



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANA CECÍLIA SILVESTRE MAGALHÃES

**CRESCIMENTO DO LAMBARI (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875) EM SISTEMA
DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)**

SERRA TALHADA - PE
2025

ANA CECÍLIA SILVESTRE MAGALHÃES

**CRESCIMENTO DO LAMBARI (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875) EM SISTEMA
DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada como
requisito parcial para obtenção do título
de Bióloga.

Orientador Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do
Nascimento.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Cleonice
Cristina Hilbig.

SERRA TALHADA - PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário: Israel Lacerda do Nascimento – CRB - 42317

M189c Magalhães, Ana Cecília Silvestre
Crescimento do lambari (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875) em
sistema de recirculação (RAS) e bioflocos (BFT) / Ana Cecília Silvestre
Magalhães. – Serra Talhada, 2025.
38 f. il.

Orientador (a): Nivaldo Ferreira do Nascimento.
Orientador (a): Cleonice Cristina Hilbig.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada -
UAST, Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, PE- BR,
2025.

Inclui referências.

1. Agricultura sustentável. 2. Peixes - Criação. 3. Água - Qualidade.
4. Zootecnia. 5. Lambari (Peixe). I. Nascimento, Nivaldo Ferreira do,
orient. II. Hilbig, Cleonice Cristina, orient. III Título.

CDD 570

ANA CECÍLIA SILVESTRE MAGALHÃES

**CRESCIMENTO DO LAMBARI (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875) EM SISTEMA
DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada como
requisito parcial para obtenção do título
de Bióloga.

Aprovado em: 08/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do Nascimento (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Samuel Liebel (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Sheyla Priscila Oliveria do Nascimento (Examinador Externo)
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Dedico esse trabalho a minha avó materna – Maria da Penha Rodrigues de Barros –, aos meus pais – Espedito de Oliveira Magalhães e Lúcia Maria Silvestre de Lima Magalhães – e ao meu irmão – Elton Silvestre Magalhães –, espero continuar orgulhando vocês sempre. Também dedico a minha avó paterna – Marina Inácio de Oliveira Magalhães (*in memoriam*) –, mesmo a senhora não estando mais aqui para comemorar junto da gente, espero estar te deixando feliz e orgulhosa de onde a senhora está.

Amo todos vocês e esse amor foi o que me deu forças para escrever.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por sempre me dar forças e me mostrar o caminho certo mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha família, por sempre me apoiar e me incentivar a continuar. Aos meus pais, por cuidarem de mim, por todos os conselhos que me ajudaram a me tornar quem sou e me fazerem ver que sou capaz de qualquer coisa que eu quiser. Às minhas madrinhas – Marlene Maria de Oliveira Magalhães e Lucimary Silvestre de Lima – que nunca mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do Nascimento, e coorientadora, Prof^a Dr^a. Cleonice Cristina Hilbig, pelas oportunidades e por todo apoio e paciência comigo durante todo esse tempo.

Ao Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NuBioR) da Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), por ter me aceito como membro da equipe e me auxiliado nesse percurso.

A todas as pessoas que tive a alegria de conhecer durante essa minha jornada, tanto dentro do curso – especialmente Ane Stéfany Pereira de Sá, Brenda Dias Diniz e Jaellen Nunes da Silva –, como fora dele – em particular Yasmine Santana de Souza Germino –, sem vocês a vida na universidade teria sido bem mais pesada e difícil.

Aos meus amigos que estiveram sempre comigo nos momentos bons e ruins, por terem me dado o suporte que eu precisava, sem vocês eu não teria conseguido continuar.

"Se você não gosta do seu destino, não o aceite. Em vez disso, tenha a coragem
para transformá-lo naquilo que você quer que ele seja."
Naruto Uzumaki, Naruto.

RESUMO

A aquicultura vem se consolidando como uma alternativa estratégica para a produção de alimentos de origem animal, especialmente em regiões com escassez hídrica, como o Semiárido brasileiro. Entre as espécies nativas com potencial para cultivo, destaca-se o lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), devido à sua rusticidade, fácil reprodução e aceitação comercial. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico e a qualidade da água no cultivo de *A. lacustris* em dois sistemas intensivos: o sistema de recirculação aquícola (RAS) e o sistema de bioflocos (BFT). O experimento foi conduzido por 60 dias, utilizando 1.040 peixes distribuídos em oito unidades experimentais (quatro para cada sistema). Foram monitorados parâmetros de crescimento, conversão alimentar, sobrevivência e qualidade da água (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, amônia, nitrito, nitrato, fosfato e dureza). Os resultados indicaram melhor desempenho zootécnico no RAS, com maior ganho de peso, biomassa final e conversão alimentar mais eficiente ($P < 0,05$). Ambos os sistemas apresentaram altas taxas de sobrevivência (>99%). No entanto, o BFT apresentou pH mais elevado e maiores concentrações de amônia, fatores que podem ter comprometido o crescimento dos peixes. Desta forma, conclui-se que o RAS é mais indicado para o cultivo intensivo de *A. lacustris* no Semiárido. Ainda assim, o BFT representa uma alternativa promissora por suas vantagens ambientais e nutricionais, sendo necessários estudos adicionais em ambos os sistemas, especialmente considerando as condições específicas do Semiárido e o uso de água subterrânea proveniente de poços artesianos, um contexto ainda pouco explorado na literatura científica.

Palavras-chave: Lambari-do-rabo-amarelo; Aquicultura sustentável; Sistemas intensivos; Desempenho zootécnico; Semiárido.

ABSTRACT

Aquaculture has been consolidating a strategic alternative for the production of animal-based food, especially in regions with limited water availability, such as the Brazilian semi-arid region. Among the native species with potential for cultivation, the yellowtail lambari (*Astyanax lacustris*) stands out due to its hardiness, ease of reproduction, and commercial acceptance. In this context, the present study aimed to evaluate the zootechnical performance and water quality in the cultivation of *A. lacustris* using two intensive systems: Recirculating Aquaculture System (RAS) and Biofloc Technology System (BFT). The experiment lasted 60 days and involved 1,040 fish distributed across eight experimental units (four per system). Growth, feed conversion, survival, and water quality parameters (temperature, dissolved oxygen, pH, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and hardness) were monitored. The results indicated superior zootechnical performance in the RAS, with greater weight gain, final biomass, and more efficient feed conversion ($p < 0.05$). Both systems showed high survival rates ($>99\%$). However, the BFT exhibited higher pH and ammonia concentrations, which may have affected fish growth. Therefore, it is concluded that RAS is more suitable for the intensive cultivation of *A. lacustris* in semi-arid regions. Nevertheless, BFT remains a promising alternative due to its environmental and nutritional advantages, highlighting the need for further studies on both systems, especially considering the specific conditions of the semi-arid region and the use of groundwater from artesian wells, a scenario still scarcely explored in the scientific literature.

Keywords: Yellow-tailed Lambari; Sustainable Aquaculture; Intensive Systems; Zootechnical Performance; Semi-arid Region.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplar adulto e taxonomia de lambari-do-rabo-amarelo / piaba (<i>Astyanax lacustris</i>)	18
Figura 2 – Vista da estufa experimental do NuBioR, as figuras mostram em destaque o local utilizado para realização do experimento.....	23
.	
Figura 3 – (A) Imagem dos tanques do sistema de bioflocos e do sistema de recirculação, respectivamente; (B e C) Filtros biológicos [FB] e decantadores [DEC] de ambos sistemas; (D e E) Caixas dos sistemas onde os peixes foram cultivados	24
Figura 4 – Instrumentos utilizados para aferir os parâmetros físico-químicos da água: (A) Tester de condutividade; (B) pHmetro; (C) Oxímetro; (D) Balança digital e paquímetro	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desempenho zootécnico de lambaris (<i>Astyanax lacustris</i>) cultivados em sistema de recirculação aquícola (RAS) e sistema de bioflocos (BFT).....	29
Tabela 2 – Valores físico-químicos da água nos sistemas de cultivo lambaris (<i>Astyanax lacustris</i>) cultivados em sistema de recirculação aquícola (RAS) e sistema de bioflocos (BFT).....	30
Tabela 3 – Valores de compostos nitrogenados, fosfato e dureza nos sistemas cultivo lambaris (<i>Astyanax lacustris</i>) cultivados em sistema de recirculação aquícola (RAS) e sistema de bioflocos (BFT).....	31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	<i>Lambari</i>	17
2.2.	<i>Sistema de recirculação aquícola (RAS)</i>	18
2.3.	<i>Sistema de Bioflocos (BFT)</i>	19
3.	OBJETIVOS	22
3.1.	<i>Objetivo geral</i>	22
3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	22
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1.	<i>Local do Experimento e instalações experimentais</i>	23
4.2.	<i>Desempenho zootécnico</i>	25
4.3.	<i>Monitoramento da qualidade de água</i>	26
4.4.	<i>Análise estatística</i>	27
5.	RESULTADOS	28
5.1.	<i>Desempenho zootécnico</i>	28
5.2.	<i>Parâmetros físico-químicos da água</i>	29
6.	DISCUSSÃO	32
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de organismos aquáticos, ou seja, animais cujo ciclo de vida natural ocorre totalmente ou parcialmente em meios aquáticos, consiste na aquicultura, podendo ser continental ou marinha (BRASIL, 2009). Esse método de produção de organismos aquáticos, ocorre em fazendas de produção das quais o meio de produção é a água e não a terra, como é comumente visto na agricultura. Essa atividade tem ganhado destaque como uma forma de geração de alimentos com mais rápido avanço nos últimos anos, sendo marcada por elevada rentabilidade e responsabilidade ambiental (INCAPER, 2024). Além dessas vantagens, a aquicultura também pode servir como uma solução visando compensar o aumento da busca por alimentos de alta qualidade, principalmente os provenientes de animais (LOVELL, 1991; MUIR e NUGENT, 1995; SOUZA, 2024).

Desde 1961, o consumo global per capita de pescado cresceu significativamente, passando de 9,1 kg para 20,7 kg em 2022, um aumento que ocorreu em um ritmo quase duas vezes mais rápido do que o crescimento populacional mundial (FAO, 2024). Esse cenário reforça a relevância da aquicultura, que, pela primeira vez na história, ultrapassou a pesca extrativa como principal fonte de pescado. Dos 130,9 milhões de toneladas produzidas, 94,4 milhões, ou seja, 51%, são provenientes da criação em cativeiro. Esse volume expressivo evidencia o papel estratégico da aquicultura no enfrentamento da insegurança alimentar e da desnutrição (FAO, 2024).

Segundo dados do IBGE (2021), a aquicultura no Brasil acompanha a mesma trajetória observada em nível global, com crescimento contínuo nos índices de produção ao longo dos anos. Em 2021, a criação de peixes destacou-se ao atingir 558,9 mil toneladas, o que representa um acréscimo de 0,92% em comparação ao ano anterior. A tilápia manteve sua liderança como a espécie mais cultivada na piscicultura nacional, com uma produção de 550.060 toneladas no último ano correspondendo ao volume de 63,93% do total de peixes cultivados no país e que representa um avanço de 3% em relação às 534.005 toneladas registradas em 2021 (SOUZA, 2024).

Apesar da tilápia, peixe nativo da África e Oriente Médio, estar fortemente incorporada na piscicultura nacional, o Brasil também possui diversas espécies nativas com alto potencial para produção em cativeiro, como por exemplo o

Astyanax lacustris popularmente conhecido como piaba ou lambari-do-rabo-amarelo. A demanda é tão crescente que, atualmente, existem pisciculturas que produzem exclusivamente essa espécie, a “lambaricultura” (SOUZA, 2024). A piaba tem se destacado na piscicultura nacional devido a características que facilitam sua criação, como o rápido crescimento, a reprodução simples, a facilidade de manejo, além do potencial de comercialização como petisco, isca viva para pesca esportiva e até mesmo para industrialização, como enlatados e conservas (YASUI et al., 2020). Dessa forma, apresenta-se como uma promissora alternativa para a diversificação da piscicultura brasileira.

Dessa forma, o uso de sistemas intensivos e sustentáveis é indispensável para garantir a produção aquícola de forma eficiente e responsável, especialmente em regiões com escassez de recursos hídricos, como o Semiárido nordestino. Nessa região, a falta de água afeta principalmente os pequenos produtores rurais, comprometendo a oferta de alimentos e a viabilidade produtiva (GUIMARÃES et al., 2016). Tecnologias como os Sistemas de Recirculação Aquícola (RAS) e a Tecnologia de Bioflocos (BFT) surgem como alternativas inovadoras para otimização dos recursos hídricos.

O RAS reutiliza a água por meio de filtros mecânicos e biológicos, promovendo sustentabilidade e biossegurança ao reduzir o desperdício minimizando os impactos ambientais (AHMED & TURCHINI, 2021). Já o BFT possibilita a conversão de compostos nitrogenados, como a amônia, em biomassa bacteriana, que pode ser aproveitada como alimento complementar para os organismos cultivados (EL-SAYED, 2021). Esses sistemas não apenas minimizam a necessidade de trocas de água, como também aumentam a produtividade, reduzem os custos com alimentação e contribuem para a saúde e crescimento dos peixes.

Neste cenário, compreender como se dá o crescimento da piaba (*A. lacustris*) em sistemas RAS e BFT é fundamental para otimizar o uso de recursos hídricos e garantir o sucesso da produção. Os sistemas controlados oferecem vantagens ao influenciar diretamente no crescimento desses indivíduos. Avaliar os impactos desses sistemas permite identificar suas vantagens e limitações, fornecendo subsídios para o aprimoramento tecnológico e o manejo sustentável. Esse conhecimento é ainda mais relevante para regiões como o Semiárido, onde a

escassez de água exige soluções eficientes e inovadoras para viabilizar a aquicultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Lambari

O gênero *Astyanax*, pertencente à ordem Characiformes, reúne cerca de cem espécies amplamente distribuídas, destacando-se pelo alto potencial para a aquicultura. São espécies nativas, de rápido crescimento e pequeno porte, que se adaptam com facilidade a dietas formuladas e apresentam excelente desempenho em sistemas de cultivo intensivo, podendo atingir produtividades de até 100 toneladas por hectare ao ano. Popularmente chamados de “lambari” ou “piaba”, esses peixes de pequeno porte são encontrados em rios, lagos, córregos e bacias hidrográficas do continente americano (JATOBÁ & SILVA, 2015; PORTO-FORESTI et al., 2001; GARUTTI, 2003).

Anteriormente identificada como *Astyanax altiparanae*, a espécie passou a ser denominada *A. lacustris* após uma reavaliação taxonômica (SOUZA, 2024). É uma espécie de pequeno porte, que tem ganhado crescente importância na aquicultura brasileira. É amplamente utilizado em estudos científicos por apresentar alta taxa de crescimento, reprodução facilitada e maturação sexual precoce (quatro meses). Do ponto de vista econômico, destaca-se pelo seu valor comercial, sendo bastante consumido como petisco e também utilizado como isca viva. Nessa espécie, as fêmeas tendem a crescer mais que os machos, o que favorece sua criação em larga escala (GARUTTI, 2003). Os machos podem alcançar o comprimento total de até 9 cm, enquanto as fêmeas podem chegar a medir até 12 cm, pesando em média até 60 g. Seu cultivo tem se popularizado em função de seu bom desempenho zootécnico, seu uso no desenvolvimento em dietas balanceadas e pela facilidade em seu manejo reprodutivo (SOUZA, 2024; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; PORTO-FORESTI et al., 2001).

Consiste em um peixe onívoro e detritívoro, cuja dieta é variada incluindo vegetação aquática, ovócitos, escamas, sementes, frutos, outros peixes e insetos terrestres. Também é capaz de alimentar-se de detritos e sedimentos, constatando sua adaptabilidade alimentar (SOUZA, 2024; ADRIAN et al., 2006). A espécie *Astyanax lacustris* (Figura 1) possui ampla distribuição no Brasil, sendo encontrada em diferentes tipos de ecossistemas aquáticos, como represas, lagos, córregos e rios, inclusive em regiões urbanizadas (BELISKI, 2019; LIMA et al., 2007;

BAUMGARTNER et al., 2006). Além de seu uso promissor na aquicultura, essa espécie também tem sido reconhecida como um organismo modelo em diversas áreas de pesquisa, como biologia, genética e toxicologia (SILVA JUNIOR, 2019; BOREM, 2006; MAGALHÃES, 2008).

Figura 1 – Exemplar adulto e taxonomia de lambari-do-rabo-amarelo / piaba (*Astyanax lacustris*).



FILO - Chordata

CLASSE - Actinopterygii

ORDEM - Characiformes

FAMÍLIA - Characidae

GÊNERO - *Astyanax*

ESPÉCIE - *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875)

Fonte: Autora.

2.2. Sistema de recirculação aquícola (RAS)

É possível classificar os sistemas de cultivo utilizando vários critérios, como por exemplo o tratamento de dejetos e a circulação da água (sistemas fechados com recirculação, semifechados com circulação parcial, e abertos sem circulação), o fluxo de água (corrente ou lótico, parado com fluxo forçado, e parado ou lântico), a localização do sistema (natural externo, artificial externo ou interno), a biodiversidade (se é um monocultivo ou um policultivo), o tipo de alimentação ofertada (natural, suplementar ou completa), entre outros (REZENDE, 2021).

Os sistemas de recirculação aquícola (RAS) foram desenvolvidos com o objetivo de serem um meio mais sustentável dentro da aquicultura, visto que os métodos tradicionais exigiam um uso intensivo de terra e recursos naturais, além do que eram utilizados produtos químicos, aditivos e antibióticos na ração e na água

dos peixes, aumentando a poluição hídrica e a degradação do ecossistema, trazendo riscos à saúde, tanto para os organismos aquáticos, como para os seres humanos (ROY et al., 2025). Esse tipo de sistema permite que a água utilizada seja continuamente tratada e recirculada, removendo a amônia e outros resíduos acumulados antes de ser devolvida aos tanques de criação, economizando até 99% da água em comparação com os demais métodos convencionais de cultivo. Esse reaproveitamento só é possível porque a água passa por processos de tratamento que podem ser físicos, químicos, mecânicos ou biológicos. Dessa forma é possível eliminar resíduos sólidos, converter a amônia e nitrito em nitrato, bem como regular o pH, controlar a incidência de patógenos, remover o CO₂ e oxigenar a água, isso sem a necessidade de utilização de produtos químicos (ZHU et al., 2024; MAYORMENTE, 2024; RAMLI et al., 2020; LIMA, 2022; YOGEV & GROSS, 2019; ZHOU et al., 2017; HU et al., 2011).

O uso do RAS também favorece melhor desenvolvimento e rendimento dos peixes, pois possibilita um controle mais definido das condições ambientais, diminuindo as taxas de mortalidade aumentando os índices de desenvolvimento. (SOUZA, 2024; ZHANG et al., 2011; GALLEGU-ALARCÓN et al., 2019). Por ser uma alternativa sustentável dentro da aquicultura, é preciso que sejam feitos mais estudos nessa área para que questões como o alto custo de implementação e complexidade da tecnologia utilizada sejam solucionadas, tornando o uso mais acessível.

2.3. Sistema de Bioflocos (BFT)

A tecnologia dos sistemas de bioflocos (BFT) está sendo cada vez mais estudada e vem se tornando um sistema promissor na aquicultura, por permitir a criação de organismos aquáticos em locais com pouco espaço e pouca disponibilidade de água, também pode possibilitar a diminuição da dependência em recursos, como ração (OGELLO, et al., 2021; BROL et al., 2017). O BFT consiste em uma tecnologia ambiental sustentável que utiliza a relação carbono:nitrogênio (C:N) para realizar a conversão dos resíduos nitrogenados na água, isso ocorre em ambiente com constante aeração e movimentação, ocasionando no crescimento de amontoados de microrganismos específicos, principalmente de comunidades bacterianas heterotróficas e nitrificantes (DAVID, et al., 2021; HARGREAVES, 2006;

CRAB et al., 2012; DE SCHRYVER, et al., 2008). A Proporção de C:N desejada é alcançada com a adição de uma fonte suplementar de carbono externa (íons de carbonato e bicarbonato), para isso é possível utilizar dois métodos: BFT *in situ*, o qual essa introdução é feita diretamente no tanque de cultivo; e BTF *ex situ*, o qual a introdução e produção dos bioflocos é feita em tanques/reatores para serem adicionados aos tanques de cultivo em seguida (EMERENCIANO et al., 2017). As bactérias, juntamente com os demais microrganismos (zooplânctônicos, fitoplânctônicos, oligoquetos e nematóides, etc) formam uma rica comunidade dentro desses sistemas, tornando-se uma fonte de alimentos muito nutritiva, principalmente se produzido *in situ*, pois, dessa forma, o alimento fica disponível 24h para os peixes cultivados (GUAÍUME, 2022; PINHO et al., 2017; EMERENCIANO et al., 2013).

Durante o processo de desenvolvimento das bactérias ocorre um consumo de alcalinidade, em função do uso dos íons, isso acaba por influenciar diretamente no pH da água, sendo a faixa ideal para o crescimento das comunidades das bactérias nitrificantes entre 7 e 9. Além do pH, a temperatura e oxigênio também influenciam nesse desenvolvimento, tanto dos animais cultivados, como no dos microrganismos. A faixa ótima de temperatura para as bactérias é entre 15°C e 32°C e para oxigênio dissolvido a faixa ótima fica entre 6 e 8 mg/L (LIMA, 2022; CHEN et al., 2006; EBELING et al., 2006; BURFORD, 2003; CERVANTES-CARRILLO et al., 2000).

O uso dos BFTs tem se mostrado uma alternativa vantajosa em áreas com disponibilidade limitada de água, sendo considerada uma alternativa eficiente para esses contextos. Um de seus benefícios é a redução de até 30% nos gastos relacionados ao tratamento hídrico. Além disso, favorece a formação de flocos (partículas ricas em proteínas) que podem ser aproveitados no processo de alimentação dos organismos cultivados, contribuindo significativamente no desempenho nutricional. A melhoria na digestibilidade das proteínas da dieta está se tornando uma preocupação cada vez mais relevante no setor aquícola, uma vez que atualmente estima-se que cerca de 75% do nitrogênio fornecido na alimentação não é absorvido pelos organismos e acaba sendo liberado na água, promovendo a sua contaminação (DE SCHRYVER et al., 2008; BOSSIER, et al., 2017; LUO, et al., 2020).

Considerando seu potencial para a conservação do meio ambiente e suas qualidades técnicas relevantes para o avanço contínuo da produção de peixes, o

BFT se destaca como uma alternativa promissora. No entanto, é necessário que mais pesquisas sejam desenvolvidas, a fim de garantir sua eficácia não apenas na fase de engorda dos peixes, mas também na manutenção de animais reprodutores.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo geral:*

Avaliar os efeitos dos sistemas de Recirculação Aquícola (RAS) e de Bioflocos (BFT) sobre o desempenho zootécnico e a qualidade da água no cultivo de *Astyanax lacustris*.

3.2. *Objetivos específicos:*

- Comparar o crescimento (peso e comprimento) de *Astyanax lacustris* cultivados nos sistemas RAS e BFT.
- Avaliar a conversão alimentar aparente (CAA) e a taxa de sobrevivência em ambos os sistemas de cultivo.
- Monitorar os principais parâmetros de qualidade da água (oxigênio dissolvido, temperatura, pH, amônia, nitrito e nitrato) em RAS e BFT.
- Avaliar a relação entre a qualidade da água e o desempenho zootécnico dos peixes ao longo do cultivo experimental.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local do Experimento e instalações experimentais

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), na estufa experimental e no Laboratório Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NuBioR), localizado nas coordenadas 07°59'31" e 38°17'54" (Figura 2). Todos os procedimentos envolvendo animais foram previamente submetidos e aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob o Protocolo nº 5765091123.

Figura 2 – Vista da estufa experimental do NuBioR, as figuras mostram em destaque o local utilizado para realização do experimento.

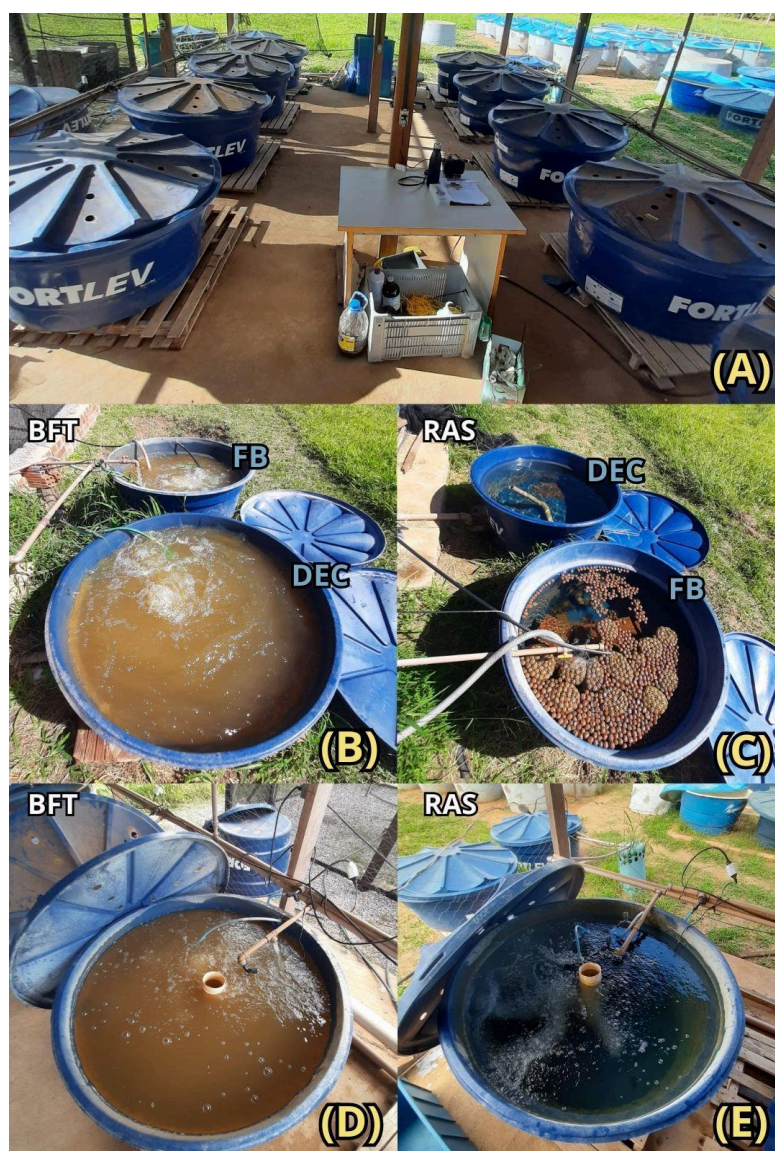


Fonte: Autora.

Foram utilizados 1040 peixes da espécie *Astyanax lacustris* de ambos os sexos, coletados por meio de armadilhas artesanais e tarrafa com malha de 12 mm do açude do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), situado próximo a universidade. Os peixes foram distribuídos em dois sistemas de produção: Bioflocos (BFT) e Sistema de Recirculação Aquícola (RAS). Cada sistema possuía quatro caixas de 500 litros para manutenção dos peixes, um filtro biológico e um decantador (figura 3), contendo recirculação independente de água, sistema de aquecimento e aeração constante por meio de sopradores e difusores de ar. A água

utilizada foi proveniente do canal de suprimento da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, oriunda do lençol freático (subterrânea), de poço artesiano. Para o sistema BFT foi inoculado previamente uma fonte de carbono orgânico (melaço de cana), a fim de estabelecer a comunidade microbiana responsável pela formação dos flocos biológicos. A relação Carbono:Nitrogênio (C:N) foi mantida próxima de 15:1, conforme recomendações de El-Sayed, 2021.

Figura 3 – (A) Tanques do sistema de bioflocos (BFT), a esquerda, e do sistema de recirculação (RAS), a direita; (B e C) Filtros biológicos [FB] e decantadores [DEC] de ambos sistemas; (D e E) Caixas dos sistemas onde os peixes foram cultivados.



Fonte: Autora.

Cento e trinta (130) lambaris foram alocados em cada caixa, perfazendo uma densidade de 0,26 peixes/litro. Os peixes foram mantidos por 60 dias (15 de maio a 11 de julho de 2025).

O arraçoamento dos peixes foi realizado duas vezes ao dia, pela manhã e à tarde, com ração comercial extrusada contendo 32% de proteína bruta e granulometria de 1 mm, sendo fornecida até a saciedade aparente. Para estimar o consumo diário de ração por unidade experimental, a ração era pesada antes e após a alimentação.

4.2. Desempenho zootécnico

Para mensurar o comprimento padrão inicial (cm) e o peso médio inicial (g) foram selecionados aleatoriamente 50 peixes de cada unidade experimental. As biometrias foram realizadas quinzenalmente, em cada avaliação, foram coletados 50 peixes por caixa com auxílio de um puçá e rede de arrasto, sendo aferidos o peso corporal (g) e o comprimento padrão (cm), utilizando balança de precisão e um ictiômetro. Antes de serem determinados esses valores os peixes foram colocados caixas menores (50 L) contendo água do próprio sistema, em seguida, os peixes foram submetidos aos poucos a uma solução de água com óleo de cravo, utilizado como anestésico, o que assegurou o bem-estar dos animais e reduziu a ocorrência de movimentos bruscos durante o procedimento. Após a indução anestésica foram realizados os processos de mensuração dos indivíduos. Concluídas as medições, os peixes foram colocados em outro recipiente de 50 L com água do sistema para a recuperação do efeito anestésico, e para evitar que se misturassem com os demais animais da unidade, confundindo a coleta. Finalizada a biometria de cada caixa, os peixes foram devolvidos gradualmente ao sistema de origem, de modo a minimizar o estresse.

A taxa de sobrevivência foi determinada verificada contabilizando-se as mortalidades ocorridas ao longo do tempo. Com base nos dados obtidos, foram calculados os seguintes parâmetros de desempenho produtivo:

- Biomassa inicial= Peso médio inicial x número de peixes
- Biomassa final = Peso médio final x número de peixes

- Ganho em peso: Biomassa final – Biomassa inicial
- Ganho de peso médio diário (GPMD) = Ganho em peso/tempo de cultivo
- Conversão alimentar aparente (CAA) = Consumo de ração/Ganho em peso
- Sobrevivência = (Número de peixes final/número de peixes inicial) *100.

4.3 Monitoramento da qualidade de água

Ao longo do experimento, a qualidade da água foi analisada em todas as caixas. As aferições foram realizadas duas vezes ao dia (manhã e à tarde). Foram registrados os seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura (°C), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e oxigênio dissolvido (ppm) com auxílio de um oxímetro digital HI9146 (HANNA®), além do potencial hidrogeniônico (pH), mensurado com um pHmetro digital pHep®+ (HANNA®) (figura 4).

Figura 4 – Instrumentos utilizados para aferir os parâmetros físico-químicos da água:
(A) Tester de condutividade; (B) pHmetro; (C) Oxímetro; (D) Balança digital e
paquímetro.



Fontes: (A e B) HANNA® instruments; (C e D) Autora.

Semanalmente, foram analisadas as concentrações de amônia total ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+/\text{L}$), nitrito (NO_2^-/L), nitrato (NO_3^-/L), fosfato ($\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$) e dureza (CaCO_3/L) por meio de kits colorimétricos da marca Labcon®.

4.4. Análise estatística

Os dados são apresentados como média $\pm$ erro padrão. Previamente, a normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e, em seguida, aplicado o teste t de Student com nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram conduzidas no software Statistica® (StatSoft Inc., versão 10).

5. RESULTADOS

5.1. Desempenho zootécnico

Os parâmetros de desempenho zootécnico estão descritos na Tabela 1. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para os valores iniciais de comprimento padrão, peso médio e biomassa dos peixes, indicando homogeneidade inicial dos lotes experimentais ($P > 0,05$).

Ao final do experimento, os peixes mantidos no sistema RAS apresentaram desempenho superior em comparação ao sistema BFT. O comprimento final ($5,44 \pm 0,30$ cm) e o peso final ($4,98 \pm 0,44$ g) dos peixes no RAS foram significativamente maiores do que os observados no BFT ($4,93 \pm 0,12$ cm e $3,86 \pm 0,18$ g, respectivamente). Consequentemente, a biomassa final também foi superior no RAS ($627,27 \pm 56,92$ g) em relação ao BFT ($479,44 \pm 28,72$ g; $P = 0,0035$).

O ganho em peso total e diário foi significativamente maior nos peixes do RAS ($306,49 \pm 78,14$ g e $5,10 \pm 1,30$ g/dia, respectivamente) em comparação ao BFT ($177,32 \pm 27,10$ g e $2,95 \pm 0,45$ g/dia; $P = 0,0205$). A conversão alimentar aparente também diferiu entre os tratamentos, sendo mais eficiente no sistema RAS ($1,95 \pm 0,53$) do que no BFT ($2,93 \pm 0,50$; $P = 0,0367$).

Em contrapartida, o consumo total de ração e a taxa de sobrevivência não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas ($P > 0,05$), com altas taxas de sobrevivência registradas em ambos os tratamentos (acima de 99%).

Tabela 1 – Desempenho zootécnico de lambaris (*Astyanax lacustris*) cultivados em sistema de recirculação aquícola (RAS) e sistema de bioflocos (BFT).

Parâmetros*	Sistema RAS	Sistema BFT	Valor de <i>P</i>
Comprimento inicial (cm)	4,67 ± 0,15	4,69 ± 0,03	0,8358
Peso inicial (g)	2,46 ± 0,31	2,32 ± 0,02	0,3911
Biomassa inicial (g)	320,77 ± 40,24	302,12 ± 3,30	0,3911
Comprimento final (cm)	5,44 ± 0,30 ^a	4,93 ± 0,12 ^b	0,0207
Peso final (g)	4,98 ± 0,44 ^a	3,86 ± 0,18 ^b	0,0033
Biomassa final (g)	627,27 ± 56,92 ^a	479,44 ± 28,72 ^b	0,0035
Consumo de ração (g)	568,47 ± 24,99	511,75 ± 55,26	0,1106
Ganho em peso (g)	306,49 ± 78,14 ^a	177,32 ± 27,10 ^b	0,0205
Ganho em peso diário (g)	5,10 ± 1,30 ^a	2,95 ± 0,45 ^b	0,0205
Conversão alimentar aparente (g/g)	1,95 ± 0,53 ^b	2,93 ± 0,50 ^a	0,0367
Sobrevivência (%)	99,80 ± 0,38	99,42 ± 0,73	0,3902

*Valores seguidos por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* de Student ($P < 0,05$).

5.2. Parâmetros físico-químicos da água

As análises dos parâmetros físico-químicos da água nos diferentes sistemas de cultivo (RAS e BFT) estão apresentados na Tabela 2. As principais diferenças observadas entre os sistemas estão associadas à temperatura e ao pH da água.

A temperatura foi significativamente menor no sistema de bioflocos (BFT) em comparação ao sistema de recirculação aquícola (RAS), tanto no período da manhã ($24,76 \pm 0,29$ °C no BFT vs. $25,64 \pm 0,46$ °C no RAS; $P = 0,0186$) quanto no período da tarde ($26,71 \pm 0,34$ °C no BFT vs. $27,16 \pm 0,03$ °C no RAS; $P = 0,0435$).

Tabela 2 – Valores físico-químicos da água nos sistemas de cultivo dos lambaris (*Astyanax lacustris*) em sistema de recirculação aquícola (RAS) de bioflocos (BFT).

Sistema	Temperatura (°C)	OD (mg/l)	pH	Condutividade (mS/cm)
RAS Manhã	25,64 ± 0,46 ^a	7,33 ± 0,03 ^b	8,05 ± 0,002 ^b	2,20 ± 0,004
BFT Manhã	24,76 ± 0,29 ^b	7,5 ± 0,02 ^a	8,35 ± 0,03 ^a	2,18 ± 0,03
<i>Valor de P</i>	0,0186	0,0001	0,0001	0,1736
RAS Tarde	27,16 ± 0,03 ^a	7,23 ± 0,01	8,04 ± 0,003 ^b	2,19 ± 0,00
BFT Tarde	26,71 ± 0,34 ^b	7,21 ± 0,12	8,27 ± 0,01 ^a	2,18 ± 0,03
<i>Valor de P</i>	0,0435	0,6765	0,0001	0,7369

Letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) pelo teste t.

O pH também apresentou valores significativamente mais elevados no sistema BFT em ambos os períodos do dia. Pela manhã, o pH foi de $8,35 \pm 0,03$ no BFT e $8,05 \pm 0,002$ no RAS ($P = 0,0001$), e à tarde, $8,27 \pm 0,01$ no BFT em comparação com RAS tendo $8,04 \pm 0,003$ ($P = 0,0001$).

Em relação ao oxigênio dissolvido (OD), embora os valores tenham sido estatisticamente diferentes no período da manhã ($P = 0,0001$), com o BFT apresentando valores ligeiramente superiores ($7,5 \pm 0,02$ mg/L) em comparação ao RAS ($7,33 \pm 0,03$ mg/L), essa diferença não se manteve no período da tarde ($P = 0,6765$), onde os valores foram semelhantes entre os sistemas.

A condutividade elétrica da água não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os sistemas em nenhum dos períodos avaliados ($P > 0,05$), indicando que a salinidade e a concentração de íons dissolvidos se mantiveram estáveis e semelhantes nos dois sistemas.

Os níveis de compostos nitrogenados, fosfato e dureza da água nos dois sistemas de cultivo (RAS e BFT) estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que houve diferenças estatisticamente significativas para os parâmetros amônia, nitrato e dureza, enquanto os valores de nitrito e fosfato permaneceram semelhantes entre os sistemas.

Tabela 3 – Valores de compostos nitrogenados, fosfato e dureza nos sistemas cultivo dos lambaris (*Astyanax lacustris*) em sistema de recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT).

Parâmetros*	Sistema RAS	Sistema BFT	Valor de <i>P</i>
Amônia (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	0,18 ± 0,02 ^b	0,26 ± 0,02 ^a	0,0017
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,9710
Nitrato (NO ₃ ⁻)	27,58 ± 0,87 ^a	13,55 ± 1,86 ^b	0,0001
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	7,62 ± 0,04	7,44 ± 0,33	0,3233
Dureza (CaCO ₃)	82,82 ± 10,13 ^b	150,22 ± 1,93 ^a	0,0001

*Letras diferentes na mesma linha são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) pelo teste t.

A concentração de amônia (NH₃/NH₄⁺) foi significativamente maior no sistema BFT (0,26 ± 0,02 mg/L) em comparação ao RAS (0,18 ± 0,02 mg/L; $P = 0,0017$). Enquanto que para o nitrato (NO₃⁻), foi identificado um padrão inverso: o sistema RAS apresentou concentrações significativamente mais altas (27,58 ± 0,87 mg/L) do que o BFT (13,55 ± 1,86 mg/L; $P = 0,0001$).

Não foram observadas diferenças significativas na concentração de nitrito (NO₂⁻) entre os sistemas ($P = 0,9710$), o que sugere que ambos os manejos foram eficazes em evitar o acúmulo deste composto. Para as concentrações de fosfato (PO₄³⁻), os níveis também foram semelhantes entre os sistemas ($P = 0,3233$), indicando equilíbrio na dinâmica de fósforo, possivelmente pela assimilação microbiana ou precipitação química nos dois ambientes.

A dureza da água, por sua vez, foi significativamente maior no sistema BFT (150,22 ± 1,93 mg/L de CaCO₃) em comparação ao RAS (82,82 ± 10,13 mg/L; $P = 0,0001$).

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo indicam um desempenho zootécnico superior dos lambaris (*Astyanax lacustris*) cultivados no sistema de recirculação aquícola (RAS) em comparação ao sistema de bioflocos (BFT). Os peixes mantidos no RAS apresentaram maiores ganhos em peso e comprimento, além de uma conversão alimentar mais eficiente, sugerindo que as condições físico-químicas e microbiológicas desse sistema favoreceram o crescimento dos animais.

Embora o BFT seja amplamente reconhecido por seus benefícios na aquicultura intensiva, como a redução da renovação de água, melhoria da imunidade e da reprodução dos peixes, além do aproveitamento dos bioflocos como fonte proteica complementar (AZIM et al., 2008; EMERENCIANO et al., 2017; LONG et al., 2015), seu desempenho depende fortemente de uma série de fatores críticos. Entre eles, destacam-se a qualidade e proporção da fonte de carbono, o controle dos sólidos suspensos, a estabilidade da comunidade microbiana e o manejo adequado dos parâmetros de qualidade da água (MATISHOV et al., 2025). Dessa forma, variações no controle dessas variáveis podem influenciar significativamente no desempenho do sistema, como evidenciado nos resultados deste estudo.

Apesar de as temperaturas registradas em ambos os sistemas permanecerem dentro ou próximas da faixa ideal para o crescimento da espécie (25-28 °C), conforme reportado por Yasui et al. (2020), o sistema BFT apresentou médias inferiores, especialmente no período da manhã. No entanto, essa diferença, por si só, dificilmente explica o menor crescimento observado, sobretudo porque o oxigênio dissolvido permaneceu em níveis elevados em ambos os sistemas (>7 mg/L), o que garante boas condições metabólicas para a espécie, visto que o nível ideal é de >5mg/L.

Um fator que pode ter contribuído para o menor desempenho dos peixes no BFT foi o pH mais elevado, associado às concentrações significativamente maiores de amônia (0,26 mg/L). Embora esses valores não ultrapassem os limites letais para *A. lacustris* (1 mg/L, segundo Yasui et al., 2020), sabe-se que o aumento do pH desloca o equilíbrio químico da amônia para sua forma não ionizada (NH₃), que é

altamente tóxica e afeta diretamente o crescimento e a eficiência alimentar dos peixes (KUBITZA, 2003). Assim, a interação entre pH elevado e níveis mais altos de amônia pode ter comprometido o desempenho zootécnico no BFT.

Em relação aos compostos nitrogenados, o nitrito manteve-se em concentrações baixas e semelhantes entre os sistemas, provavelmente devido à atividade eficiente de bactérias nitrificantes, tanto nos bioflocos quanto nos filtros biológicos do RAS (EMERENCIANO et al., 2017). O nitrato, por sua vez, apresentou concentrações significativamente mais altas no RAS, indicando maior eficiência na conversão do nitrito e possível acúmulo, mas sem efeitos adversos conhecidos para a espécie nas concentrações observadas.

Outro fator relevante foi a dureza da água, que foi significativamente mais elevada no BFT (150,22 mg/L de CaCO_3), valor considerado bastante alto. Esse parâmetro, embora não afete diretamente o crescimento, atua como um importante agente tamponante, dificultando a redução do pH em águas naturalmente alcalinas, como as provenientes de poços artesianos. Essa dureza elevada pode ter contribuído para a manutenção de pH acima da faixa recomendada para o BFT (6,8 a 8,0), segundo Emerenciano et al. (2017), limitando o controle adequado do sistema.

Embora o consumo total de ração e as taxas de sobrevivência tenham sido estatisticamente semelhantes entre os tratamentos, com valores de sobrevivência acima de 99% em ambos os sistemas, a eficiência na conversão alimentar foi significativamente melhor no RAS. Isso reforça a ideia de que, mesmo com elevada sobrevivência, o ambiente de cultivo influencia diretamente a taxa de crescimento e o aproveitamento dos nutrientes fornecidos.

Em síntese, o sistema RAS apresentou desempenho superior nas condições avaliadas, configurando-se como uma tecnologia recomendada para a produção intensiva de *Astyanax lacustris* em regiões com restrição hídrica, como o Semiárido. No entanto, o BFT representa uma alternativa sustentável com potencial de desenvolvimento e não deve ser descartado. Trata-se de um sistema ainda pouco explorado em contextos específicos, como o Semiárido brasileiro e o uso de água

proveniente de poços artesianos, o que reforça a necessidade de estudos complementares para sua adaptação e otimização.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o sistema de recirculação aquícola (RAS) proporcionou melhor desempenho zootécnico para o cultivo de *Astyanax lacustris*, com maiores ganhos em biomassa, conversão alimentar mais eficiente e manutenção de parâmetros de qualidade da água mais adequados. Dessa forma, o RAS se mostra como uma tecnologia recomendada para a produção intensiva da espécie em regiões com disponibilidade hídrica limitada, como o Semiárido brasileiro.

Embora o sistema de bioflocos (BFT) tenha apresentado desempenho inferior nas condições avaliadas, ele continua sendo uma alternativa promissora para a aquicultura sustentável. Além disso, o BFT ainda é pouco explorado em contextos específicos, como o Semiárido brasileiro e o uso de águas subterrâneas provenientes de poços artesianos, o que reforça a importância de novas investigações. Estudos futuros devem considerar não apenas variáveis zootécnicas, mas também aspectos fisiológicos, imunológicos, reprodutivos e microbiológicos, a fim de explorar todo o potencial desse sistema e viabilizar sua adaptação às realidades regionais de forma eficiente e sustentável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMORAD, E. G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambari-do-rabo-amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 37, p. 31-38. 2011.
- AHMED, N.; TURCHINI, G. M. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. **Journal of Cleaner Production**, 297. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- ANDRIAN, I. F.; PERETTI, D.; LAMBRECHT, D. Recursos alimentares explorados por *Astyanax* (Characiformes, Characidae) em diferentes bacias hidrográficas. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 2, p. 1-9, 2006
- AZIM, M. E.; LITTLE, D. C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 283, p. 29-35, 2008.
- BAUMGARTNER, D. et al. Fish, Salto Osório Reservoir, Iguaçu River basin, Paraná State, Brazil. **Check List**, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2006.
- BELISKI, I. L. **Criação de juvenis de lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*) em sistemas de bioflocos e sistemas de recirculação de água em diferentes densidades de estocagem**. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 27p. 2019.
- BOREM, A. Marcadores moleculares. **UFV**. 2006.
- BOSSIER, P.; EKASARI, J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. **Microbial Biotechnology**. 2017, 10, 1012–1016.
- BRASIL. Lei no 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun. 2009. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11959.htm>. Acesso em: 17 de jul. de 2025.
- BROL, J.; PINHO, S. M.; SGNAULIN, T.; PEREIRA, K. D. R.; THOMAS, M. C.; DE MELLO, G. L.; Miranda-Baeza, A.; EMERENCIANO, M. G. C. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. **Archivos de zootecnia**, 2017. 66(254), 229-235.
- BURFORD, M. A.; THOMPSON, P. J.; MCINTOSH, R. P.; BAUMAN, R. H; PEARSON, D. C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 219, p. 393–411, 2003.

CERVANTES-CARRILLO, F.; PÉREZ, J.; GÓMEZ, J. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. **Revista Latinoamericana de Microbiología**, Mexico City, v. 42, p. 73–82, 2000.

CHEN, S., LING, J., & BLANCHETON, J.-P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, v. 34, p. 179–197, 2006.

CRAB, R., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P., VERSTRAETE, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture** 356–357:351–356.

DAVID, L. H.; PINHO, S. M.; KEESMAN, K. J.; GARCIA, F. Assessing the sustainability of tilapia farming in biofloc-based culture using emergy synthesis. **Ecological indicators** 2021, 131, 108186.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**. 2008, 277, 125–137.

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

EL-SAYED, A. F. M. Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. **Reviews in Aquaculture**, 13: 676–705. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/raq.12494>>. Acesso em: 17 jul. 2025.

EMERENCIANO, M. G. C.; CÓRDOVA, L. R.; PORCHAS, M.; BAEZA, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In: Water Quality. **InTech**. p. 91–109.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. (2013). Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. **Biomass Now - Cultivation and Utilization**, p. 301–328.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. O estado mundial da pesca e aquicultura 2024: cumprir os objetivos de desenvolvimento sustentável. 2024.

GALLEGO-ALARCÓN, I.; FONSECA, C. R.; GARCÍA-PULIDO, D.; DÍAZ-DELGADO, C. Proposal and assessment of an aquaculture recirculation system for trout fed with harvested rainwater. **Aquacultural Engineering**, v. 87, p. 102021, 2019.

GARUTTI, V. Piscicultura ecológica. São Paulo: **Editora UNESP**, 2003. 330 p.

GUAIUME, G. C. **Uso de bioflocos como alimento suplementar para larvas de lambari (*Astyanax lacustris*)**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso para

graduação) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Bacharelado em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (Unesp). Jaboticabal, São Paulo, p. 6-8. 2022.

GUIMARÃES, I. P.; DE OLIVEIRA, F. DE A.; TORRES, S. B.; PEREIRA, F. E. C. B.; DE FRANÇA, F. D.; & DE OLIVEIRA, M. K. T. Use of fish-farming wastewater in lettuce cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2016. 20: 728–733. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p728-733>>. Acesso em: 17 jul. 2025.

HARGREAVES, J. A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, 2006, 34, 344–363.

HU, Y.; NI, Q.; WU, Y.; ZHANG, Y.; GUAN, C. Study on CO₂ removal method in recirculating aquaculture waters. **Procedia Engineering**, 2011, 15, 4780–4789.

IBGE. IBGE divulga os números da produção aquícola em 2021. Panorama da Aquicultura, 2024. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/ibge-divulga-a-producao-aquicola-em-2022/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Aquicultura. **Incaper em Revista**. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/aquicultura>. Acesso em: 17 jul. 2025.

JATOBÁ, A.; SILVA, B. C. Densidade de estocagem na produção de juvenis de duas espécies de lambaris em sistema de recirculação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, p. 1469–1474, 2015.

KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. **Editora Kubitza**. Jundiaí, SP. p.208, 2003.

LIMA, F. C. T. et al. Família Characidae: Gêneros *Incertae sedis*. In: BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. (Org.). **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. p. 44–62.

LIMA, J. J. F. **Desenvolvimento e desempenho reprodutivo de lambaris (*Astyanax lacustris*) cultivados em sistema de bioflocos e em sistema de recirculação com água clara**. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP. p. 8-11 2022.

LONG, L.; YANG, J.; LI, Y.; GUAN, C., WU, F. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Aquaculture**, 2015, 448, 135-141.

LOVELL, R. T. Foods from aquaculture. In: Food Technology and Processing. Washington: **Springer**, 1994. p. 151–176.

LUO, G.; XU, J.; MENG, H. Nitrate accumulation in biofloc aquaculture systems. **Aquaculture**, 2020, 520, 734675.

MAGALHÃES, D. P. & FERRÃO, A. S. F. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Revista Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355–381, 2008.

MATISHOV, G. et al. Using BioFloc Technology to Improve Aquaculture Efficiency. **Fishes**. 2025, 10, 144.

MAYORMENTE, M. D. Intelligent recirculating aquaculture system of *Oreochromis niloticus*: a feed-conversion-ratio-based machine learning approach. **International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering**, v. 12, p. 122–128, 2024.

MUIR, J. F.; NUGENT, C. G. Aquaculture production trends: perspectives for food security. In: International Conference on the Sustainable Contribution of Fisheries to Food Security. **International conference in Kyoto**. Anais. Kyoto, 1995.

OGELLO, E. O.; OUTA, N. O.; OBIERO, K. O.; KYULE, D. N.; MUNGUTI, J. M. The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development. **Scientific African**, 2021, 14, e01053.

PINHO, S. M.; MOLINARI, D.; DE MELLO, G. L.; FITZSIMMONS, K. M.; & EMERENCIANO, M. G. C. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, 2017. p. 103, 146–153.

PORTO-FORESTI, F.; OLIVEIRA, C.; FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R. B. Cultivo de lambari: uma espécie de pequeno porte e grandes possibilidades. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 67, p. 15–19, 2001.

RAMLI, N. M.; VERRETH, J. A. J.; YUSOFF, F. M.; NURULHUDA, K.; NAGAO, N.; VERDEGEM, M. C. Integration of algae to improve nitrogenous waste management in recirculating aquaculture systems: a review. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 8, 1004, 2020.

REZENDE, F. P. & FUJIMOTO, R. Y. Sistemas e infraestrutura de produção. Peixes ornamentais no Brasil: mercado, legislação, sistemas de produção e sanidade. **Embrapa**. Brasília, v. 297, 2021.

RIBEIRO, R. P. et al. A piscicultura e o melhoramento genético de peixes no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 150–158, 2012.

RODRIGUES, R. A. F. et al. Biofloc technology (BFT): An alternative for intensification of fish farming. **Journal of Applied Ichthyology**, 38(4), 507–519. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jai.14349>>. Acesso em: 17 jul. 2025.

RODRIGUES, R. A. F. et al. Respostas fisiológicas de juvenis de tilápia do Nilo cultivados em sistema de bioflocos com diferentes concentrações de carbono. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 47, n. 2, p. 1–8, 2021.

ROY, S. M.; CHOI, H.; KIM, T. Review of state-of-the-art improvements in recirculating aquaculture systems: Insights into design, operation, and statistical modeling approaches. **Aquaculture**. 2025, 605, 742545.

SANTOS, R. R. Bioflocos como tecnologia de cultivo aquícola e sua relação com a sustentabilidade. **Revista Ouricuri**, 12(1): 43–59, 2022.

SENA, A. C. et al. Avaliação de diferentes densidades de estocagem no desempenho produtivo de juvenis de *Astyanax altiparanae* cultivados em sistema de bioflocos. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú** (RIVEP), 34(1), e23401, 2023.

SILVA JUNIOR, A. DA. **Efeito da proporção sexual e da densidade de estocagem sobre o desempenho reprodutivo do lambari *Astyanax altiparanae* (Characiformes: characidae) em sistema semi-natural**. Tese (Programa de Pós-graduação em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista. Centro de Aquicultura. Jaboticabal, SP. 2019. 48p.

SOARES, A. R. **Efeito da salinidade no desempenho zootécnico de juvenis de lambari (*Astyanax lacustris*) cultivados em sistema BFT**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Universidade Estadual Paulista, Registro. 2021.

SOUSA, B. A. F. de. **Tecnologias para uso de resíduos aquícolas: sistemas de recirculação e aquaponia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Universidade Estadual Paulista, Registro, 2021. 48 f.

SOUZA, J. C. da S. **Qualidade da água e desempenho zootécnico de lambari *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875) em diferentes densidades de estocagem em sistema de recirculação aquícola**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia de Pesca) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Serra Talhada, BR-PE, p. 38, 2024.

TAL, Y.; SCHROEDER, G. L.; DELI, J. P.; RICHTER, L. W.; & RAKHUN, Y. Recycling of fish pond effluents: The use of clean water from biofloc-based systems as an alternative to wastewater reuse. **Aquaculture**, v. 229, p. 319–331, 2003.

VERDI, R. A.; BORGHETTI, J. R.; FANK-DE-CARVALHO, S. M. Ações prioritárias para a conservação da ictiofauna da bacia do rio Paraná. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ictiologia**, 72, p. 5–12, 2004.

WASIELESKY, W. Jr., ATWOOD, H.; STOKES, A.; BROWDY, C. L. Effect of natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive

culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, 2006, 258, 396–403.

YASUI, G. S., et al. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). In: BALDISSEROTTO, B. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 3. ed., rev. atual. e ampl. Santa Maria: Ed UFSM, 2020. p. 113-125.

YOGEV, U., GROSS, A., 2019. Reducing environmental impact of recirculating aquaculture systems by introducing a novel microaerophilic assimilation reactor: modeling and proof of concept. **Journal of Cleaner Production**. 226, 1042–1050.

YUNJIE, H. et al. Carbon sources for heterotrophic nitrogen removal in aquaculture systems: A review. **Reviews in Aquaculture**, 13(4), 1984–2011. <https://doi.org/10.1111/raq.12548>. 2021.

ZHANG, S.Y., LI, G., WU, H.B., LIU, X.G., YAO, Y.H., TAO, L., LIU, H.. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**. 2011. 45 (3), 93–102.

ZHOU, C., YANG, X., ZHANG, B., LIN, K., XU, D., GUO, Q., SUN, C., et al., 2017. An adaptive image enhancement method for a recirculating aquaculture system. **Scientific Reports**. 7 (1), 6243.

ZHU, K., YANG, X., YANG, C., FU, T., MA, P., HU, W., 2024. FC Former: fish density estimation and counting in recirculating aquaculture system. **Frontiers in Marine Science**. 11, 1370786.