.

✓ Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da alimentação com diferentes níveis proteicos sobre o desempenho zootécnico do camarão *M. rosenbergii* cultivados em sistema autotrófico e heterotrófico para a fase de berçário;
- Avaliar o efeito da alimentação com diferentes níveis proteicos sobre o desempenho zootécnico do camarão *M. rosenbergii* cultivado em sistema de recirculação e de heterotrófico na fase de engorda;
- Analisar a composição centesimal da dieta inerte e agregados microbianos fornecidos ao camarão *M. rosenbergii* na fase de berçário
- Quantificar a comunidade microbiana da água do cultivo e camarões *M. rosenbergii* alimentado com rações de diferentes níveis proteicos na fase de engorda.

✓ Hipótese

Com a utilização do sistema heterotrófico haverá a redução dos níveis de proteína na ração sem o comprometimento do desempenho zootécnico e composição centesimal.

CAPÍTULO 1

EFFECTS OF AUTOTROPHIC AND HETEROTROPHIC SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY, ECONOMIC ANALYSIS AND WATER FOOTPRINT OF *Macrobrachium rosenbergii* IN THE NURSERY

ABSTRACT

The concern with sustainability is one of the greatest challenges in the innovation agenda of aquaculture. Culture systems dependent on constant exchange water that produces toxic effluents are no longer in line with the global water crisis and demand alternative production systems. In the present study, zootechnical performance in the nursery phase of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, was evaluated in autotrophic AUT (with the renewal of 50% of the water every three days) and heterotrophic HET systems (minimum water exchange). The experiment lasted 21 days with an experimental design entirely randomized with a 2x2 factorial arrangement. The first factor was the different culture systems and the second was the protein levels of the feed (35 and 40%), resulting in the combinations AUT 35, AUT 40, HET 35, and HET 40, with four replicates. For water quality monitoring, temperature, dissolved oxygen, pH, total ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, orthophosphate, total alkalinity, total hardness, and settleable solids were measured weekly. The prawn zootechnical performance of the was determined through final weight, weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio, survival, feed efficiency and economic analysis. There were no significant differences for temperature, dissolved oxygen, and pH, as well as for zootechnical performance indices. However, significant differences were detected between the different culture systems on TAN, N-NO₂, N-NO₃, total alkalinity, total hardness, and PO₄³⁻. It was concluded that HET 35 presented the greater net benefit (203,143 USD ha⁻¹) allowing the reduction of the protein content in feed without interfering with zootechnical performance and a substantial decrease water footprint (about 10 times).

KEY WORDS: Giant Malaysian prawn, intensive systems, nutrition, net benefit

FUNDING INFORMATION

This work was supported by National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ Universal 429301/2018-9) and by a scholarship provided the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (process number: 88882.436224/2019-01) and CNPq also provided a grant to Luis Otavio Brito (PQ 309669/2021-9).

SIGNIFICANCE STATEMENT

This report addresses the effect of the heterotrophic system on the reduction of water exchange at 10 times compared to the autotrophic system in the nursery phase of the giant Malaysian prawn. As the heterotrophic reduces the use of protein levels in the feed, the results suggest that it is possible to intensify the stocking density in culture systems for this phase contributing to the reduction of the production costs (feed and stock density) and water use.

1. INTRODUCTION

Freshwater prawn culture has been showing significant growth since the 1990s (FAO, 2014; Santos et al., 2017). In 2020, the production of the prawn popularly known as the Giant River prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, was 294 thousand tons (FAO, 2022), and it is considered one of the most important species in the tropical and subtropical world aquaculture (Tavabe et al., 2013). It is a native species to Southeast Asia, but in recent decades it has been introduced to several continents, such as in the Americas, Africa, Europe, and other regions of Asia (New, 2010).

This species is considered to be the largest freshwater prawn, reaching an average of 32 cm and 500 g in weight (Pinheiro and Hebling, 1998). This factor associated with the ease of reproduction in captivity, high fecundity rate, adaptability to inert feed, high resistance to diseases, and excellent quality meat, justify the interest in its production (Lobão, 1996; New, 2010; Gupta et al., 2007; Mohanty, 2010).

In an attempt to reduce heterogeneity in growth, according to Valenti and Flickinger (2020), the production of *M. rosenbergii* is generally divided into three phases: larviculture, nursery and grow-out. The larviculture phase is carried out aiming at the growth of the larvae until they metamorphose to the post-larvae phase. The nursery phase can be carried out in two stages: nursery I, for 15 days after metamorphosis, and nursery II, for 60 days after metamorphosis; however, this phase can be eliminated when the post-larvae are directly stocked in fattening ponds. Feeding during this phase of the production cycle is usually done with commercial feeds containing between 36 and 40% crude protein according to Marques and Moraes-Valenti (2012). Meanwhile, according to Zimmermann (1998), the nutritional requirement during this phase is 32 to 37% crude protein.

The productivity and maintenance of optimal conditions for the culture of this species require frequent partial or total water exchange, generating a large volume of effluents rich in nutrients and organic matter that are released into natural environments (Martínez et al., 2012). Such factors stimulate the constant search for new farming methodologies, among these, the heterotrophic system that provides for minimal water exchange (Froés et al., 2013).

The heterotrophic culture system has been developed due to its benefits when compared to the traditional culture system, such as the possibility of increasing stocking densities, reducing the use of water per kilogram of animal produced, besides the reuse of culture water in several production cycles (Avnimelech, 2009; Samocha et al., 2020). The possibility of this reuse is mainly due to the presence of chemotrophic and heterotrophic bacteria, which transform nitrogenous compounds into microbial protein, providing water quality control (Hosain et al., 2021). Due to the presence of chemotrophic bacteria in the system, which develop with the addition of an inorganic carbon source, oxidation of ammonia into nitrite and subsequently into nitrate occurs (El-Sayed, 2021). The flocculated particles formed can serve as supplementary food for cultured individuals, and the floc can reach high levels of protein in dry weight, around 30 to 45%, depending on the conditions of each production system (Buford et al., 2004; Avnimelech, 2009; Samocha et al., 2020).

Protein is one of the main components in the formulation of feed for crustaceans, being considered a limiting factor in the growth, maintenance of vital functioning, and reproduction of organisms (Guillaume, 1997; Oujifard et al., 2012). However, one of the obstacles to aquaculture is the high cost associated with this nutrient, which can reach up to 50% of the total costs of the activity (Samocha et al., 2020). Thus, diets that provide enough protein for the adequate energy supply of shrimp and that contribute to minimizing nitrogen, and consequently, the requirement for water exchange in the culture unit should be a priority in production (Mcintosh et al., 2001; Correia et al., 2014).

The sustainability of freshwater prawn aquaculture depends not only on reducing environmental costs but also on production costs. The latter can be associated with the increase in culture density, which is extremely challenging in species with agonistic behavior for the dispute for food and territory, such as *M. rosenbergii*. The present work aims to evaluate a comparison between heterotrophic and autotrophic culture systems with high stocking density for *M. rosenbergii* juveniles, allowing the water footprint reduction

and production costs during the nursery phase.

2. MATERIAL AND METHODS

Experimental conditions

Macrobrachium rosenbergii post-larvae (10 days after metamorphose - mean weight 0.01g) used in the experiment were obtained from the commercial hatchery Acquamarão (Goiana - PE, Brazil) and transported to the Laboratório de Produção de Sistemas Aquícolas [Laboratory of Aquaculture Production Systems (UFRPE)], where they were acclimated for a period of two weeks in fiberglass tanks with freshwater previously chlorinated (10 ppm of active chlorine) and dechlorinated, through strong and constant aeration for 24 hours. Water exchange of 50% of the total water volume was performed every three days, to maintain TAN and N-NO₂ at optimal levels for culture.

After the acclimation period, the animals were counted, weighed (0.08 ± 0.01 g), and stocked in each experimental unit at a density of 2500 PL m⁻³, resulting in 100 animals per experimental unit. The 16 experimental units were located in a closed environment, with thermostats (50W) for maintaining the temperature at approximately 27°C, and consisted of rectangular tanks with 40 liters of usable volume (0.2 m²), which were covered with mesh to prevent prawn escapes, and constant oxygenation was provided. A rectangular polyethylene screen measuring 0.2 x 0.05 m was added to serve as substrate and shelter for the animals, adding an area of 0.01 m² in all experimental units.

For the AUT treatment, each experimental plot was supplied with freshwater previously chlorinated (10 ppm) and dechlorinated with ascorbic acid, and water exchange of 50% of the total volume were carried out every three days (modified from Perez-Fuentes et al., 2013). The heterotrophic inoculum was matured for 40 days before the start of the experiment, following the methodology of Samocha et al. (2020), with 30 L being added to the units plus 10 L of freshwater, starting the experimental phase with 9 mL L⁻¹ of settleable solids. When this stipulated volume was exceeded, settling chamber were installed to maintain the water level. Weekly replacement of water volume losses by evaporation was done and organic sugar cane molasses was used as a carbon source when the total ammoniacal nitrogen exceeded 0.8 mg L⁻¹ in the system, to maintain the C:N ratio at 6:1.

The experiment was conducted for 21 days to evaluate the zootechnical performance of *M. rosenbergii* post-larvae through a 2x2 factorial design, in which the

autotrophic and heterotrophic culture systems and the percentages of crude protein in commercial feed (35% and 40%) were tested, resulting in the combinations AUT 35, AUT 40, HET 35, and HET 40, with four repetitions each.

Water quality

For monitoring and control of the water quality, parameters such as temperature (°C), pH, and dissolved oxygen (mg L^{-1}) were measured twice a day (09:00 AM and 04:00 PM), using a multiparameter AK88 probe (AKSO, Rio Grande do Sul, Brazil). Water samples from each experimental unit were collected weekly to determine the concentration of total ammonia nitrogen (TAN mg L^{-1}), nitrite nitrogen ($\text{N-NO}_2 \text{ mg L}^{-1}$), nitrate nitrogen ($\text{N-NO}_3 \text{ mg L}^{-1}$), orthophosphate ($\text{PO}_4^{3-} \text{ mg L}^{-1}$), total alkalinity ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$), total hardness ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$) and settleable solids (mL L^{-1}).

Nitrogen and orthophosphate compounds were analyzed in a digital spectrophotometer HACH DR 2800 (HACH Company, Colorado, USA), using Nessler reagent for TAN, the methodology of Strickland and Parsons (1972) for N-NO₂ and N-NO₃, and Aminot and Chaussepied (1983) for PO₄³⁻. Total alkalinity and total hardness were determined by volumetric titration according to APHA (1995), and total alkalinity was adjusted with sodium bicarbonate in both culture systems to keep it around 150 mg L⁻¹ CaCO₃ (Samocha, et al., 2020). As for the volume of settleable solids, 1L samples were placed in the Imhoff cone and estimated after 30 minutes of settling (Avnimelech, 2009). Water footprint was recorded during the experiment to determine the water used by prawn biomass ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$).

Zootechnical performance

Feed amounts were adjusted weekly, when biometrics were performed for all experimental units, starting the supply with the equivalent of 30% of total biomass (Ballester et al., 2017), being reduced according to the biomass increment. At the end of the culture period, the animals were weighed (digital scale of 0.01g precision) and counted for the determination of zootechnical performance variables, such as:

final weight;

weight gain ($\text{WG} = \text{final weight} - \text{initial weight}$);

specific growth rate [$\text{SGR} = 100 * (\ln \text{ final weight} - \ln \text{ initial weight}) / \text{cultivation time}$];

feed conversion ratio ($\text{FCR} = \text{amount of feed supplied} / \text{biomass gain}$);

survival [$\text{S} = 100 * (\text{final population} / \text{initial population})$];

productivity (P = final biomass/volume of the experimental unit);

feed efficiency [FE = 100 x (weight gain/feed consumption)].

Proximate composition

The commercial feed used in the experiment, as well as the final samples of biofloc, which were collected superficially and then filtered through a 50µm mesh for the concentration of flocs, were submitted to the analysis of the composition of the ingredients following the official methodology of AOAC (2000). For the determination of crude protein, the Kjeldahl method (N x 6.25) was used; while for the ether extract, the ether extraction method (Soxhlet) was used. Moisture was calculated by gravimetry in an oven with air circulation at 105°C until constant weight and were estimated by incineration of the samples at 550°C in a muffle furnace for 5 hours, while crude fiber was evaluated by the acid detergent method. The percentage of carbohydrate present was determined by subtracting 100% by the percentage of moisture, protein, ether extract, ash, and crude fiber.

Basic production costs

To evaluate basic production costs during this experiment, the partial expenses and net benefit (gross income – inputs), the amounts of sodium bicarbonate used for alkalinity correction, molasses used for nitrogen correction, and feed supplied to the prawn feed during the experimental period (21 days) were recorded and processed considering 1 hectare (10,000m² x 1m = 10,000m³). The exchange rate used was BRL 1.00 = USD 5.18. In addition, the water volume used for the water exchange of the AUT farming system as well as evaporation losses for HET were also recorded and extrapolated for one hectare.

Statistical analyses

The sampled data were previously analyzed for normality using the Shapiro-Wilk test and the homogeneity of variances using the Levene test. After that, the water quality data were submitted to repeated measures variance analysis, while the zootechnical performance data were evaluated through two factors variance analysis. When significant differences were observed, the data were submitted to Tukey mean difference test. To evaluate the data that did not present normal distribution or homogeneity of variances the following tests were performed: Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis and Friedman tests,

according to the data structure. All data were analyzed adopting a 5% significance level, using the Statistica 12.5 software.

3. RESULTS

The minimum and maximum mean temperatures, dissolved oxygen, and pH reached during the experiment ranged from $24.90 \pm 0.93^{\circ}\text{C}$ to $28.30 \pm 0.52^{\circ}\text{C}$; 5.65 ± 0.24 mg L⁻¹ to 7.95 ± 0.51 mg L⁻¹; and 7.82 ± 0.24 to 8.16 ± 0.34 , respectively. These variables were not significantly influenced by the culture systems or crude protein level, nor by their interactions (TABLE 1).

Regarding the nitrogenous compounds (FIGURE 1), the concentration of total ammonia nitrogen (TAN) was higher in the heterotrophic systems than the autotrophic ones, without significant differences between the different levels of crude protein. N-NO₂ did not show significant differences between systems in the first and second week of the experiment, however, in the third week, N-NO₂ and N-NO₃ showed significantly higher results in the AUT system, without significant differences in the protein level.

Total ammonia nitrogen reached the maximum values of 0.73 and 0.89 mg L⁻¹ of TAN in the AUT 35 and AUT 40 systems, respectively, during the first week (FIGURE 1). During the experiment, liquid sugar cane molasses was used as carbon source to control this variable when the results exceeded 0.8 mg L⁻¹, being used 115.4 g in HET 35 and 112.8 g in HET 40. Soon after, on the 14th and 21st day of culture the highest results for N-NO₂ were reached (FIGURE 1), being 0.40 and 0.35 mg L⁻¹ for AUT 35 and AUT 40. For N-NO₃, accumulation was observed over the weeks, despite frequent water exchanges in each experimental unit of the AUT combinations.

In the first week, in the heterotrophic (HET) systems, the maximum concentrations of TAN occurred, being 1.89 mg L⁻¹ in HET 40 and 2.00 mg L⁻¹ in HET 35. Yet about nitrite nitrogen, stability was observed throughout the experiment, and nitrate nitrogen accumulation was observed, reaching maximum averages of 20.30 mg L⁻¹ N-NO₃ in the second week of culture. Oscillations were observed between the second and third weeks in HET 35 and HET 40, due to the use of settling chamber to control and maintain the volume of settleable solids around 15 mL L⁻¹.

The concentration of total alkalinity in the first week was higher in the combinations with HET and lower in AUT, with averages of 106.00 ± 44.12 mg CaCO₃ L⁻¹ in HET 35 and 128.50 ± 5.26 mg CaCO₃ L⁻¹ in HET 40 and 68.00 ± 18.83 mg CaCO₃ L⁻¹ in AUT 35 and 85.50 ± 11.82 mg CaCO₃ L⁻¹ in AUT 40. However, no significant

differences were found between the combinations in the last week of culture, due to the adjustment made by adding sodium bicarbonate. Sodium bicarbonate (18.00g, 19.60g, 39.00g, and 70.00g) were required for the adjustments made during the experiment in HET 35, HET 40, AUT 35, and HET 40, respectively.

The results of total hardness measured throughout the experiment showed that the water used is classified as soft, presenting low levels of calcium and magnesium ions. The final averages were $35.78 \pm 9.26 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ in AUT 35 and $41.29 \pm 5.03 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ in AUT 40, and $60.31 \pm 9.38 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ in HET 35 and $60.86 \pm 7.85 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ in HET 40, presenting a significant effect associated to the different culture systems, with the highest amount found in the HET treatment.

The settleable solids need to be monitored so that they do not exceed the appropriate limit of 20 mL L^{-1} and obstruct the gills of the individuals. No significant differences were found between these data, resulting in means of $12.33 \pm 5.71 \text{ mL L}^{-1}$ and $12.92 \pm 6.10 \text{ mL L}^{-1}$, respectively. When exceeded, in the second week, settling chamber were installed, which also aided in reducing N-NO_3 and PO_4^{3-} concentrations, reducing, however, the nitrifying bacteria community, which consequently increase TAN and N-NO_2 concentrations until these communities are re-established.

The orthophosphate showed significant differences between the culture systems during the experimental period, as well as in the second week showed significant differences between the percentages of proteins used in HET. The averages for this week were the highest observed during the entire period, being $0.46 \pm 0.05 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ in AUT 35, $0.48 \pm 0.06 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ in AUT 40, $6.93 \pm 1.24 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ in HET 35, and $8.01 \pm 0.98 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ in HET 40.

At the end of the experiment, approximately 120 L (0.12 m^3) of previously treated freshwater were used to replace evaporation losses in all experimental units of the HET system, and approximately $1,120 \text{ L}$ (1.12 m^3) for periodic water exchange in all units of the AUT system. These water footprints are equivalent to ratios of 0.17 and $1.76 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ of produced biomass, respectively, and 10 times more water was consumed in the AUT system when compared to the HET system.

The results of the composition of the final samples of HET and feed used during the experiment were described in TABLE 2. The guarantee levels of feed composition described on the packaging of the products were in agreement with the data obtained in this study, and the proximate compositions of the final samples of HET from the experimental culture reached percentages of crude protein similar to the feeds used, with

no significant differences detected between samples.

The culture system and crude protein level had no significant effects on initial weight (g), final weight (g), weight gain (g), specific growth rate (% day⁻¹), feed conversion ratio, survival (%), and feed efficiency (TABLE 3).

It is possible to observe in TABLE 4 the results of the economic analyses that demonstrate that the highest values for incomes were found within the heterotrophic culture systems, presenting a difference between the highest (HET 35) and the lowest (AUT 35) of 28,500 USD ha⁻¹, although it did not present statistical differences between interaction and culture system, but presented for protein, being 35% the lowest value, when compared to 40%.

For the partial expenses, it can be observed that the HET 35 system showed the lowest production cost, despite the need to add sugar cane molasses for the maintenance of the microbial floc when compared to the AUT systems. In this study, the net benefit obtained through the subtraction between income and partial expenses, showed that the HET 35 is the system with the highest economic benefit, followed by HET 40. Although the electricity costs have not been measured, it can be stated, based on the need for water exchange and the volume used for this, that the AUT growing system is less economical because of the need to pump all this water.

4. DISCUSSION

The averages for temperature, pH, and dissolved oxygen were in agreement with the values described by New et al. (2010) for this species. Regarding nitrogen compounds, although TAN exceeded 1.0 mg L⁻¹, it is an acceptable level for maintaining water quality in biofloc system (Perez-Fuentes et al., 2013) and in a range considered safe as mortalities only occur at 3 mg TAN L⁻¹ (Coyle et al., 2010). The high concentrations of TAN found in the first week of culture are possibly associated with the re-establishment of the heterotrophic system in each experimental unit. The stabilization of TAN, as well as the low values of N-NO₂ and the increase of N-NO₃, over the weeks, indicated that nitrifying bacterial communities were present in the heterotrophic system (Emerenciano et al., 2017).

Nitrate is the product that indicates the end of the nitrogen cycle process (Ward et al., 2011), causing increase and accumulation over the weeks of culture, which are intrinsic characteristics of intensive systems. When compared to ammonia and nitrite, this compound does not present toxicity to cultured organisms, but concentrations above 75

mg N-NO₃ L⁻¹ may interfere on the performance and health of animals (Kuhn et al., 2010; Bussel et al., 2012; Furtado et al., 2015). The results of this study showed that the HET system remained in equilibrium and nitrate concentrations did not exceed the appropriate range of compromising zootechnical results. However, the AUT system showed high concentrations of nitrate, demonstrating that there was a greater production of nitrogen compounds and consequently, greater oxidation to nitrate.

The least consumed nitrogen form in HET systems is nitrate, generating its accumulation (Hargreaves, 2013). Although there is the possibility of the occurrence of denitrification, which is the process of reducing N-NO₃ or N-NO₂ to atmospheric N₂, it is an anaerobic process, which is more complete in traditional aquaculture systems, since dissolved oxygen levels need to be above 5 mg L⁻¹ (Robertson et al., 1988; Luo et al., 2019). However, in HET system, Silva et al. (2013) showed that about 20% of nitrogen is transformed via denitrification.

The total alkalinity of the water is an important factor in the culture of *M. rosenbergii*, because the concentrations of cations (calcium and magnesium) and anions (carbonates) are necessary for the mineralization of the exoskeleton, providing protection and support to the crustaceans (Boyd and Tucker, 1992; Vera and Brown, 2017). In order to keep inorganic carbon available for bacterial nitrification processes, alkalinity values between 100 and 150 mg L⁻¹CaCO₃ are recommended (Timmons and Ebeling, 2013; Samocha et al., 2020), providing lower pH variations throughout the day (Suantika et al., 2017). Due to the consumption of inorganic carbon (alkalinity) by heterotrophic and nitrifying bacteria, alkalinity and pH concentrations tend to reduce in intensive culture systems with minimal water renewals, justifying the addition of sodium bicarbonate (NaHCO₃). Therefore, it was observed that the averages obtained in the present study were within the recommended range for supplying the needs of the bacteria present in the water, as well as the prawn reared.

The highest consumption of carbonates and the addition of sodium bicarbonate occurred in the combinations with autotrophic system, demonstrating that there was higher bacterial activity, associated with the conversion of ammonium nitrogen to nitrate nitrogen, in which it uses about 1.69 g of inorganic carbon and 7.05 g of alkalinity to be completed (Ebeling et al., 2006).

Another way to measure the concentrations of calcium and magnesium ions in water is through the total hardness. When this variable presents low concentrations, the prawn needs more time for the mineralization of the exoskeleton after ecdysis, facilitating

predation, besides presenting greater sensitivity to the parameters of the culture water (Adhikari et al., 2006), in such a way that the adequate level suggested for their optimal development is between 50 and 200 mg CaCO₃/L (Wetzel, 2001). Both culture systems were within this recommended range, but the combinations of the HET system showed higher results for this variable.

The molasses, used during the period of induction of bacterial development in the heterotrophic, presents high levels of ash, being composed mainly of the mineral's calcium and magnesium. According to Food Data Central (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2020) in each 100g of molasses, 205 mg is calcium and 242 mg is Mg, being the main reason why the levels of these compounds are high in this culture system.

Orthophosphate tends to increase and accumulate in the heterotrophic system due to the decomposition of uneaten food, as well as by animal excreta and reduced water exchange rate (Peñaflorida, 1999). However, in the tested culture systems, the average concentrations did not affect shrimp growth or contribute to the development of filamentous algae capable of causing damage to the gills, as described by Correia et al. (2014).

It is important to estimate the water footprint needed for the different species that are produced in order to increase the efficiency of production and water consumption (Mohanty et al., 2014). In studies that compared culture system with periodic water exchange and biofloc in *Oreochromis niloticus* culture, it was found that the water footprint is similar to that observed: about 10 times more water is required in traditional culture systems compared to biofloc (Lima et al., 2018; Lima et al., 2019; Zapata-Lovera, et al., 2017), demonstrating that there can be a standard average water footprint needed for the culture of the mentioned species.

Pressure on the aquaculture industry to meet sustainability measures include increasing farm capacity (stock density), reducing reared area and water footprint (Mohanty et al., 2014). In the present study, the water footprint calculated as the ratio between the biomass produced was much lower in the HET (0.17 m³ kg⁻¹ biomass) and similar to AUT (1.76 m³ kg⁻¹ biomass) as than (1.72 m³ kg⁻¹ biomass) obtained in intensive-systems of *Litopenaeus vannamei* (Mohanty et al., 2018), even using a lower stocking density (50 PL m⁻²) than the one used in this study. This shows that there was greater efficiency both in the control of nitrogenous compounds and, consequently, a

reduction in the volume of water used and in the development of the prawn, which is represented by the biomass.

The results showed that this biofloc has a proximate composition with the nutritional needs of the species. According to Zimmermann (1998), the nutritional requirements of juveniles of *M. rosenbergii* vary between 32 and 37% crude protein, a range found in the biofloc available for food supplementation in the experimental units. Hosain et al. (2021a; 2021b), when testing different C:N ratios, molasses as a carbon source, and using feed with 40% protein in the shrimp diet, obtained a maximum of 33% crude protein in the biofloc, a value lower than that found in the present study.

The final weight of individuals at the end of the culture showed an increment between 81 and 100%, with a specific growth rate between 1.49 and 1.76% day⁻¹ in the AUT 40 and HET 40 combinations. These SGR results are higher than the results obtained by Ballester et al., (2017) at 1.21 and 1.39 % day⁻¹ when comparing the production of *M. rosenbergii* juveniles in biofloc and recirculation culture systems, respectively. Our results are probably related to the crude protein content in the feed used during this study that it provided adequate nutrition for the growth of the animals.

Although no significant increments were observed concerning the zootechnical data of the prawn in the heterotrophic system, this system provides natural feed constantly, which allows for greater feed efficiency and reduction of production costs (Table 4). This probably explains a much lower FCR than those reported by Ballester et al. (2017), Hosain et al. (2020), Frozza et al. (2021), and Nguyen et al. (2019), which found between 2.25, 2.65, 1.53, and 4.49, using heterotrophic system.

When stocking densities between 50 and 250 PL m⁻² were used in the biofloc system, Negrini et al. (2017) using the same species found that by increasing stocking density, the survival rate was reduced thus they recommended an optimal stocking density of 50 PL m⁻². However, we used a higher stocking density with survival rates over 95%, probably because of the experimental conditions (such as water quality and duration of the trial) and environmental enhancement that provided refuges, good welfare and reduced competition. Then according to what has been obtained, it is possible to grow *M. rosenbergii* during the nursery phase in the heterotrophic system

Despite being more economically advantageous, a significant cost reduction in heterotrophic system can be achieved principally through the optimization of culture management, in an adjustment in the quantity and quality of the feed to improve the use of the nutrients contained in the food offered (Cang et al., 2019), which can provide

advantages such as increased biosecurity, survival and productivity and reduced FCR (Almeida et al., 2021). Such operational costs, which determine the economic viability of the operation, may vary according to the region where the activity is established, and may also reflect the management practices adopted and the availability of inputs used, which determines their value.

The heterotrophic system allowed to increase stocking density, decrease FCR, increase survival, and consequently, improve productivity and economic benefit. However, the most outstanding advantage is associated with the environment. The reduction of space and volume of the tanks, and the 10-fold decrease in water exchange for controlling toxic substances make a positive contribution to the sustainability of prawn culture.

5. CONCLUSION

The zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* prawn, reared in high stocking density, was similar to all determined variables in both culture systems for the growth variables with no impairment in water quality, thus the HET system was satisfactory for the nursery phase of the production. Also, this system allowed a great reduction in production costs and water footprint (~10 times less). Furthermore, the protein contents found in HET suggest that it is possible to decrease this content in the commercial feed used.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the financial support provided by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ Universal 429301/2018-9) to Eudes de Souza Correia and by a scholarship provided to the first author from the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (process number: 88882.436224/2019-01) and a scholarship grant (CNPq) also provided to Luis Otavio Brito (PQ309669/2021-9).

7. CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest in relation to this study.

8. REFERENCES

Adhikari, S., Chaurasia, V. S., Naqvi, A. A., Pillai, B. R. (2007). Survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) juvenile about calcium hardness and

- bicarbonate alkalinity. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 7, 23-26.
- Almeida, M. S., Mauad, J. R. C., Gimenes, R. M. T., Gaona, C. A. P., Furtado, P. S., Poersch, L. H. Wasielesky Jr, W., Fóes, G. K. 2021. Bioeconomic analysis of the production of marine shrimp in greenhouses using the biofloc technology system. *Aquaculture International* 29:723–741. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00653-1>
- APHA, Water Environment Federation, & American Water Works Association. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Part 4000-6000). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. <https://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Avnimelech, Y., (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>.
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society (1st ed.). Baton Rouge, TX: World Aquaculture Society.
- Ballester, E. L. C., Marzarotto, S. A., Silva de Castro, C., Frozza, A., Pastore, I., Abreu, P. C. (2017). Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Aquaculture Research* 48(9), 4748-4755. <https://doi.org/10.1111/are.13296>.
- Boyd, C.E. & Tucker, C.S. (1992) *Water quality and pond-soil analyses for aquaculture*. Alabama Agriculture Experimental Station. Auburn University, Alabama, EUA, p. 183.
- Bussel, C.G.J., Schroeder, J.P., Wuertz, S., Schulz, C. (2012). The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 326-329(1), 163-167. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.0190>.
- Cang, P., Zhang, M., Qiao, G., Sun, Q., Xu, D., Li, Q., Yuan, X., Liu, W. (2019) Analysis of Growth, Nutrition and Economic Profitability of Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio* ♀ × *C. carpio* ♂) Cultured in Zero-water Exchange System. *Pakistan J. Zool.*, vol. 51(2), pp 619-630. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.2.619.630>

Correia, E. S., Wilkenfeld, J. S., Morris, T. C., Wei, L., Prangnell, D. I., Samocha, T. M. (2014). 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. *Aquacultural Engineering*, 59, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.02.002>

Coyle, S.D., Alston, D.E., Sampaio, C.M.S., (2009). Nursery Systems and Management, in: *Freshwater Prawns*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 108–126. <https://doi.org/10.1002/9781444314649.ch7>.

da Silva, K.R., Wasielesky, W., Jr, Abreu, P.C., (2013). Nitrogen and phosphorus dynamics in the biofloc production of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Nitrogen and phosphorus dynamics in the biofloc production. *J. World Aquac. Soc.* 44, 30–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12009>.

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 (1-4), 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

El-Sayed, A.-F.M., (2021). Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. *Rev. Aquac.* 13, 676–705.

Emerenciano, M.G.C., Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., Miranda-Baeza, A., (2017). Biofloc technology (BFT): A tool for water quality management in aquaculture, in: *Water Quality*. InTech.

FAO Fisheries & Aquaculture *Macrobrachium rosenbergii* [WWW Document], (2004). Fao.org. URL http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Macrobrachium_rosenbergii/en (accessed 5.13.21).

FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Felix, S., Samocha, T., Menaga, M. (Eds.), (2020). *Vannamei Shrimp Farming*. (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003083276>

- Frozza, A., Fiorini, A., Vendruscolo, E.C.G., Rosado, F.R., Konrad, D., Rodrigues, M.C.G., Ballester, E.L.C., (2021). Probiotics in the rearing of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879) in a biofloc system. *Aquac. Res.* <https://doi.org/10.1111/are.15265>.
- Furtado, P.S., Campos, B.R., Serra, F.P., Klosterhoff, M., Romano, L.A., Wasielesky, W., Jr, (2015). Effects of nitrate toxicity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23, 315–327. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9817-z>.
- Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., Jr, (2011). Effect of calcium hydroxide, carbonate, and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture* 321, 130–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>.
- González-Vera, C., Brown, J.H., (2017). Effects of alkalinity and total hardness on growth and survival of postlarvae freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879). *Aquaculture* 473, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.016>.
- Guillaume, J., (1997). Protein and amino acids, in: D'abramo, L.R., Conklin, D. E., Akiyama, D. M. (Eds.), *Crustacean nutrition - Advances in world aquaculture*. Baton Rouge, EUA: WAS, pp.26-50.
- Gupta, A., Sehgal, H.S., Sehgal, G.K., (2007). Growth and carcass composition of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man), fed different isonitrogenous and isocaloric diets. *Aquac. Res.* 38, 1355–1363. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01787.x>
- Hargreaves, J.A., (2013). *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. nnnnnnnn Regional Aquaculture Center. SRAC Publication, 4503, 1-12.
- Hosain, M.E., Amin, S.M.N., Arshad, A., Kamarudin, M.S., Karim, M., (2021a). Effects of carbon sources on the culture of giant river prawn in biofloc system during nursery phase. *Aquac. rep.* 19, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100607>.
- Hosain, M.E., Nurul Amin, S.M., Kamarudin, M.S., Arshad, A., Romano, N., (2021b). Effects of C-N ratio on growth, survival, and proximate composition of

- Macrobrachium rosenbergii* postlarvae reared under a corn starch-based zero-exchange brackish water biofloc system. *Aquac. Res.* 52, 3015–3025. <https://doi.org/10.1111/are.15146>.
- Kuhn, D.D., Smith, S.A., Boardman, G.D., Angier, M.W., Marsh, L., Flick, G.J., Jr, (2010). Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture* 309, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.014>.
- Lima, E.C.R. de, Souza, R.L. de, Girao, P.J.M., Braga, Í.F.M., Correia, E. de S., (2018). Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of carbon. *Cienc. Agron.* 49. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180052>.
- Lima, P.C.M., Abreu, J.L., Silva, A.E.M., Severi, W., Galvez, A.O., Brito, L.O., (2019). Nile tilapia fingerling cultivated in a low-salinity biofloc system at different stocking densities. *Span. J. Agric. Res.* 16, e0612. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.4.494>.
- Lobão, V. L., & Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1996). Camarão-da-malásia: cultivo. Brasília: EMBRAPA/SPI. Retrieved from https://www.worldcat.org/title/camarao-da-malasia-cultivo/oclc/45773873&referer=brief_results
- Luo, G., Xu, J., Meng, H., (2020). Nitrate accumulation in biofloc aquaculture systems. *Aquaculture* 520, 734675. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734675>.
- Marques, H.L.A., e Moraes-Valenti, P.M.C. Current status and prospects of farming the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) and the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862) in Brazil. *Aquaculture Research* 43:984–992, 2012.
- Mcintosh, D., Samocha, T. M., Jones, E. R., Lawrence, A. L., Horowitz, S., Horowitz, A., (2001). Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. *Aquacultural Engineering*, 25, 69–82. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(01\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(01)00073-5).
- Mohanty, R. K. (2010). Impact of phased harvesting population structure, feed intake pattern, and growth performance of *Macrobrachium rosenbergii* De Man (giant

- freshwater prawn) in polyculture with carps in concurrent rice-fish culture. *Aquaculture International*, 18, 442 523-537. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9263-5>.
- Mohanty, R. K., Mishra, A., Patil, D. U., (2014). Water Budgeting in Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon* Culture Using Different Water and Feed Management Systems. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 487-496. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_2_20
- Mohanty, R. K, Ambast, S.K., Panigrahi, P., Thakur, A.K., Mandal, K.G. (2018) Enhancing water use efficiency in monoculture of *Litopenaeus vannamei*: Impacts on pond water quality, waste production, water footprint and production performance. *Aquacultural Engineering*, 82, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.06.004>.
- Negrini, C., Silva de Castro, C., Bittencourt Guimaraes, A., Frozza, A., Ortiz Kracizy, R., Ballester, E., (2017). Stocking density for freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda, Palaemonidae) in biofloc system. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45, 891–899. <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue5-fulltext-3>.
- New, M. B., Wagner, C. V., Tidwell. J. H., D’Abramo, L. R., & Kutty M. N. (2010). *Freshwater Prawns Biology and Farming* (1st ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell
- Nguyen, N. H. Y., Trinh, L. T., Chau, D. T., Baruah, K., Lundh, T., Kiessling, A, (2019). Spent brewer's yeast as a replacement for fishmeal in diets for giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*), reared in either clear water or a biofloc environment. *Aquaculture Nutrition*, 25, 970–979. <https://doi.org/10.1111/anu.12915>.
- Oujifard, A., Seyfabadi, J., Abedian Kenari, A., Rezaei, M., (2012). Growth and apparent digestibility of nutrients, fatty acids, and amino acids in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with rice protein concentrate as total and partial replacement of fish meal. *Aquaculture* 342–343, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.038>.
- Peñaflorida, V.D., (1999). Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juvenile shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 172, 281–289. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00503-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00503-1).
- Pérez-Fuentes, J.A., Pérez-Rostro, C.I., Hernández-Vergara, M.P., (2013). Pond-reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system.

- Aquaculture 400–401, 105–110.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.028>.
- Pinheiro, M. A. A.; Hebling, N. J., (1998). Biologia de *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879), in: VALENTI, W. C (Ed.). Carcinicultura de água doce: Tecnologia para produção de camarões, pp. 21-46.
- Robertson, L.A., van Niel, E.W., Torremans, R.A., Kuenen, J.G., (1988). Simultaneous nitrification and denitrification in aerobic chemostat cultures of *Thiosphaera pantotropha*. Appl. Environ. Microbiol. 54, 2812–2818.
DOI: [10.1128/AEM.54.11.2812-2818.1988](https://doi.org/10.1128/AEM.54.11.2812-2818.1988)
- Santos, D.B., Arruda, M. de F., Azevedo, D.L.O., Pontes, C.S., (2017). Behavioral responses of freshwater prawn according to feeding management in mixed and monosex populations. Bol. Inst. Pesca São Paulo 43, 569–577.
<https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p569>.
- Sempier, S. H. and Hanson, T. R. (2008). Analysis of the commercial-scale cost of producing freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in the South-Central United States. Aquaculture Economics & Management, 12:1, 71 – 86.
<https://doi.org/10.1080/13657300801962625>
- StatSoft, Inc., (2014). Statistica (data analysis software system), version 12.5.
<https://www.statistica.com/en/software/tibco-data-science-/tibco-statistica>.
- Suantika, G., Turendro, O. R., Situmorang, M. L. (2017). Use of nitrifying bacteria for promoting giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man) nursery phase in indoor system. J. fish. livest. prod. 05. <https://doi.org/10.4172/2332-2608.1000228>.
- Tavabe, K. R., Rafiee, G., Frinsko, M., Daniels, H. (2013). Effects of different calcium and magnesium concentrations separately and in combination on *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) larviculture. Aquaculture, 412–413, 160–166.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.023>.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M. (Eds.), (2013). Recirculating Aquaculture, third ed. Ithaca Publishing Company, Ithaca, NY.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2020). *USDA Food and Nutrient Database for Dietary Studies 2017-2018*. Food Surveys Research Group Home Page, <http://www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/fsrg>

ARAÚJO, M., T. Efeito de diferentes níveis de proteína na alimentação de *Macrobrachium*...

- Valenti, W.C. e Flickinger, D.L. (2020). Freshwater Caridean Culture. In: Lovrich, G. e Thiel, M. (Org.). Fisheries and Aquaculture. 1ed.Oxford: Oxford University Press p. 207-231. (Volume IX in the series The Natural History of the Crustacea). ISBN: 9780190865627
- Vera, C. G., Brown, J. H., (2017). Effects of alkalinity and total hardness on growth and survival of postlarvae freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879). Aquaculture, 473, 521 – 527.
- Ward, B.B., Arp, D.J., Klotz, M.G., (2011). Nitrification. American Society for Microbiology, Washington, D.C., DC.
- Wetzel, J.E. 2001 . A Production Methods for Freshwater Prawn in Illinois Ponds. Rural Enterprise and Alternative Development Initiative Report. Report No.10, 13 pp.
- Zapata, K.P., Brito, L.L.O., Lima, P.C.M., Vinatea Arana, L.A., Galvez, Alfredo Olivera, Cárdenas, J.M.V., (2017). Cultivo de alevines de tilapia en sistema biofloc bajo diferentes relaciones carbono/nitrógeno. Bol. Inst. Pesca São Paulo 43, 399–407. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p399>.
- Zimmermann, S., (1998). Manejo de Alimentos e Alimentação dos Camarões, in: VALENTI, W. C. (Ed). Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para a Produção de Camarões. Brasília: IBAMA/FAPESP, cap. 12. p. 239-267.

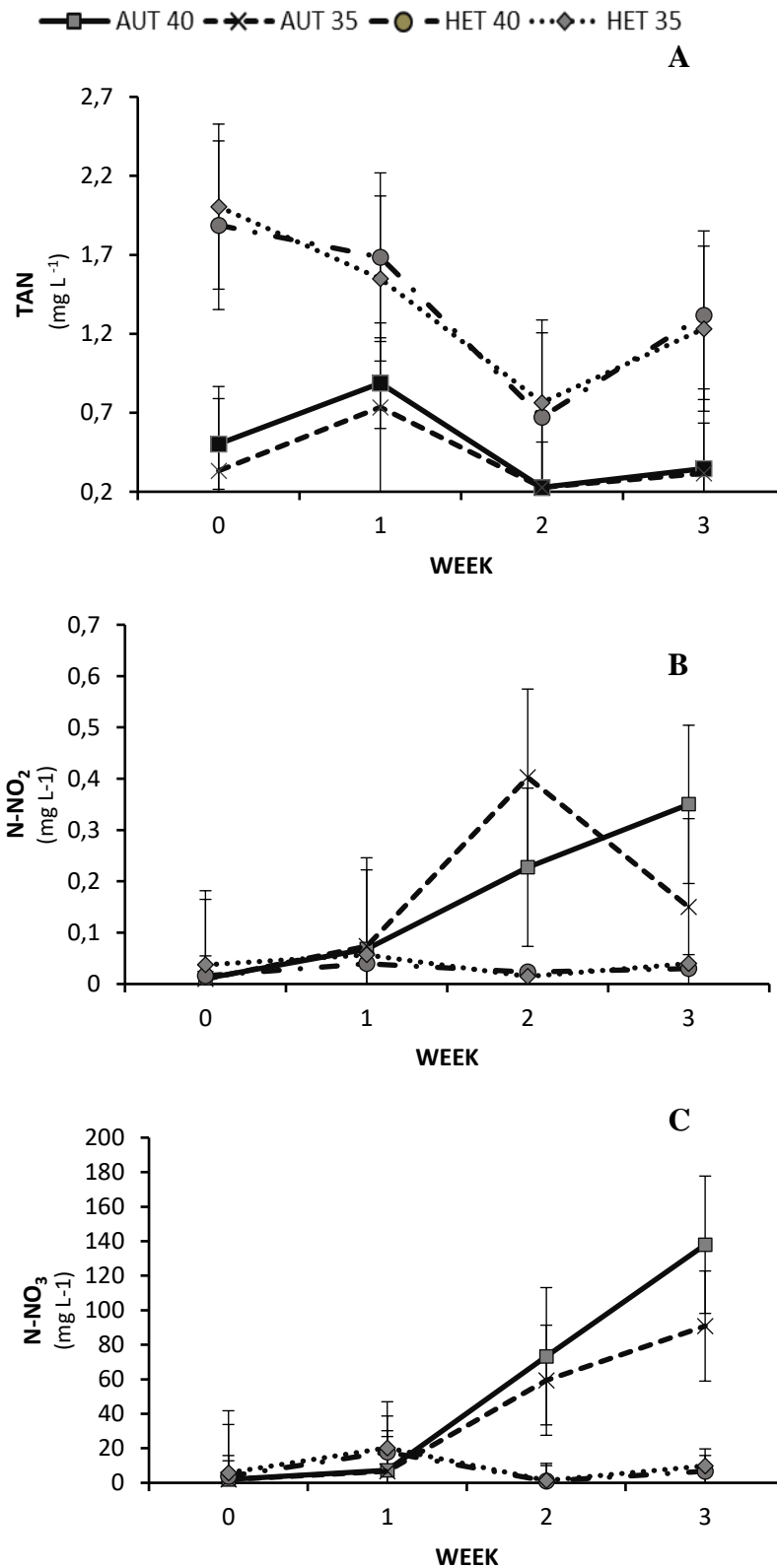


FIGURE 1. Variations in weekly concentrations of TAN, N-NO₂ and N-NO₃ for the different culture systems and concentration of crude protein in the in the *M. rosenbergii* nursery.

TABLE 1. Water quality variables of juvenile *Macrobrachium rosenbergii* reared in different culture systems and crude protein in the feed.

WATER QUALITY VARIABLES	COMBINATIONS				INTERACTION		
	AUT 35	AUT 40	HET 35	HET 40	CULTURE SYSTEM	CRUDE PROTEIN CONTENT	CS x CP
TEMPERATURE (°C)	27.29 ± 0.94	27.82 ± 0.83	27.86 ± 0.72	28.04 ± 0.74	ns	ns	ns
DISSOLVED OXYGEN (mg L ⁻¹)	6.16 ± 0.19	6.05 ± 0.18	6.19 ± 0.15	6.10 ± 0.19	ns	ns	ns
pH	8.15 ± 0.22	7.97 ± 0.10	8.13 ± 0.05	8.07 ± 0.06	ns	ns	ns
TOTAL AMMONIA-N (mg L ⁻¹)	0,40 ± 0,23 ^b	0,49 ± 0,36 ^b	1,39 ± 0,54 ^a	1,39 ± 0,54 ^a	*	ns	ns
NITRITE-N (mg L ⁻¹)	0,16 ± 0,17 ^a	0,16 ± 0,23 ^a	0,04 ± 0,04 ^b	0,03 ± 0,02 ^b	*	ns	ns
NITRATE-N (mg L ⁻¹)	4,45 ± 2,74 ^b	4,49 ± 2,70 ^b	12,47 ± 7,21 ^a	11,41 ± 8,71 ^a	*	ns	ns
TOTAL ALKALINITY (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	122,87 ± 46,49 ^b	126,75 ± 37,99 ^b	145,00 ± 40,79 ^a	150,00 ± 25,11 ^a	*	ns	ns
TOTAL HARDNESS (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	37.66 ± 10.43 ^b	40.98 ± 17.32 ^b	62.19 ± 16.75 ^a	64.96 ± 12.15 ^a	*	ns	ns
ORTHOPHOSPHATE (mg L ⁻¹)	0,50 ± 0,21 ^b	0,70 ± 0,63 ^b	6,60 ± 0,92 ^a	7,41 ± 0,95 ^a	*	*	ns
SETTLEABLE SOLIDS (mL L ⁻¹)	-	-	14.91 ± 2.11	15.84 ± 0.99	-	-	-

Results are averages of four replicates per combination ± standard deviation. Data were analyzed by repeated measures variance analysis and Tukey's test when it showed significant difference. Mean values of horizontal lines with different exponents differed significantly (P<0.05). Autotrophic system with 35% feed (AUT 35); autotrophic system with 40% feed (AUT 40); heterotrophic with 35% feed (HET 35); heterotrophic with 40% feed (HET 40); culture system (CS); crude protein (CP) content; Ns - there was no significant effect of factors; * Effect of factor at 5% significance level.

TABLE 2. Proximate composition (g kg⁻¹) of the biofloc and feed used in the experiment.

	BIOFLOC	BIOFLOC	FEED	FEED
	35% CP	40% CP	35% CP	40% CP
DRY MATTER¹	191.70	161.90	873.70	868.80
MINERAL MATTER²	315.70	257.30	141.80	114.90
ORGANIC MATTER²	684.30	742.70	858.20	885.10
CRUDE PROTEIN²	354.60	402.40	359.70	409.10
ETHER EXTRACT²	40.40	41.00	95.00	103.30
TOTAL CARBOHYDRATES²	289.00	299.00	403.00	373.00

CP – Crude Protein; ¹ basis in natural matter; ²basis dry matter.

TABLE 3. Zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* juveniles reared in different culture systems and fed different crude protein rations.

ZOOTECNICAL PERFORMANCE VARIABLES	COMBINATIONS				INTERACTION		
	AUT 35	AUT 40	HET 35	HET 40	CULTIVATION SYSTEM	CRUDE PROTEIN CONTENT	CS x CP
INITIAL WEIGHT (g)	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02	ns	ns	ns
FINAL WEIGHT (g)	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,01	ns	ns	ns
WEIGHT GAIN (g)	0,06 ± 0,04	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,06 ± 0,01	ns	ns	ns
SPECIFIC GROWTH RATE (% day ⁻¹)	1,06 ± 0,30	1,49 ± 0,73	1,37 ± 0,30	1,76 ± 0,40	ns	ns	ns
FCR	1,06 ± 0,13	0,93 ± 0,23	0,86 ± 0,05	0,74 ± 0,06	ns	ns	ns
SURVIVAL (%)	95,00 ± 1,83	96,25 ± 5,56	98,75 ± 2,50	97,75 ± 1,50	ns	ns	ns
PRODUCTIVITY (g m ⁻³)	300,69 ± 27,86	342,62 ± 55,99	339,37 ± 24,01	384,56 ± 31,82	ns	ns	ns
FEED EFFICIENCY	94,80 ± 11,74	111,97 ± 24,65	117,15 ± 7,62	135,12 ± 11,74	ns	ns	ns

Results are means of four replicates per combination ± standard deviation. Data were analyzed by two-factor analysis of variance measures. Autotrophic system with 35% feed (AUT 35); autotrophic system with 40% feed (AUT 40); heterotrophic with 35% feed (HET 35); heterotrophic with 40% feed (HET 40); culture system (CS); crude protein content (CP); Ns - there was no significant effect of the factors.

TABLE 4. Economics information of the 21-day experiment of *Macrobrachium rosenbergii* juveniles reared in different culture systems and fed different crude protein rations.

		AUT 35	AUT 40	HET 35	HET 40	
INCOME	Number of prawns postlarvae at start	n/ha	25,000,000	25,000,000	25,000,000	25,000,000
	Survival	%	95.0	96.0	98.0	97.0
	Number of sold prawn juvenile	n/ha	23,750,000	24,000,000	24,500,000	24,250,000
	Prawn weight at harvest	g/prawn	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	Biomass - sold weight	kg/ha	3,088	3,360	3,430	3,880
	Income	USD\$/ha	902,500	912,000	931,000	921,500
EXPENSES	Feed intake					
	FCR		1.07	0.93	0.86	0.74
	Feed consume	kg/ha	3,304	3,125	2,950	2,871
	Feed cost	USD\$/ha	3,171.48	2,999.81	2,831.81	2,756.35
	Molasses intake					
	Molasses consume	kg/ha	0	0	66	71
	Molasses cost	USD\$/ha	0.00	0.00	318.78	342.93
	Sodium Bicarbonate intake					
	Sodium Bicarbonate consume	kg/ha	69	77	26	25
	Sodium Bicarbonate cost	USD\$/ha	66.34	73.92	24.86	24.00
	Postlarve intake					
	Postlarvae consume	pl/ha	25,000,000	25,000,000	25,000,000	25,000,000
	Postlarvae cost	USD\$/ha	725,000	725,000	725,000	725,000
	Expenses total	USD\$/ha	728,238.82	728,073.73	728,175.45	728,123.28
Net benefit (local currency)	USD\$/ha	174,262	183,926	203,143	193,377	
NET BENEFIT	Comparison of net benefits					
	AUT 35 x AUT 40			9,664		
	AUT 35 x HET 35				2,8561	
	AUT 35 X HET 40					1,9115
	AUT 40 X HET 35				18,897	
	AUT 40 X HET 40					9,450
HET 35 X HET 40				97,666		

Values calculated in USD \$/ha (BRL R\$ 1.00 = USD \$4.18); Economic parameters used: Feed cost = 0.96 USD \$/ kg feed, prawn juveniles price = 38.00 USD \$/ 1000 juveniles, molasses price = 4.83 USD \$/kg, sodium bicarbonate = 0.96 USD \$/ kg, prawn postlarvae price = 29.00 USD \$/ 1000 postlarvae. Net benefit = gross income – inputs; Comparison of net benefits: presented value means the combination with the highest economic benefit. Autotrophic system with 35% feed (AUT 35); autotrophic system with 40% feed (AUT 40); heterotrophic with 35% feed (HET 35); heterotrophic with 40% feed (HET 40)

CAPÍTULO 2

EFEITO DE SISTEMAS INTENSIVOS DE CULTIVO NA PERFORMANCE DE JUVENIS DE *Macrobrachium rosenbergii* ALIMENTADOS COM DIFERENTES TEORES DE PROTEÍNA BRUTA NA RAÇÃO

RESUMO

Com o aumento da população e a necessidade de seu suprimento com proteína animal de alta qualidade há a necessidade de intensificação de atividades aquícolas, visando melhor aproveitamento da água e menor emissão de efluentes, associado à maior produtividade e rentabilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a utilização do sistema heterotrófico e recirculação no desempenho zootécnico de juvenis de *M. rosenbergii* alimentados com rações comerciais de diferentes proteínas. O experimento teve duração de 42 dias, com delineamento experimental bifatorial: HET e RAS vs ração comercial 30% e 35% de proteína bruta, com três repetições cada combinação. Foi determinado o desempenho zootécnico dos animais cultivados, realizado o acompanhamento da qualidade de água e análise microbiológica do tecido animal e da água de cultivo. A temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, nitrogênio da amônia total e do nitrito e sólidos sedimentáveis não apresentaram diferenças significativas, entretanto foram observadas diferenças para nitrogênio do nitrato, ortofosfato e dureza total. Os valores de peso final, ganho de peso, taxa de crescimento específico, fator de conversão alimentar e sobrevivência após o término do cultivo não apresentaram diferenças significativas, já para produtividade, ganho de biomassa e biomassa final o sistema de recirculação apresentou maiores resultados. Então, a utilização de ração com menor teor proteico não influenciou no crescimento dos animais, podendo ser utilizada sem prejuízos em seu desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: recirculação, heterotrófico, engorda, composição bacteriana

ABSTRACT

With the increase in population and the need for its supply with high quality animal protein there is a need for intensification of aquaculture activities, aiming at better use of water and lower effluent emissions, associated with higher productivity and profitability. The objective of this work was to evaluate the use of heterotrophic and recirculating systems in the zootechnical performance of *M. rosenbergii* juveniles fed with commercial feed of different proteins. The experiment lasted 42 days, with bifatorial experimental

design: HET and AUT vs. commercial feed of 30% and 35% crude protein, with three repetitions for each combination. The zootechnical performance of the cultured animals was determined, water quality was monitored, and microbiological analysis of the animal tissue and culture water was performed. Temperature, dissolved oxygen, pH, alkalinity, total ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, and settleable solids did not show significant differences, however differences were observed for nitrate nitrogen, orthophosphate, and total hardness. The values for final weight, weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio and survival after the end of the culture did not present significant differences, whereas for productivity, biomass gain and final biomass the autotrophic system presented higher results. Therefore, the use of feed with a lower protein content did not influence the growth of the animals, and can be used without impairing their performance.

KEY WORDS: recirculating, heterotrophic, grow out, bacteria composition

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e a necessidade de seu suprimento com proteína de origem animal há a necessidade de intensificação e aprimoramento de atividades aquícolas que produzam pescado com elevada qualidade nutricional. Segundo os dados publicados pela FAO (2022), através da carcinicultura 11.237 toneladas de crustáceos foram produzidas em 2020, sendo uma parcela destes, 2,6%, o camarão de água doce *Macrobrachium rosenbergii*, popularmente conhecido como gigante da Malásia, uma das principais espécies a serem produzidas nas atividades comerciais.

No Brasil este camarão vem sendo cultivado desde os anos 70, devido aos protocolos de manejo já consolidados mundialmente e sua adaptação ao clima do território brasileiro (New, 2000). Embora a tradicional forma de produção seja em viveiros com monocultivo ou policultivo, ao passar do tempo e necessidade de adaptação para alternativas que visem o melhor aproveitamento da água e com isso menor emissão de efluentes no meio ambiente, associado à maior produtividade e rentabilidade, surgiram formas de produção intensivas (Ballester et al., 2018, Dutra et al., 2020, dos Santos et al., 2021, 2022). O sistema heterotrófico ou bioflocos (BFT) é um dos principais métodos de cultivo que possibilita o incremento na densidade de estocagem, objetivando a obtenção de maior biomassa em menor espaço físico (Nisar et al., 2022).

Através do HET tem-se, em adição, o controle da qualidade de água com a atuação das bactérias heterotróficas e nitrificantes, mantendo os níveis de amônia e nitrito em concentrações dentro dos limites recomendados para o cultivo do camarão, possibilitando a troca mínima da água do cultivo (Avnimelech et al., 2012, Emerenciano et al., 2017, Samocha et al., 2017). Este sistema pode funcionar também como suplemento alimentar para espécies que se beneficiam diretamente dos flocos e para animais que sejam tolerantes à altas concentrações de sedimentos na água (Liu et al., 2014), com isso afetando diretamente o custo de produção da atividade (Almeida et al., 2021).

O fornecimento de dietas adequadas pode impactar diretamente a produtividade do cultivo, além de reduzir o acúmulo dos compostos nitrogenados da água (David et al., 2018), sendo relatado na literatura por Santos et al., (2017) que níveis de proteína bruta entre 370 e 348 g/kg foram capazes de aumentar significativamente o ganho de peso e comprimento de camarões de água doce, respectivamente.

Devido à importância comercial e o interesse social relacionados à espécie estudada, tem-se a importância do desenvolvimento de pesquisas que possam otimizar sua produção, principalmente visando os aspectos ambientais e econômicos (Nisar et al., 2022, Almeida et al., 2021). Diante do que foi abordado, o objetivo do trabalho foi avaliar a utilização do sistema heterotrófico e sistema de recirculação no desempenho zootécnico de juvenis de *M. rosenbergii* alimentados com rações comerciais de diferentes teores de proteína bruta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Sistemas de Produção Aquícola (LAPAq) e a análise microbiológica no Laboratório de Genética Aplicada (LAGA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil. Previamente ao experimento, foi realizado um período de 45 dias de berçário, com a finalidade de obtenção de peso médio dos juvenis de 2,5g. Durante esta fase foram utilizadas cinco unidades de cultivo com 800L de volume útil e aeração constante, sendo ofertada ração comercial Density 40 CR2 (Presence®, Brasil) quatro vezes ao dia, calculada a partir de taxa de alimentação de 30% da biomassa dos camarões. Cada unidade de cultivo contava com um filtro biológico, previamente maturado, para a manutenção dos níveis seguros de compostos nitrogenados.

Ao término deste período, os indivíduos foram pesados, contabilizados e estocados nas unidades experimentais em densidade de 60 juvenis/m³, o que resultou em 24 animais em cada unidade. As 12 unidades experimentais foram compostas por tanques circulares de fibra de vidro com volume útil de 400L e área de fundo aproximada de 1m², sendo dispostas em um ambiente aberto, com proteção de tela que permitia incidência de 30% da luz solar. A cada unidade experimental foram adicionados dois substratos de cerca de 20 cm de tubo de PVC (150 mm), que serviram de refúgio para os animais. Não foram realizadas renovação da água do cultivo, apenas reposições, devido às perdas por evaporação.

O experimento teve duração de 42 dias e avaliou o desempenho zootécnico dos juvenis de *M. rosenbergii* submetidos ao delineamento experimental inteiramente casualizado em um esquema bifatorial (2x2), no qual o fator principal foi o sistema de cultivo (recirculação [RAS] e heterotrófico [HET]). O segundo fator avaliado foi a concentração de proteína bruta encontradas nas rações comerciais utilizadas (30% PB [Aquabalance – Presence®] e 35%PB [Camanutri – Presence®]). Então, as combinações resultantes foram: RAS 30, RAS 35, HET 30 e HET 35, com três réplicas, cada. Os animais foram alimentados três vezes ao dia com taxa alimentar de 30% da biomassa, que foi reduzida de acordo com a observação do consumo e com o crescimento dos animais.

Quinzenalmente foi realizado o ajuste da oferta alimentar, com base nos resultados obtidos por biometrias da população de cada unidade experimental. Ao final do experimento, os animais foram pesados (balança de precisão de 0,01g) e contabilizados para avaliar os índices de desempenho zootécnico, através das variáveis de: peso final, ganho de peso (GP = Peso final – Peso inicial), fator de conversão alimentar (FCA = Quantidade de alimento fornecido/ganho de biomassa), taxa de crescimento específico [TCE = 100.(ln peso final – ln peso inicial)/tempo de cultivo]] e sobrevivência [S = 100.(população final/população inicial)].

Para o sistema de recirculação, as unidades foram abastecidas com água doce (400 L) previamente tratada, clorada (10 ppm de cloro ativo) e declorada, através de aeração constante. Foi utilizado filtro biológico (8L) composto por brita, conduíte, porcelana, esponja, carvão ativado, conchas e perlon em cada unidade experimental, para auxiliar na ciclagem de compostos nitrogenados, reduzindo o manejo hídrico dos sistemas, uma vez que, foi realizada apenas a remoção de detritos depositados no fundo dos tanques através

de sifonagem e realizada a reposição de água em decorrência desse manejo e das perdas por evaporação. Para o sistema de heterotrófico, o inóculo (100 L) previamente maturado foi adicionado às respectivas unidades, juntamente com 300 L de água doce previamente tratada.

Durante o experimento foi realizado o acompanhamento da qualidade de água, na qual a temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH foram aferidos duas vezes ao dia (08:00h e 16:00h), com a utilização da sonda multiparâmetro AK88 (AKSO, Brasil). Semanalmente foram determinadas as concentrações do nitrogênio da amônia total (mg NAT/L), nitrogênio do nitrito (mg N-NO₂/L) e alcalinidade e dureza total (mg CaCO₃/L), enquanto que nitrato (mg NO₃/L) e ortofosfato (mg PO₄³⁻/L) foram mensurados quinzenalmente.

As medições dos compostos nitrogenados e ortofosfato foram realizadas em espectrofotômetro digital HACH DR 2800 (Hach Company, Colorado, USA), através da metodologia do reagente Nessler para NAT, Strickland e Parsons (1972) for N-NO₂ e NO₃, e Aminot e Chaussepied (1983) para PO₄³⁻. A alcalinidade e dureza total foram aferidas por titulação volumétrica (APHA, 1999), sendo a alcalinidade corrigida através do uso de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) como fonte de carbonatos, quando necessário, para que fosse mantida entre 100 e 150 mg CaCO₃/L (SAMOCHA et al., 2017) e não implicasse no declínio do pH por esta falta de compensação.

As análises microbiológicas para cada unidade experimental foram realizadas ao início e ao final do cultivo, com a finalidade de quantificar as unidades formadoras de colônia (UFC) de *Bacillus* sp, contagem bacteriana geral e de fungos em amostras da água das caixas e do hepatopâncreas dos animais. Para a análise do hepatopâncreas, os camarões foram coletados e logo em seguida, higienizados em solução de álcool 70% durante um minuto, imersos em solução de hipoclorito de sódio (1,5%) com Tween-80 (0,1%) por 15 minutos e lavados três vezes com água destilada. Após estes procedimentos de desinfecção, o hepatopâncreas foi extraído, pesado e macerado usando a solução alcalina peptonada (1% - pH 8,6). Já as amostras da água foram coletadas superficialmente com a utilização de tubos Falcon estéreis (10 mL), sendo 500 µL diluídos em 4,5 mL de solução alcalina peptonada (Silva et al., 2019).

Após a homogeneização das amostras, foi realizada a diluição em sequência de 10¹ a 10⁻⁴ e então inoculadas em triplicata pelo método padrão de espalhamento na superfície

da placa (APHA, 2017), usando como meio de cultura: ágar triptona de soja (TSA) para contagem bacteriana geral; ágar manitol-egg yolk-polymyxin (MYP) para *Bacillus* sp; e ágar sabouraud-dextrose para fungos (levedura e filamentoso).

As placas semeadas foram incubadas durante 24h a 30°C para quantificação de *Bacillus* sp e contagem bacteriana geral, e incubadas por 72h a 36°C para determinação dos fungos. Após estes períodos determinados, todas as unidades formadoras de colônias foram contabilizadas com o auxílio de contador de colônias, sendo considerados os aspectos macro morfológicos de diferenciação entre fungos filamentosos e leveduras conforme Trabulsi (2015). Em seguida, foi realizada a conversão para UFC/g, para as amostras de camarão, e UFC/mL, para as amostras de água, através da fórmula: UFC/g ou UFC/mL = número de colônias x fator de diluição / peso do hepatopâncreas (g) ou volume de água (mL).

Os dados amostrados foram analisados quanto à normalidade usando o teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias usando o teste de Levene. Os dados de bacteriologia foram transformados (*Bacillus* sp, fungos totais, leveduras e contagem geral $[\log \{x+2\}]$ para as amostras de água e *Bacillus* sp e contagem geral $[\log_{10} \{x\}]$, para as amostras de hepatopâncreas). Posteriormente, os dados de qualidade da água foram submetidos a análise de variância de medidas repetidas, enquanto os dados bacteriológicos e de desempenho zootécnico foram avaliados através da análise de variância de dois fatores. Quando foram observadas diferenças significativas, os dados foram submetidos ao teste de comparação da média de Tukey. Para avaliar os dados que não apresentaram distribuição normal ou homogeneidade de variâncias, foram realizados os seguintes testes: testes Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis e Friedman, de acordo com a estrutura dos dados. Todos os dados foram analisados adotando-se um nível de significância de 5%, utilizando o software Statistica 12.5.

RESULTADOS

Os valores médios de temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, nitrogênio da amônia total, nitrogênio do nitrito e sólidos sedimentáveis monitorados durante o período experimental não apresentaram diferenças significativas entre as combinações e estão apresentados na Tabela 1, representando os diferentes sistemas de cultivo (recirculação e heterotrófico) e diferentes teores de proteína bruta contida na ração comercial (30 e 35%) ofertada aos juvenis de *M. rosenbergii* cultivados nestas condições.

Foram observadas diferenças significativas entre os fatores testados (RAS e HET e teores de proteína bruta), para as variáveis de nitrogênio do nitrato e ortofosfato, tendo sido observados os maiores resultados para as combinações do sistema heterotrófico, bem como para a dureza total da água de cultivo.

Tabela 1. Variáveis de qualidade de água no cultivo de juvenis de *Macrobrachium rosenbergii* em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA	COMBINAÇÕES				INTERAÇÃO		
	RAS 30	RAS 35	HET 30	HET 35	SISTEMA DE CULTIVO	TEOR DE PROTEÍNA BRUTA	SC x PB
TEMPERATURA (°C)	24,49 ± 0,69	24,82 ± 0,65	24,86 ± 0,62	24,44 ± 0,64	ns	ns	ns
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mg L ⁻¹)	6,62 ± 0,46	6,53 ± 0,41	6,57 ± 0,15	6,10 ± 0,19	ns	ns	ns
pH	8,19 ± 0,21	8,23 ± 0,17	8,21 ± 0,15	8,15 ± 0,20	ns	ns	ns
N-AMÔNIA TOTAL (mg L ⁻¹)	0,09 ± 0,06	0,14 ± 0,05	0,20 ± 0,09	0,24 ± 0,09	ns	ns	ns
N-NITRITO (mg L ⁻¹)	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	ns	ns	ns
N-NITRATO (mg L ⁻¹)	11,51 ± 26,42 ^b	6,05 ± 12,03 ^c	20,13 ± 10,10 ^a	20,56 ± 38,33 ^a	*	*	ns
ALCALINIDADE TOTAL (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	120,18 ± 20,07	122,78 ± 20,18	126,11 ± 20,53	133,70 ± 0,66	ns	ns	ns
DUREZA TOTAL (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	60,72 ± 6,55 ^b	58,31 ± 21,19 ^b	73,82 ± 5,86 ^a	89,09 ± 8,39 ^a	*	ns	ns
ORTOFOSFATO (mg L ⁻¹)	2,71 ± 0,72 ^b	2,72 ± 2,01 ^b	13,69 ± 7,70 ^a	13,38 ± 6,38 ^a	*	*	ns
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL L ⁻¹)	-	-	1,61 ± 0,98	1,20 ± 0,59	-	-	-

Os resultados são a média de três réplicas por combinação ± desvio padrão. Os dados foram analisados por análise de medidas repetidas e teste de Tukey quando apresentaram diferença significativa. Os valores médios das linhas horizontais com diferentes expoentes diferem significativamente (P<0,05). Sistema recirculação com alimentação de 30% (RAS 30); sistema recirculação com 35% de alimentação (RAS 35); heterotrófico com 30% de alimentação (HET 30); heterotrófico com 35% de alimentação (HET 35); sistema de cultivo (SC); teor de proteína bruta (PB); ns - não houve efeito significativo dos fatores; * Efeito do fator no nível de significância de 5%.

Os valores médios do peso inicial, peso final, ganho de peso, taxa de crescimento específico, fator de conversão alimentar e sobrevivência dos juvenis após o término do cultivo experimental não apresentaram diferenças significativas entre as combinações testadas (Tabela 2). Quanto à produtividade, ganho de biomassa e biomassa final foram encontradas diferenças estatísticas entre os sistemas de cultivo que foram estudados, sendo as combinações com sistema de recirculação as que demonstraram os maiores resultados.

Os dados referentes às amostras iniciais de água foram influenciados pelos sistemas de cultivo; as maiores concentrações de contagem geral, fungos totais, fungos filamentosos, levedura e *Bacillus* sp foram oriundas do HET (Tabela 3). Ao final do experimento, as concentrações de fungos filamentosos não foram influenciadas pelos sistemas de cultivo ou do percentual de proteína bruta, de forma isolada ou combinada. Entretanto as demais variáveis bacteriológicas assim como as amostras iniciais, apresentaram concentrações em sistema heterotrófico superiores às encontradas para o sistema de recirculação. Apesar das concentrações de fungos totais e filamentosos não diferirem entre as contagens no início e ao fim do experimento, as concentrações de levedura, *Bacillus* sp, e contagem geral apresentaram valores superiores ao final do experimento.

Não foram observadas diferenças significativas entre as concentrações de bactéria geral, *Bacillus* sp, fungos totais, fungos filamentosos e leveduras das amostras de hepatopâncreas no início e ao final do período experimental. Ademais estas variáveis não sofreram efeito isolado ou combinado dos sistemas de cultivo ou do percentual de proteína utilizados no presente estudo. Os dados bacteriológicos das amostras de água e hepatopâncreas encontram-se sumarizados na Tabela 3.

Tabela 2. Desempenho zootécnico de juvenis de *Macrobrachium rosenbergii* cultivados em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração.

VARIÁVEIS DE DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	COMBINAÇÕES				INTERAÇÃO		
	RAS 30	RAS 35	HET 30	HET 35	SISTEMA DE CULTIVO	TEOR DE PROTEÍNA BRUTA	SC x PB
PESO INICIAL (g)	2,50 ± 0,05	2,50 ± 0,041	2,50 ± 0,06	2,51 ± 0,09	ns	ns	ns
PESO FINAL (g)	4,91 ± 0,41	5,96 ± 0,77	4,70 ± 0,45	5,37 ± 1,33	ns	ns	ns
GANHO DE PESO (g)	2,40 ± 0,39	3,46 ± 0,79	2,20 ± 0,45	2,86 ± 1,42	ns	ns	ns
TAXA DE CRESCIMENTO ESPECÍFICO (%/ dia)	2,05 ± 1,73	3,73 ± 0,56	2,71 ± 0,41	3,23 ± 1,05	ns	ns	ns
FATOR DE CONVERSÃO ALIMENTAR	2,27 ± 0,57	5,73 ± 5,10	5,37 ± 1,08	7,58 ± 4,13	ns	ns	ns
SOBREVIVÊNCIA (%)	83,33 ± 11,15	59,67 ± 18,56	59,67 ± 14,57	58,33 ± 10,97	ns	ns	ns
PRODUTIVIDADE (g/m ³)	244,30 ± 20,34 ^a	207,85 ± 39,61 ^a	167,62 ± 38,15 ^b	182,29 ± 12,94 ^b	*	ns	ns
GANHO DE BIOMASSA	37,64 ± 7,11 ^a	23,06 ± 15,28 ^a	14,99 ± 3,24 ^b	12,60 ± 6,89 ^b	*	ns	ns
BIOMASSA FINAL	97,72 ± 8,14 ^a	83,14 ± 15,84 ^a	67,05 ± 15,26 ^b	72,92 ± 5,18 ^b	*	ns	ns

Os resultados são a média de três réplicas por combinação ± desvio padrão. Os dados foram analisados por análise de variância de dois fatores e teste de Tukey quando apresentaram diferença significativa. Os valores médios das linhas horizontais com diferentes expoentes diferem significativamente (P<0,05). Sistema recirculação com alimentação de 30% (RAS 30); sistema recirculação com 35% de alimentação (RAS 35); heterotrófico com 30% de alimentação (HET 30); heterotrófico com 35% de alimentação (HET 35); sistema de cultivo (SC); teor de proteína bruta (PB); ns - não houve efeito significativo dos fatores; * Efeito do fator no nível de significância de 5%.

Tabela 3. Unidades formadoras de colônias (UFC) em amostras de água e camarão no cultivo de juvenis de *Macrobrachium rosenbergii* em diferentes sistemas de cultivo e teor de proteína bruta na ração, ao início e ao fim do experimento.

Sistema de cultivo (SC)	RECIRCULAÇÃO		HETEROTRÓFICO		FATORES		
	Proteína bruta (PB)	30%	35%	30%	35%	SC	PB
<i>Água</i>							
Contagem geral	1,44.10 ⁴ ± 5,89.10 ^{3B}	1,44.10 ⁴ ± 5,89.10 ^{3B}	2,73.10 ⁴ ± 7,78.10 ^{2A}	2,73.10 ⁴ ± 7,78.10 ^{2A}	*	ns	ns
	6,73.10 ⁴ ± 2,57.10 ^{4B}	9,32.10 ⁴ ± 6,40.10 ^{4B}	1,82.10 ⁶ ± 1,57.10 ^{6A}	2,47.10 ⁶ ± 3,54.10 ^{6A}	*	ns	ns
<i>Bacillus</i> sp.	6,27.10 ³ ± 2,61.10 ^{3B}	6,27.10 ³ ± 2,61.10 ^{3B}	2,60.10 ⁴ ± 5,31.10 ^{3A}	2,60.10 ⁴ ± 5,31.10 ^{3A}	*	ns	ns
	4,09.10 ⁴ ± 1,03.10 ^{4B}	18,60.10 ⁴ ± 11,73.10 ^{4B}	1,01.10 ⁶ ± 1,43.10 ^{6A}	2,61.10 ⁶ ± 3,75.10 ^{6A}	*	ns	ns
Fungo total	7,29.10 ⁶ ± 1,62.10 ^{3B}	7,29.10 ⁶ ± 1,62.10 ^{3B}	1,79.10 ⁵ ± 5,41.10 ^{4A}	1,79.10 ⁵ ± 5,41.10 ^{4A}	*	ns	ns
	3,54.10 ⁴ ± 0,73.10 ^{4B}	11,46.10 ⁴ ± 12,24.10 ^{4B}	1,46.10 ⁶ ± 0,69.10 ^{6A}	2,18.10 ⁶ ± 3,09.10 ^{6A}	*	ns	ns
Levedura	7,02.10 ³ ± 1,73.10 ^{3B}	7,02.10 ³ ± 1,73.10 ^{3B}	1,68.10 ⁵ ± 5,84.10 ^{4A}	1,68.10 ⁵ ± 5,84.10 ^{4A}	*	ns	ns
	3,47.10 ⁴ ± 0,82.10 ^{4B}	11,45.10 ⁴ ± 12,23.10 ^{4B}	1,45.10 ⁶ ± 0,69.10 ^{6A}	2,17.10 ⁶ ± 3,07.10 ^{6A}	*	ns	ns
Filamentosos	0	0	2,96.10 ² ± 2,79.10 ²	2,96.10 ² ± 2,79.10 ²	*	ns	ns
	0	9,25.10 ¹ ± 1,60.10 ²	3,81.10 ³ ± 3,43.10 ³	1,13.10 ⁴ ± 1,90.10 ⁴	ns	ns	ns
<i>Hepatopâncreas</i>							
Contagem geral	2,64.10 ⁵ ± 2,47.10 ⁵	2,64.10 ⁵ ± 2,47.10 ⁵	2,64.10 ⁵ ± 2,47.10 ⁵	2,64.10 ⁵ ± 2,47.10 ⁵	ns	ns	ns
	2,13.10 ⁶ ± 2,53.10 ⁶	5,37.10 ⁷ ± 5,36.10 ⁷	9,96.10 ⁷ ± 1,73.10 ⁸	6,01.10 ⁷ ± 5,67.10 ⁷	ns	ns	ns
<i>Bacillus</i> sp.	2,91.10 ⁵ ± 2,40.10 ⁵	2,91.10 ⁵ ± 2,40.10 ⁵	2,91.10 ⁵ ± 2,40.10 ⁵	2,91.10 ⁵ ± 2,40.10 ⁵	ns	ns	ns
	2,83.10 ⁶ ± 3,53.10 ⁶	4,38.10 ⁷ ± 4,37.10 ⁷	1,12.10 ⁷ ± 1,94.10 ⁷	5,20.10 ⁷ ± 5,01.10 ⁷	ns	ns	ns
Fungo total	3,04.10 ² ± 5,26.10 ²	3,04.10 ² ± 5,26.10 ²	3,04.10 ² ± 5,26.10 ²	3,04.10 ² ± 5,26.10 ²	ns	ns	ns
	3,25.10 ⁷ ± 4,88.10 ⁷	8,52.10 ⁸ ± 1,34.10 ⁹	3,07.10 ⁷ ± 5,32.10 ⁷	4,52.10 ⁷ ± 6,56.10 ⁷	ns	ns	ns
Levedura	2,90.10 ⁵ ± 2,39.10 ⁵	2,90.10 ⁵ ± 2,39.10 ⁵	2,90.10 ⁵ ± 2,39.10 ⁵	2,90.10 ⁵ ± 2,39.10 ⁵	ns	ns	ns
	2,95.10 ⁷ ± 4,29.10 ⁷	8,52.10 ⁸ ± 1,34.10 ⁹	3,07.10 ⁷ ± 5,32.10 ⁷	4,45.10 ⁷ ± 6,49.10 ⁷	ns	ns	ns
Filamentosos	2,76.10 ⁵ ± 2,36.10 ⁵	2,76.10 ⁵ ± 2,36.10 ⁵	2,76.10 ⁵ ± 2,36.10 ⁵	2,76.10 ⁵ ± 2,36.10 ⁵	ns	ns	ns
	2,82.10 ⁶ ± 4,69.10 ⁶	0	2,13 ± 3,69	4,93.10 ⁵ ± 8,53.10 ⁵	ns	ns	ns

Os dados correspondem a média ± desvio padrão, que foram analisados por ANOVA de dois fatores e teste Tukey quando encontradas diferenças significativas. Expoentes diferentes nas linhas indicam diferenças significativas (P<0.05). Sistema de cultivo (SC); proteína bruta (PB); sem diferenças significativas entre os fatores (ns); *nível de significância de 5%.

DISCUSSÃO

A qualidade da água do ambiente de cultivo é o aspecto de maior importância que pode limitar o desenvolvimento dos camarões, visto que é capaz de afetar seu hábito alimentar, crescimento, saúde e sobrevivência (PINHEIRO e FILHO et al., 2007; CAMPOS et al., 2007). Então faz-se necessário o controle e monitoramento principalmente da temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade e compostos nitrogenados (COSTA e STREIT, 2018).

A temperatura esteve em torno de 24°C ao longo do período de experimento, devido às condições climáticas e à localização das unidades experimentais em ambiente aberto. Por estar em níveis aceitáveis, entretanto abaixo do nível ótimo para esta variável (28-30°C - NEW et al., 2010), este fator possivelmente limitou o crescimento dos animais, através da redução de seu metabolismo e diminuição da ingestão do alimento fornecido. A temperatura afetou a FCA nas combinações estudadas elevando-a e acarretando uma baixa sobrevivência dos animais, que resultou na diminuição da biomassa, como observado por Gandini et al., (2017).

Os baixos níveis de sobrevivência obtidos podem ter relação também com o crescimento heterogêneo observado nos animais durante as biometrias. O comportamento dominante dos animais maiores, demonstrado por machos do gênero *Macrobrachium*, pode ter despertado a ação de agressividade deste tipo morfológico de maior tamanho, culminando no aumento de interações comportamentais negativas para com os indivíduos menores, que apresentaram supressão em seu crescimento. Esta diferenciação de tamanho e desenvolvimento tem se mostrado uma das principais dificuldades para a intensificação desta atividade e com isso prejudicado o aumento na produtividade (Valenti e Flickinger, 2020). Tal fator também pode ter refletido nos mais altos resultados de produtividade, ganho de biomassa e biomassa final na combinação RAS 30, demonstrando relação inversamente proporcional à sobrevivência, ou seja, quanto maior o desempenho de alguns indivíduos, que são os machos maiores e geralmente em menor quantidade, maior a probabilidade de desenvolverem o comportamento territorialista e agonístico em relação aos demais animais, levando à redução das taxas de sobrevivência.

O pH em sistemas heterotróficos deve ser mantido de acordo com as necessidades das bactérias presentes no sistema. Segundo NEW et al (2002), a faixa ótima de pH em cultivos de camarão situa-se entre 7.0 e 8.5, que em nosso experimento variou

minimamente em torno de 8.0. Tal fato pode ter favorecido o crescimento e manutenção de bactérias oxidantes do nitrito (BON), que requerem valores de pH em torno de 8.0 (TIMMONS e EBELING, 2007) e por isso, os níveis do nitrito se mantiveram baixos.

As flutuações observadas em relação aos compostos nitrogenados são inerentes aos sistemas intensivos (AVNIMELECH et al., 2012; BALLESTER et al., 2017) e foram registradas ao longo do experimento, permanecendo entre os limites recomendados para a espécie estudada (NEW et al., 2010; PEREZ-FUENTES et al., 2013). Em relação ao N-NO_3 , que apresenta menor potencial de toxicidade entre os compostos nitrogenados, existe uma tendência de seu acúmulo ao longo do tempo em sistemas intensivos, por se tratar do produto final da nitrificação (TIMMONS e EBELING, 2007; KUHN et al., 2010; LUO et al. 2019), ocorrendo em maior frequência nas combinações do sistema de heterotróficos, demonstrando que as bactérias estavam em plena atividade quanto à ciclagem do Nitrogênio.

Quanto à contagem total bacteriana, *Bacillus* sp, fungos totais, e leveduras foram influenciadas apenas pelos sistemas de cultivo, em que as maiores concentrações foram observadas no sistema de heterotróficos, apresentando valores médios ao final do cultivo entre $1,82 \cdot 10^6$ e $9,32 \cdot 10^4$ UFC para os sistemas de recirculação e heterotrófico respectivamente. Os valores de contagem total encontrados no presente estudo, aproximam-se dos relatados por Kennedy et al., (2006) que observou concentrações de $1,62 \cdot 10^5$ UFC ao avaliar amostras de água ao 43º dia de cultivo do *Macrobrachium rosenbergii* comparando diferentes fontes de água. A concentração de *Bacillus* sp na água ao final do experimento ($4,09 \cdot 10^4$ a $2,61 \cdot 10^6$ UFC) apresentou valores semelhantes aos encontrados por Frozza et al., (2021) ao avaliar a ação probiótica de duas espécies de *Bacillus* sp no cultivo de *M. rosenbergii*, esses autores observaram concentrações entre $5,7 \cdot 10^4$ e $5,9 \cdot 10^4$ ao final de 40 dias.

As diferenças encontradas entre os sistemas de cultivo podem ser decorrentes das técnicas características de cada sistema de produção (e.g. aplicação de melão da cana de açúcar como suplemento de carbono orgânico), uma vez que a comunidade bacteriana de um sistema pode variar em função de fatores como qualidade de água, técnicas de criação ou do uso de suplementos (Harris, 1993; Kennedy et al., 2006). Além disso, ao contrário do sistema de recirculação e o sistema heterotrófico promove uma maior turbidez nas unidades de cultivo em decorrência da elevada concentração de partículas suspensas

(Hosain et al., 2021), por sua vez, estudos observaram que a concentração de sólidos totais em suspensão pode influenciar diretamente nas contagens bacterianas da água de cultivo (Andreson et al., 1989; Phatarpekar et al., 2002). Poucas informações ambientais sobre os níveis de fungos ou os seus efeitos em cultivos de *M. rosenbergii* estão disponíveis, entretanto Nguyen et al., (2019) concluíram em sua pesquisa que a levedura pode ser um substituto parcial da farinha de peixe na dieta do *M. rosenbergii*.

O hepatopâncreas é o órgão responsável pela produção de enzimas digestivas e absorção de nutrientes no camarão (Frezza et al., 2021), a sua colonização com microorganismos que possuem ação probiótica pode favorecer a assimilação de nutrientes por estes animais (Du et al., 2013). Segundo Wang et al., (2017) as bactérias do gênero *Bacillus* adicionadas na água ou na ração atuam em cultivos aquícolas como probióticos e desempenham um importante papel no controle de patógenos e favorecimento do desempenho zootécnico. As concentrações de *Bacillus* sp no hepatopâncreas do *M. rosenbergii*, encontradas ao final do presente estudo (entre $2,83.10^6$ e $5,20.10^7$ UFC) são superiores às observadas por Frezza et al., (2021), que ao final de 40 dias de cultivo do *M. rosenbergii* em sistema de bioflocos observou concentrações de *Bacillus* entre $6,2. 10^2$ e $16,0. 10^2$ UFC. Tal diferença pode estar relacionada ao tempo de cultivo dos animais com a presença dessas bactérias, e possivelmente à temperatura, uma vez que estes autores também compararam seus resultados com concentrações encontradas em cultivos com duração de 56 e 60 dias e sugerem que as bactérias podem necessitar de um maior tempo até se estabilizarem no trato gastrointestinal dos camarões.

CONCLUSÃO

Os camarões alimentados com diferentes níveis proteicos e cultivados em diferentes sistemas intensivos apresentaram maiores resultados relacionados à produtividade, ganho de biomassa e biomassa final para as combinações referentes ao sistema de recirculação, em nos níveis proteicos ofertados. Entretanto, não foram encontradas diferenças para os demais índices de desempenho zootécnico, assim como as variáveis da qualidade da água do cultivo se mantiveram entre os níveis seguros, sendo possível concluir que podem ser utilizados os sistemas intensivos propostos a depender das condições a que o produtor possui e tem disponibilidade para condução do cultivo.

REFERÊNCIAS

ABAKARI, G., LUO, G., KOMBAT, E. O. 2019. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. *Aquaculture and Fisheries* 6:441-447. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>

ALMEIDA, M. S., MAUAD, J. R. C., GIMENES, R. M. T., GAONA, C. A. P., FURTADO, P. S., POERSCH, L. H. WASIELESKY JR, W., FÓES, G. K. 2021. Bioeconomic analysis of the production of marine shrimp in greenhouses using the biofloc technology system. *Aquaculture International* 29:723–741. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00653-1>

ANDERSON, I.G., SHAMSUDIN, M. N, NASH, G. A preliminary study on the aerobic heterotrophic bacterial flora in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, hatcheries in Malaysia. *Aquaculture*, 81 (1989), pp. 213-223.

APHA, Water Environment Federation, & American Water Works Association. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Part 4000-6000). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. <https://doi.org/ISBN9780875532356>

AVNIMELECH, Y., DE-SCHRYVER, P., EMERECIANO, M., KUHN, D., RAY, A., TAW, N. 2012. Biofloc Technology - A Practical Guide Book (2nd ed.). *The World Aquaculture Society*, Baton Rouge, LA, 283p.

BALLESTER, E. L., MAURENTE, L. P., HELDT, A., DUTRA, F. M. 2018. Vitamin and mineral supplementation for *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 46, 855–859, 2018. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue4-fulltext-25>

BECERRIL-CORTÉS, D., MONROY-DOSTA, M. C., COELHO-EMERENCIANO, M G., CASTRO-MEJÍA, G., CIENFUEGOS-MARTÍNEZ, K., LARA-ANDRADE, R. Nutritional importance for aquaculture and ecological function of microorganisms that make up biofloc, a review. *Int. J. Aquat. Sci.*, 8 (2017), pp. 69-77

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Water quality and pond-soil analyses for aquaculture. Alabama Agriculture Experimental Station. Auburn University, Alabama, EUA, p. 183, 1992.

CAMPOS, S. S.; SILVA, U. L.; LÚCIO, M. Z. T. P. Q. L., CORREIA, E. S. 2007. Grow out of the *Litopenaeus vannamei* in microcosms fertilized with wheat bran without water exchange. *Archivos de Zootecnia*, v. 56, n. 214, p. 181-190.

COSTA, B. B. e STREIT JR, D. P. 2018. Cultivo de camarões em sistema de bioflocos no Brasil: Uma alternativa sustentável às intensificações na aquicultura. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 51, n. 2, p. 116-130. <https://doi.org/10.32360/acmar.v51i2.20507>

DAVID, F. S., FONSECA, T., BUENO, G. W., VALENTI, W.C. 2018. Economic feasibility of intensification of *Macrobrachium rosenbergii* hatchery. *J. Aquac. Res. Dev.* 49, 3769–3776. <https://doi.org/10.1111/are.13844>.

DU, J., ZHU, H., LIU, P., CHEN, J., XIU, Y., YAO, W., WU, T., REN, Q., MENG, Q., GU, W., WANG, W. (2013). Immune responses and gene expression in hepatopancreas from *Macrobrachium rosenbergii* challenged by a novel pathogen spiroplasma MR-1008. *Fish Shellfish Immunology*, 34, 315– 323. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.11.009>.

DUTRA, F. M., RIO, G. S., ZADINELO, I. V., BALLESTER, E. L. C. 2020. Exposure of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) post-larvae to different nitrate concentrations: Effect on performance and welfare. *Aquaculture*, v. 520. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734674>

DOS SANTOS, R. B., COELHO FILHO, P. A., ASSUNÇÃO, C. S., DOS SANTOS, T. N., DA SILVA, J. H., SILVA, G. C. e BRITO, L. O. 2022. The effect of different synbiotic preparation strategies on water fertilization and zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the nursery stage. *Aquaculture International*. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00955-y>.

DOS SANTOS, R. B., COELHO FILHO, P. A., GONÇALVES, A. P., DOS SANTOS, R. A., LINS RODRIGUES, M., DE SOUZA CORREIA, E., DE OLIVEIRA, V. Q., & BRITO, L. O. 2021. Effects of organic carbon sources on water quality, microbial flocs protein and performance of *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae reared in biofloc and synbiotic systems. *Aquaculture Research*, 00, 1–10. <https://doi.org/10.1111/are.1558>

EMERENCIANO, M., GAXIOLA, G., CUZO, G. Biofloc technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass Now - Cultivation and Utilization* (2013), pp. 300-328.

EMERENCIANO, M. G. C., MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R., MARTÍNEZ-PORCHAS, M., MIRANDA-BAEZA, A. 2017. Biofloc Technology (BFT): A tool for water quality management in aquaculture. Tutu, Hlanganani. Water Quality. InTech. <https://doi.org/10.5772/66416>.

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

GANDINI, F. A., JÚNIOR, J. R. D. O. N., MEDEIROS, C. S., OSHIRO, L. M. Y., SANT'ANA, N. FARIA. 2017. Avaliação de diferentes fontes de carboidratos para o sistema de bioflocos e crescimento do camarão branco. Boletim do Instituto de Pesca, v. 42, n. 4, p. 831-843.

HARRIS, J. M. The presence, nature, and role of gut microflora in aquatic invertebrates: a synthesis. Microb. Ecol., 25 (3) (1993), pp. 195-231.

HOSAIN, M. E., AMIN, S. N., KAMARUDIN, M. S., ARSHAD, A., KARIM, M., ROMANO, N. (2021). Effect of salinity on growth, survival, and proximate composition of *Macrobrachium rosenbergii* post larvae as well as zooplankton composition reared in a maize starch based biofloc system. Aquaculture, 533, 736235.

KENNEDY, B., VENUGOPAL, M. N., KARUNASAGAR, I., KARUNASAGAR, I. (2006). Bacterial flora associated with the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*, in the hatchery system. Aquaculture, 261(4), 1156-1167.

KUHN, D., SMITH, S. A., BOARDMAN, G. D., ANGIER, M. W., MARSH, M., JR FLICK, G. J. 2010 Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: impacts on survival, growth, antenna e length, and pathology. Aquaculture, 309 (1-4): 109-114

MA, R., WANG, Y., ZHAO, S., YIN, M., FANG, W. (2020). The composition of the microbial community associated with *Macrobrachium rosenbergii* zoeae varies throughout larval development. Journal of fish diseases, 43(4), 413-421.

NEW, M.B., 2000. Commercial freshwater prawn farming around the world. In: NEW, M.B., VALENTI, W.C. (Eds.), Freshwater Prawn Culture. Blackwell Science, Oxford, England, pp. 290–325.

PHATARPEKAR, P. V., KENKRE, V. D., SREEPADA, R. A., DESAI, C.T. Achuthankutty. Bacterial flora associated with larval rearing of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 203 (2002), pp. 279-291

PINHEIRO, W.C., FILHO, J.A., MARACAJÁ, P.B. 2007. Efeitos climáticos e físico-químicos sobre a biologia do *Litopenaeus vannamei* cultivado em viveiro. *Rev Verde Agroecologia Desenvolv Sustent*, v. 2, n. 2, p. 142-150.

SAMOCHA, T. M., PRANGNELL, D. I., HANSON, T. R., TREECE, G. D., MORRIS, T. C., CASTRO, L. F., STARESINIC, N. Design and Operation of Super Intensive, Biofloc Dominated Systems for Indoor Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* – The Texas A&M AgriLife Research Experience. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA, 2017. 368p.

SANTOS, L.D., CAGOL, L., HELDT, A., CAMPAGNOLO, R., BALLESTER, E.L.C. 2017. Increasing levels of crude protein in practical diets for amazon prawn. *Bol. Inst. Pesca* 43 (3), 417–425. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p417>

STATSOFT, INC., 2014. Statistica (data analysis software system), version 12.5. <https://www.statistica.com/en/software/tibco-data-science/-/tibco-statistica>.

TIMMONS, M. B. e EBELING, J. M. 2007 *Recirculating Aquaculture. Biofiltration*. Ithaca, Nova Iorque, p. 275-318.

VALENTI, W.C. e FLICKINGER, D.L. 2020. Freshwater Caridean Culture. In: LOVRICH, G. e THIEL, M. (Org.). *Fisheries and Aquaculture*. 1ed.Oxford: Oxford University Press p. 207-231. (Volume IX in the series *The Natural History of the Crustacea*). ISBN: 9780190865627

VERA, C. G. e BROWN, J. H. 2017. Effects of alkalinity and total hardness on growth and survival of postlarvae freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879). *Aquaculture*, v. 473, p. 521 – 527.

WANG, M., LIU, G., LU, M., KE, X., LIU, Z., GAO, F., CAO, J., ZHU, H., YI, M., YU, D. Effect of *Bacillus cereus* as a water or feed additive on the gut microbiota and immunological parameters of Nile tilapia. *Aquacult. Res.*, 48 (2017), pp. 3163-3173

Considerações finais

- O desempenho zootécnico do *Macrobrachium rosenbergii* não foi interferido através dos sistemas intensivos de cultivo testados, podendo ser utilizado o autotrófico ou o heterotrófico para a fase berçário e recirculação ou heterotrófico para engorda;
- É possível reduzir o teor de proteína bruta da ração, visto que não foram encontradas diferenças significativas entre as rações utilizadas quanto ao desempenho zootécnico;
- Os custos de produção para cultivo em heterotrófico na fase de berçário apresentaram maior rentabilidade com a utilização da ração com menor teor proteico testado (35%);
- O cultivo heterotrófico possibilitou uma redução significativamente menor (10 x) do volume de água utilizado para obter a mesma biomassa em ambiente autotrófico.
- Estudos complementares que adicionem uma maior quantidade de substratos artificiais em ambas as fases do ciclo de vida e uma maior estabilidade da temperatura na fase de engorda, serão cruciais na determinação da real influência do sistema heterotrófico no cultivo desta espécie;
- A realização de análises econômicas e financeiras mais detalhadas poderão esclarecer a vantagem real da utilização do sistema heterotrófico.

Referências

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA. 2000.
- APHA/AAWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and waste water. 19ed. Washington: A.P.H.A. 1995.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, v. 264, n. 1-4, p. 140-147, 2007.
- AVNIMELECH, Y. *Biofloc Technology, a practical guide book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, EUA, 2009. 182p.
- AVNIMELECH, Y. *Biofloc Technology, A Practical Guide Book*, 2nd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA, 2012. 272p.
- BALLESTER, E. L. C.; MARZAROTTO, S. A.; CASTRO, C. S.; FROZZA, A.; PASTORE, I.; ABREU, P.C. Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Aquaculture Research*, v. 48, p. 4748-4755, 2017.
- BURFORD, M. A.; SMITH, D. M.; TABRET, S. J.; COMAN, F. E.; THOMPSON, P. J.; BARCLAY, M. C.; TOSCAS, P. J. The effect of dietary protein on the growth and survival of the shrimp, *Penaeus monodon* in outdoor tanks. *Aquaculture Nutrition*, v. 10(1), p. 15–23, 2004.
- CORREIA, E. S., WILKENFELD, J. S., MORRIS, T. C., WEI, L., PRANGNELL, D. I., SAMOCHA, T. M. 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. *Aquacultural Engineering*, v. 59, p. 48-54, 2014.
- CRAB, R., CHIELENS, B., WILLE, M., BOSSIER, P., VERSTRAETE, W. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, v. 41, n. 4, p. 559-567, 2010.
- DUTCOSKY, S. D. *Análise sensorial de alimentos*. Curitiba: Champagnat, 2007. 210p.
- EBELING, J. M., TIMMONS, M. B., BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture*, v. 257, p. 346–358, 2006.
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

FAO. 2017. Fisheries and Aquaculture Statistic. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. [<http://www.fao.org/fishery/statistics/en>]

GUILLAUME, J. Protein and amino acids. IN: D'ABRAMO, L.R. et al. Crustacean nutrition - Advances in world aquaculture 6. Baton Rouge, EUA: WAS, 1997. Cap.2, p.26-50.

GUPTA, A., SINGH, H. S., KAUR, G. S. Growth and carcass composition of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man), fed different isonitrogenous and isocaloric diets. Aquaculture Research, v. 38, p. 1355-1363, 2007.

HARGREAVES, J. A. Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center, v. 4503, p. 1-12, 2013.

KRUMMENAUER, D., SEIFERT JR., C. A., POERSCH, L. H., FOES, G. K., LARA, G. R., WASIELESKY JR., W. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise de reutilização da água. Atlântica, v. 34(2), p. 103-111, 2012.

LIU, L., HU, Z., DAI, X., AVNIMELECH, Y. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bio flocs in an integrated shrimp culture system. Aquaculture, 418–9:79– 86, 2014. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.10.005

LOBÃO, V. L. Camarão-da-malásia: cultivo. EMBRAPA – SPI, Brasília, 1996. 102 p.

MARQUES, H.L.A., M.B. NEW, M.V. BOOCK, H.P. BARROS, M. MALLASEN e W.C. VALENTI. Integrated freshwater prawn farming: State-of-the-art and future potential. Reviews in Fisheries Science and Aquaculture 24:264–293, 2016.

MARQUES, H.L.A., e MORAES-VALENTI, P.M.C. Current status and prospects of farming the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) and the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862) in Brazil. Aquaculture Research 43:984–992, 2012.

MCINTOSH, D., SAMOCHA, T.M., JONES, E.R., LAWRENCE, A.L., HOROWITZ, S., HOROWITZ, A. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. Aquacultural Engineering, v. 25, p. 69–82, 2001.

MOHANTHY, R. K. Impact of phased harvesting population structure, feed intake pattern and growth performance of *Macrobrachium rosenbergii* De Man (giant freshwater prawn) in polyculture with carps in concurrent rice-fish culture. Aquaculture International, v. 18, p. 523- 537, 2010.

- KARPLUS, I. e SAGI, A. 2010. The biology and management of size variation. Pages 316–345 in M.B. New, W.C. Valenti, J.H. Tidwell, L.R. D’Abramo, and M.N. Kutty, editors. *Freshwater prawns: Biology and farming*. Wiley Blackwell, Oxford, UK
- NISAR, U., PENG, D., MU, Y., SUN, Y. A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste: A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry. *Front. Nutr.* 8:791738, 2022. doi: 10.3389/fnut.2021.791738
- OUIJIFARD, A., SEYFABADI, J., KENARI, A.A., REZAEI, M. Growth and apparent digestibility of nutrients, fatty acids and amino acids in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with rice protein concentrate as total and partial replacement of fish meal. *Aquaculture*, v. 342- 343, p. 56–61, 2012.
- OLIVEIRA-FILHO, P. R. C, NETTO, F. M., RAMOS, K. K., TRINDADE, M. A., VIEGAS, E. M. I. Elaboration of sausage using minced fish of Nile tilapia filleting waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 53, p. 1383-1391, 2010.
- NEW, M. B. History and global status of freshwater prawn farming. In: NEW, M.B.; VALENTI, W.C. (Eds.), *Freshwater Prawn Culture: The Farming of *Macrobrachium rosenbergii**. Blackwell Science, Oxford, 2000, p. 1–11.
- NEW, M. B. Farming freshwater prawns: A manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *FAO Fisheries Technical Paper*, n. 428, Rome, 2002, 212 p.
- PÉREZ-FUENTES, J. A., PÉREZ-ROSTRO, C. I., HERNANDEZ-VERGARA, M. P. Pond reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system. *Aquaculture*, v. 400-401, p. 105-110, 2013.
- PILLAI, D., BONAMI, J. R. A review on the diseases of freshwater prawns with special focus on white tail disease of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Research* 43:1029–1037, 2012.
- PINHEIRO, M. A. A., HEBLING, N. J. *Biologia de *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)*. In: VALENTI, W. C. *Carcinicultura de água doce: Tecnologia para produção de camarões*, p. 21-46, 1998.
- SAMOCHA, T. M., PATNAIK, S., SPEED, M., ALI, A. M., BURGER, J.M., ALMEIDA, R.V., AYUB, Z., HARISANTO, M., HOROWITZ, A., BROCK, D. L. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, v. 36(2), p. 184-191, 2007.

SAMOCHA, T. M., PRANGNELL, D. I., HANSON, T. R., TREECE, G. D., MORRIS, T. C., CASTRO, L. F., STARESINIC, N. Design and Operation of Super Intensive, Biofloc Dominated Systems for Indoor Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* – The Texas A&M AgriLife Research Experience. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA, 2017. 368p.

SUANTIKA, G., TURENDRO, O. R., SITUMORANG, M. L. Use of Nitrifying Bacteria for Promoting Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) Nursery Phase in Indoor System. Journal of Fisheries & Livestock Production, v. 5 (2), p. 1-5, 2017.

TAVABE, K. R., RAFIEE, G., FRINSKO, M., DANIELS, H. Effects of different calcium and magnesium concentrations separately and in combination on *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) larviculture. Aquaculture, v.412–413, p. 160–166, 2013.

VALENTI, W.C. e FLICKINGER, D.L. 2020. Freshwater Caridean Culture. In: LOVRICH, G. & THIEL, M. (Org.). Fisheries and Aquaculture. 1ed.Oxford: Oxford University Press p. 207-231. (Volume IX in the series The Natural History of the Crustacea). ISBN: 9780190865627

YEH, S. P., SUNG, T. C., CHANG, C. C., CHENG, W., KUO, C. M. Effects of an organophosphorus insecticide, trichlorfon, on hematological parameters of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). Aquaculture, v. 243, p. 383-392, 2005.

ZIMMERMANN, S. Manejo de Alimentos e Alimentação dos Camarões. In: VALENTI, W. C. (Ed). Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para a Produção de Camarões. Brasília: IBAMA/FAPESP, 1998. cap. 12. p. 239-267.