



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**ACHILLES NINA SANTOS FERREIRA**

**FERTIRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL: USO DE ÁGUA RESIDUAL DE  
PISCICULTURA EM *Megathyrus maximum* - BRS TAMANI**

São Luís

2025

**ACHILLES NINA SANTOS FERREIRA**

**FERTIRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL: USO DE ÁGUA RESIDUAL DE  
PISCICULTURA EM *Megathyrus maximum* - BRS TAMANI**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGA) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário.

Coorientador: Prof. Dr. Jadson Pinheiro Santos

São Luís – MA

2025

Ferreira, Achilles Nina Santos

Fertirrigação sustentável: uso de água residual de piscicultura em *Megathyrus maximum* – BRS Tamani. / Achilles Nina Santos Ferreira. – São Luis, MA, 2025.

82 f

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Profa. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário.

1.Aquicultura. 2.Economia Circular. 3.Forrageicultura - Sistema de Produção.  
I.Título.

CDU: 631.674

**Elaborado por Cássia Diniz - CRB 13/910**

**ACHILLES NINA SANTOS FERREIRA**


# FERTIRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL: USO DE ÁGUA RESIDUAL DE PISCICULTURA EM *Megathyrus maximum* - BRS TAMANI


Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGA) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Aprovado em: 24/07/2025

## BANCA EXAMINADORA


---

Documento assinado digitalmente  
Prof.<sup>a</sup>  VALERIA XAVIER DE OLIVEIRA APOLINÁRIO  
Data: 07/01/2026 14:58:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br> linário

Documento assinado digitalmente  
 JANERSON JOSE COELHO  
Data: 07/01/2026 18:37:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Janerson José Coelho

Documento assinado digitalmente  
 FLAVIO AUGUSTO LEAO DA FONSECA  
Data: 07/01/2026 21:49:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Flávio Augusto Leão da Fonseca

São Luís – MA

2025

Dedico a Deus e aos meus familiares, em especial a minha mãe e meu pai, os quais contribuíram incansavelmente para a realização desse sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por ter direcionado meus passos ao longo de mais uma jornada e me permitiu alcançar mais um dos meus objetivos, sempre me guardando e abrindo portas de caminhos inexplicáveis. Sou grato pela força, sabedoria e proteção recebidas, que me acompanharam em cada etapa deste processo.

Sinceramente agradeço aos meus familiares, que incansavelmente ficaram comigo durante todo este percurso, incentivando-me, orientando e apoiando nas mais diversas decisões. Em especial, minha mãe e meu pai, por suas presenças constantes, por intercederem por mim e pelos meus sonhos, e por me oferecer os conselhos que sempre me guiaram. Sou grato por todo o seu amor e sabedoria.

Gostaria de expressar minha imensa gratidão aos meus orientadores, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário e Prof. Dr. Jadson Pinheiro Santos, que, com dedicação, personalidade e conhecimento, me orientaram durante a realização desta pesquisa. O apoio de ambos foi fundamental para que eu pudesse concluir este trabalho, e a orientação acadêmica e profissional de vocês tem sido uma inspiração constante.

Agradecimentos à Equipe do Laboratório de Ictiofauna e Piscicultura Integrada – LABIPI e ao Grupo de Inovação em Sistema de Produção – GINTEGRA por cederem o local para a construção do sistema no setor de piscicultura da Unidade de Produção Animal da Zootecnia – UNIPAZ. Sem a colaboração e infraestrutura disponibilizada por essas equipes, a realização deste estudo não teria sido possível.

Aos meus amigos da graduação e do mestrado, obrigado por todo apoio, incentivo e amizade durante esta jornada. A presença de cada um de vocês foi essencial, tanto nos momentos de dificuldade quanto nas vitórias. Vocês sempre estiveram ao meu lado, torcendo e me impulsionando para seguir em frente.

A todos que, de alguma forma, desenvolveram para a realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÃO**

Figura 1: Setor de piscicultura da unidade de Produção Animal da Zootecnia – UNIPAZ/UEMA.....	25
Figura 2: Esquema representativo do delineamento experimental para avaliação do efeito de diferentes densidades de estocagem em cinco tratamentos (T1 a T5) na fertirrigação com quatro repetições.....	25
Figura 3: Estrutura do balde com o plantio de <i>Megathyrus maximum</i> - BRS Tamani. ....	26
Figura 4: Caixas d'água de polietileno de 310 litros utilizadas para o cultivo dos peixes. ....	27
Figura 5: Exemplar de tambatingas ( <i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus brachypomus</i> ) no início do experimento com 23 g. ....	29
Figura 6: Manutenção diária de sifonagem/troca de 10% do volume de água das caixas do sistema. ....	33
Figura 7: Demonstração de Irrigação do Capim BRS - Tamani por Colaborador. ....	37
Figura 8: Baldes usados no teste de capacidade de vaso, balde A exposto ao sol no ambiente e balde B coberto com filme plástico para evitar evaporação. ....	37
Figura 9: Colaborador realizando corte do capim na altura de 25 cm.....	39
Figura 10: A média dos parâmetros (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais, condutividade elétrica, amônia e nitrito) observados nos tratamentos (tratamento 1: 14 peixes/m <sup>3</sup> , tratamento 2: 18 peixes/m <sup>3</sup> , tratamento 3: 21 peixes/m <sup>3</sup> ) durante o experimento. .	45
Figura 11: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani no 1º, 2º e 3º Corte. ....	49
Figura 12: Porcentagem de matéria seca nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.....	49
Figura 13: Porcentagem de proteína bruta nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.....	50

Figura 14: Porcentagem de matéria mineral nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.....	51
Figura 15: Porcentagem de fibra em detergente neutro nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento. ....	51
Figura 16: Porcentagem de fibra em detergente ácido nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento. ....	52
Figura 17: Porcentagem de lignina nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento. ....	52

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Faixa de teores foliares adequados de macronutrientes (% na matéria seca) na <i>Megathyrus maximum</i> . .....	27
Tabela 2: valores médios das características* do solo do local do experimento.....	28
Tabela 3: Recomendações ajustadas de acordo com a área do balde.....	29
Tabela 4: Composição das rações utilizadas para os peixes durante o tempo do experimento. ....	30
Tabela 5: Comparação dos parâmetros da água inicial do poço e dos tratamentos.....	44
Tabela 6: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (mg/L) na água de piscicultura nos tratamentos com 14, 18 e 21 peixes/m <sup>3</sup> ao longo do experimento. ....	47
Tabela 7: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 1º Corte. ....	48
Tabela 8: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 2º Corte. ....	48
Tabela 9: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 3º Corte. ....	48
Tabela 10: Desempenho zootécnico da tambatinga nos diferentes tratamentos. ....	54
Tabela 11: Concentração de NPK na água do tratamento 3.....	55
Tabela 12: Aporte de nutrientes (NPK) mensal. ....	55
Tabela 13: Aporte de nutrientes (NPK) anual. ....	56
Tabela 14: Recomendação da EMBRAPA (2010) para adubação em pastagens.....	56
Tabela 15: Concentração de NPK aplicada na adubação. ....	56
Tabela 16: Custos com fertilizantes no tratamento 5. ....	56
Tabela 17: Produtividade e receita nos tratamentos 3 e 5. ....	57
Tabela 18: comparação custo benefício entre o tratamento 3 e 5.....	57

## **RESUMO**

A busca por alternativas sustentáveis na agropecuária tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas integrados capazes de reutilizar resíduos produtivos, promovendo maior eficiência no uso de recursos naturais. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da fertirrigação com água residual de piscicultura sobre o desempenho agrônômico e a composição nutricional do capim *Megathyrus maximum* cv. BRS Tamani, em comparação ao manejo convencional com adubação mineral NPK, além de realizar uma análise econômica indicativa do sistema. O experimento foi conduzido no setor de piscicultura da Unidade de Produção Animal da Zootecnia – UNIPAZ, em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo fatorial  $2 \times 3$ , envolvendo duas fontes de fertilização (água residual de piscicultura e adubação mineral convencional) e três densidades de estocagem de tambatinga (*Colossoma macropomum*  $\times$  *Piaractus brachypomus*), com quatro repetições. A fertirrigação foi realizada manualmente a cada dois dias, com aplicação equivalente a aproximadamente 14,1 mm por evento de irrigação. Foram avaliados parâmetros zootécnicos dos peixes, qualidade da água, composição química do capim (N, P e K) e indicadores produtivos da forragem. Os resultados indicaram que a fertirrigação com água residual de piscicultura proporcionou incremento médio de 27% na produtividade do capim BRS Tamani em relação ao manejo convencional com NPK. A água residual forneceu, em base anual estimada, cerca de 76,3 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 19,8 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 38,9 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, enquanto o manejo convencional demandou aplicação de fertilizantes minerais. O desempenho zootécnico da tambatinga manteve-se adequado em todos os tratamentos, com elevada sobrevivência. Conclui-se que a fertirrigação com água residual de piscicultura apresenta potencial agrônômico e ambiental como estratégia complementar ao manejo convencional do capim BRS Tamani, promovendo maior eficiência no uso de nutrientes. Entretanto, os resultados devem ser interpretados considerando as limitações de escala do experimento, sendo recomendados estudos em condições de campo para validação técnica e econômica do sistema.

**Palavras Chaves:** Aquicultura, Economia Circular, Forragicultura, Integração, Sustentabilidade, Sistema de Produção.

## ABSTRACT

The search for sustainable alternatives in agriculture has driven the development of integrated systems capable of reusing productive residues, thereby promoting greater efficiency in the use of natural resources. This study aimed to evaluate the effects of fertigation with aquaculture wastewater on the agronomic performance and nutritional composition of *Megathyrus maximum* cv. BRS Tamani, compared with conventional management using mineral NPK fertilization, as well as to conduct an indicative economic analysis of the system. The experiment was carried out in the aquaculture sector of the Animal Production Unit of Animal Science (UNIPAZ), using a randomized block design in a  $2 \times 3$  factorial arrangement, involving two fertilization sources (aquaculture wastewater and conventional mineral fertilization) and three stocking densities of tambatinga (*Colossoma macropomum*  $\times$  *Piaractus brachypomus*), with four replications. Fertigation was performed manually every two days, with an application equivalent to approximately 14.1 mm per irrigation event. Zootechnical parameters of the fish, water quality, chemical composition of the forage (N, P, and K), and forage productivity indicators were evaluated. The results indicated that fertigation with aquaculture wastewater promoted an average increase of 27% in the productivity of BRS Tamani grass compared to conventional NPK management. On an estimated annual basis, the wastewater supplied approximately 76.3 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen, 19.8 kg ha<sup>-1</sup> of phosphorus, and 38.9 kg ha<sup>-1</sup> of potassium, whereas conventional management required the application of mineral fertilizers. The zootechnical performance of tambatinga remained adequate across all treatments, with high survival rates. It is concluded that fertigation with aquaculture wastewater presents agronomic and environmental potential as a complementary strategy to conventional management of BRS Tamani grass, promoting greater nutrient use efficiency. However, the results should be interpreted considering the scale limitations of the experiment, and field-scale studies are recommended for technical and economic validation of the system.

**Keywords:** Aquaculture, Circular Economy, Forage, Integration, Sustainability, Production System.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	<b>16</b>
----------------------------	-----------

<b>2. Revisão bibliográfica</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1. Panorama global e nacional da aquicultura</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. Fertirrigação em sistemas integrados: aquicultura x agricultura</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3. Cultivo de tambatinga (<i>colossoma macropomum</i> x <i>piaractus brachypomus</i>)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4. Cultura de <i>megathyrus maximum</i> - brs tamani</b> .....	<b>22</b>
<b>3. Hipótese</b> .....	<b>24</b>
<b>4. Objetivos</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1. Geral</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2. Específicos</b> .....	<b>24</b>
<b>5. Material e métodos</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1. Local experimental</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2. Delineamento experimental</b> .....	<b>25</b>
<b>5.3. Instalações e estrutura do sistema</b> .....	<b>26</b>
<b>5.4. Preparação do solo e adubação com npk</b> .....	<b>27</b>
<b>5.5. Criação e manejo dos peixes</b> .....	<b>29</b>
5.5.1. Regime alimentar e densidade de estocagem .....	29
5.5.2. Avaliação dos parâmetros zootécnicos .....	30
5.5.3. Qualidade da água.....	32
<b>5.6. Manejo da fertirrigação e capim brs tamani</b> .....	<b>37</b>
5.6.1. Protocolo de fertirrigação .....	37

5.6.2. Produção e corte do capim.....	39
<b>5.7. Análises laboratoriais.....</b>	<b>40</b>
<b>5.8. Análises estatísticas .....</b>	<b>41</b>
<b>5.9. Análise de viabilidade econômica .....</b>	<b>42</b>
5.9.1. Indicadores de desempenho econômico .....	42
5.9.2. Procedimentos de cálculo .....	42
5.9.3. Premissas e delimitações da análise .....	43
<b>6. Resultados .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1. Qualidade da água do sistema de piscicultura.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2. Desempenho agrônômico e composicional do capim brs tamani.....</b>	<b>46</b>
<b>6.3. Desempenho zootécnico da tambatinga.....</b>	<b>53</b>
<b>6.4. Análise de viabilidade econômica .....</b>	<b>54</b>
<b>7. Discussão .....</b>	<b>57</b>
7.1. Qualidade da água e a influência da densidade de estocagem .....	57
7.2. Efeito da fertirrigação no desenvolvimento e nutrição do capim .....	60
7.3. Desempenho zootécnico da tambatinga em sistema integrado .....	64
7.4. Viabilidade econômica, sustentabilidade e implicações do sistema .....	65
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água, além de ser um recurso essencial para o desenvolvimento econômico e social, desempenha um papel vital na preservação dos ecossistemas e da vida no planeta. A escassez de água superficial de qualidade é exacerbada por uma série de fatores, incluindo a alta produção de águas residuais, mudanças climáticas, urbanização e industrialização crescentes, desenvolvimento socioeconômico e expansão agrícola. Essas condições reforçam a necessidade de práticas de reuso de água na agricultura, tanto em países em desenvolvimento quanto nos desenvolvidos (Moura *et al.*, 2020).

O uso consciente da água tem crescido em resposta às mudanças climáticas e à diminuição global da disponibilidade hídrica. Nessa perspectiva, a implementação de medidas sustentáveis é fundamental para garantir a conservação e a qualidade dos recursos hídricos de uma região (Cardoso *et al.*, 2016). Adicionalmente, o reuso da água proveniente dos resíduos de pisciculturas na agricultura emerge como uma estratégia promissora para mitigar a escassez hídrica e otimizar o uso da água no setor agrícola. Esta prática não apenas fornece uma fonte adicional de água, mas também enriquece o solo com nutrientes, beneficiando o crescimento das culturas (Araujo *et al.*, 2017).

A piscicultura, técnica destinada à produção controlada de peixes, tem se expandido rapidamente no Brasil, um país que possui vastos recursos hídricos, extensão territorial favorável, um longo litoral, condições climáticas ideais e uma rica biodiversidade de espécies de peixes potenciais para a atividade (Siqueira, 2017). No entanto, a prática pode ter efeitos adversos no meio ambiente aquático devido à liberação de nutrientes e ao uso de substâncias como antibióticos e hormônios. Uma gestão eficaz é essencial para alinhar o desenvolvimento econômico da atividade com a sustentabilidade ambiental (Cyrino *et al.*, 2010; Souza *et al.*, 2022). Nesse contexto, o uso da água residual de piscicultura na fertirrigação de pastagem pode ser uma alternativa viável e benéfica que previne a liberação descontrolada da água residual no ambiente natural, mitigando impactos ambientais significativos.

O *Megathyrus maximus* - BRS tamani, uma gramínea forrageira de alto valor nutricional, tem se mostrado promissor para o uso de efluentes de piscicultura como fertilizante (Pompeu *et al.*, 2018). Amplamente utilizadas no Brasil, as gramíneas desta espécie são reconhecidas por sua alta produtividade, elevada exigência em fertilidade do solo e ótima

adaptação a climas tropicais e subtropicais (Bedeschi, 2016). O lançamento de cultivares melhoradas de forrageiras tem impulsionado a produtividade da pecuária brasileira. Um marco nesse avanço foi a introdução de cultivares como Tanzânia e Mombaça, que proporcionaram ganhos de 79% e 130%, respectivamente, em relação ao capim Colonião (Jank *et al.*, 2008). Seguindo essa tendência de inovação, a cultivar BRS Tamani surge como outra opção de grande valor forrageiro (Jank *et al.*, 2013), destacando-se por sua resistência a baixas temperaturas. Suas características agrônômicas, como o hábito cespitoso e as folhas lanceoladas (Alves *et al.*, 2008), a tornam uma escolha estratégica, embora não seja adequada para solos mal drenados.

O uso de efluentes da piscicultura na fertilização de plantas demonstra potencial para aumentar a produção de biomassa e os teores de nutrientes, conforme apurado em estudo de Cardoso *et al.* (2016). Contudo, a viabilidade dessa prática depende de um manejo criterioso da quantidade aplicada. Conforme alertam Matos *et al.* (2014), a aplicação excessiva ou sem monitoramento pode levar a sérios impactos ambientais, como a salinização do solo e a contaminação de recursos hídricos, comprometendo a sustentabilidade do sistema produtivo a longo prazo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Panorama global e nacional da aquicultura**

A produção mundial de pesca e aquicultura vive um momento de forte expansão, tendo atingido um recorde de 223,2 milhões de toneladas em 2022, um aumento de 4,4% em relação a 2020 (FAO, 2024). Acompanhando essa tendência global, o Brasil se consolida como um ator relevante no setor. Em 2023, a piscicultura nacional produziu 887 mil toneladas, gerando uma receita aproximada de R\$ 9 bilhões e sustentando um setor responsável por milhões de postos de trabalho diretos e indiretos. O país ocupa a quarta posição mundial na produção de tilápia, que representa 68,36% da produção nacional. Os peixes nativos, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), representam 26,71% da produção brasileira, enquanto outras espécies correspondem aos 4,93% restantes. De acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura (2025), o Brasil registrou um crescimento de 51,8% na produção de peixes na última década entre 2015 e 2024. Ainda segundo a FAO (2024), a média global de consumo de produtos pesqueiros por pessoa por ano foi de 20,7 kg, enquanto no Brasil, o consumo per capita de peixes oriundos da aquicultura permanece modesto, com apenas 9 kg por habitante, abaixo da

recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS), que sugere o consumo de 12 kg por ano por pessoa.

Dentro desse cenário nacional, a região Nordeste consolidou-se em 2024 como a segunda maior produtora de peixes cultivados do Brasil, com uma produção de 196.400 toneladas e um crescimento de 10,2% em relação ao ano anterior. O Maranhão, em destaque, alcançou a quinta posição no ranking nacional, com uma produção de 51.800 toneladas. O estado também figura como o segundo maior produtor de peixes nativos do país, com aproximadamente 40.100 toneladas, e tem demonstrado um crescimento expressivo na produção de outras espécies, como o pangásio (*Pangasianodon hypophthalmus*). Esses dados evidenciam o potencial produtivo e estratégico da piscicultura nordestina e maranhense (Peixe BR, 2025).

O Brasil possui vantagens significativas para expandir a produção aquícola e alcançar mercados internacionais, em virtude da vasta extensão territorial, abundância de recursos hídricos, disponibilidade de insumos para alimentação animal, grande diversidade de espécies com potencial produtivo e de mercado, além de condições climáticas favoráveis em muitas regiões (Siqueira, 2017). A piscicultura, que registrou um crescimento expressivo de 9,21% em 2024, demonstra um grande potencial de expansão, contribuindo para a diversificação da produção agropecuária brasileira (Peixe BR, 2025). Esses dados reforçam a relevância do país como um dos principais produtores mundiais de proteína animal (Saath *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, destaca-se a chamada "Revolução Azul" sendo a modernização e crescimento acelerado da aquicultura, que transforma a produção de peixes em um setor industrializado, sustentável e estratégico para a segurança alimentar, reconhecida por seu papel na promoção de uma produção alimentar sustentável (Ramalho, 2015). A aquicultura tem se consolidado como um setor emergente, com impactos positivos na economia e na sociedade, promovendo melhorias na produtividade e na qualidade dos cultivos, principalmente em sistemas controlados ou semi-controlados (Siqueira, 2017).

A expansão do setor aquícola no Brasil é uma estratégia fundamental para aumentar a competitividade e a estabilidade financeira da atividade, com foco na abertura de mercados internos e externos para o pescado nacional (Embrapa, 2020). Contudo, apesar das condições favoráveis e do notável crescimento, essa rápida expansão traz consigo riscos ambientais

significativos, que exigem atenção. Os impactos variam conforme o tipo de cultivo, as espécies utilizadas e, principalmente, as práticas de manejo adotadas. Sistemas de produção intensiva, especialmente os de alta densidade, demandam estratégias de manejo sustentáveis e políticas regulatórias eficazes para mitigar os efeitos negativos sobre o meio ambiente (Pedroza-Filho *et al.*, 2020).

Segundo Eler e Millani (2007), as alterações ambientais provenientes da aquicultura podem ser observadas em três etapas: a utilização de recursos naturais, o processamento desses recursos e, por fim, a geração de resíduos. A liberação de águas residuais (efluentes) oriundas dos sistemas de cultivo é um dos pontos mais críticos, pois pode alterar profundamente as propriedades físico-químicas e biológicas dos corpos hídricos receptores.

O principal impacto desses efluentes é a eutrofização, processo desencadeado pelo excesso de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes de ração não consumida e excretas dos peixes. Esse enriquecimento nutricional causa a proliferação excessiva de algas e macrófitas aquáticas (fenômeno conhecido como "floração"). A decomposição dessa grande massa de matéria orgânica por bactérias consome o oxigênio dissolvido da água, podendo levar a condições de hipóxia ou anoxia, que causam a mortandade de peixes e outros organismos aquáticos (Carvalho *et al.*, 2023). Além dos nutrientes, os resíduos podem introduzir contaminantes como antibióticos e outros fármacos utilizados para controlar doenças nos cultivos intensivos. A presença desses compostos no ambiente aquático é uma grande preocupação, pois pode selecionar bactérias resistentes e afetar organismos não-alvo, representando um risco tanto ecológico quanto para a saúde pública (Serrano, 2005).

Apesar desses desafios, a aquicultura apresenta vantagens importantes, como a necessidade de menor área para a produção de proteínas quando comparada à pecuária tradicional, contribuindo para uma utilização mais eficiente do solo (Siqueira, 2017). Diante do exposto, torna-se imperativo que as práticas de gestão priorizem o uso sustentável dos recursos. A adoção de tecnologias de tratamento de efluentes, o monitoramento da qualidade da água e o manejo alimentar de precisão são essenciais para garantir a conformidade legal, a viabilidade econômica e, fundamentalmente, a sustentabilidade ambiental dos sistemas produtivos (Farias *et al.*, 2022).

## **2.2. Fertirrigação em sistemas integrados: Aquicultura x agricultura**

A integração entre a criação de peixes e a agricultura para reaproveitamento de nutrientes é uma prática com raízes históricas profundas. Civilizações antigas, como na China e no Egito, já manejavam peixes como carpas e tilápias em lagos artificiais, utilizando a água enriquecida e os resíduos orgânicos para fertilizar lavouras, em um sistema que beneficiava ambas as atividades (Brabo *et al.*, 2016). Este conceito ancestral de ciclagem de nutrientes evoluiu para métodos modernos e de alta eficiência, dentre os quais se destaca a fertirrigação.

Esta técnica, que consiste em usar a própria água de irrigação como veículo para fornecer fertilizantes às plantas, é reconhecida por sua superioridade em sincronizar a oferta de nutrientes com a demanda da cultura, aplicando-os em doses menores e mais frequentes (Silva e Silva, 2019). Ao entregar os fertilizantes já solubilizados diretamente na rizosfera (a região das raízes), maximiza-se a absorção e minimizam-se perdas por lixiviação, o que garante um balanço nutricional ideal e resulta em significativa economia de trabalho e energia ao longo do ciclo (Sousa Junior *et al.*, 2013).

Uma aplicação particularmente promissora desta técnica é o uso de efluentes da piscicultura, que representa a união da prática histórica com a tecnologia moderna. O valor fertilizante desse efluente origina-se na decomposição dos detritos orgânicos, como sobras de ração e fezes. Nesses sistemas, ocorrem processos biológicos cruciais, como a mineralização, que transforma a matéria orgânica em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), e a subsequente nitrificação, que converte o amônio em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), uma forma de nitrogênio prontamente assimilável pelas plantas (Cargnin; João, 2021).

A composição exata do efluente é um reflexo direto dos insumos e da eficiência do sistema de criação. As rações comerciais são formuladas com altos teores de proteína e fósforo, mas estima-se que apenas 20-30% desses nutrientes são convertidos em biomassa pelos peixes. O restante (70-80%) é excretado na água, enriquecendo-a não apenas com macronutrientes como N e P, mas também com micronutrientes e matéria orgânica (Boyd; Tucker, 1998). O aproveitamento desse efluente na agricultura, portanto, não só representa uma economia com fertilizantes sintéticos, mas também se alinha aos princípios da economia circular (Silva e Silva, 2019).

O crescente interesse por essa prática integrada é impulsionado por fatores como a limitação de recursos hídricos, a rigidez das normas ambientais e a necessidade de reduzir custos com tratamento de resíduos e adubos químicos (Tundisi *et al.*, 2008).

No Maranhão, por exemplo, o reúso do efluente da piscicultura oferece uma vantagem crucial sobre as chuvas: a confiabilidade. Sua disponibilidade é contínua e previsível ao longo do ano, independentemente da sazonalidade climática (Corrêa *et al.*, 2021). Isso representa uma garantia de irrigação durante a estação seca, que geralmente se estende de julho a dezembro, permitindo a expansão de áreas cultivadas e a estabilização da produção. Essa prática torna-se especialmente estratégica para os municípios recentemente reconhecidos pela Sudene como parte do Semiárido, pois eleva a segurança alimentar e reduz a pressão sobre os mananciais, alinhando-se às diretrizes de desenvolvimento sustentável (Keraita *et al.*, 2008; Sudene, 2024).

### **2.3. Cultivo de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*)**

A aquicultura brasileira segue em expansão e as espécies nativas continuam exercendo papel relevante. De acordo com o Anuário da Piscicultura 2025 da Peixe BR, os peixes da família Serrasalmidae — tambaqui (*Colossoma macropomum*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) — e seus híbridos (tambacu, tambatinga, patinga) totalizaram 258,7 mil toneladas em 2024, o que corresponde a 26,7 % da produção nacional de peixes de cultivo. Esse grupo mantém destaque no cenário produtivo brasileiro graças à rusticidade e à forte demanda regional (PEIXE BR, 2025). Esses peixes não são apenas populares, mas também são os campeões de produção, ocupando o segundo e terceiro lugar no pódio da aquicultura nacional, segundo Valenti *et al.* (2021).

O tambaqui consolidou-se como um dos pilares da piscicultura brasileira, sendo a segunda espécie mais produzida no país em 2023, com um total de 128,9 mil toneladas. Sua produção concentra-se majoritariamente na região Norte (74,3%), com destaque para os estados de Rondônia, Mato Grosso e Maranhão, e o município de Ariquemes (RO) liderando como o maior produtor nacional (IBGE, 2023). A partir da importância econômica e do sucesso produtivo desta espécie, o melhoramento genético buscou desenvolver variedades ainda mais adaptadas aos sistemas intensivos. Nesse contexto, destaca-se o tambatinga, exemplar híbrido do cruzamento do tambaqui com a pirapitinga, que herdou o melhor de ambos os pais: é robusto, cresce rápido e apresenta alta resiliência a mudanças de temperatura e oxigênio, fatores

decisivos para seu desempenho, como apontam estudos ao longo das últimas décadas (Pinheiro *et al.*, 1991; Hashimoto *et al.*, 2012).

Estes produtores tendem a operar em uma escala menor, porém significativa, optando por comercializar seus produtos diretamente aos interessados, sejam eles intermediários ou consumidores finais. Esta abordagem de negócios contribui positivamente para a dinâmica econômica local, promovendo o desenvolvimento regional. Segundo Oliveira, Ummus e Souza, (2023), a dinâmica de produção da tambatinga permite que a água usada para o cultivar seja reaproveitada em outras áreas da propriedade no modelo de fertirrigação, mostrando que é possível unir produtividade e sustentabilidade na aquicultura brasileira.

#### **2.4. Cultura de *Megathyrsus maximum* - BRS tamani**

A BRS Tamani é um híbrido de *Megathyrsus maximum* desenvolvido pela Embrapa com foco em diversificar o uso de forrageiras e intensificar a produção animal no Brasil, sendo lançada em 2015 em parceria com a Unipasto (Jank *et al.*, 2021). De acordo com Ferreira *et al.* (2008), o *M. maximum* é classificado no reino Plantae, pertencente à família Poaceae e inserido na ordem Poales. É uma espécie que se destaca pela sua robustez e alta produtividade, sendo uma das forrageiras mais valorizadas no mercado brasileiro, ao lado da *Urochloa spp.* (Jank *et al.*, 2021). Sua propagação é predominantemente feita por sementes e possui uma notável capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (Difante *et al.*, 2022).

O *Megathyrsus maximum* cv. BRS Tamani apresenta excelente potencial produtivo e qualidade nutricional, sendo amplamente recomendado para sistemas de produção de feno e pastejo rotacionado. De acordo com Gomes (2020), sua produção média de feno pode alcançar até 3,8 toneladas por hectare, com melhores resultados em cortes realizados entre 49 e 63 dias após o plantio ou último corte, período em que se observa maior proporção de folhas e menor lignificação. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi superior a 600 g/kg nos cortes mais jovens, enquanto os teores de proteína bruta (PB) variaram entre 66 e 98 g/kg, sendo mais elevados nas fases iniciais de desenvolvimento da planta. Com o avanço da maturidade, houve aumento nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina, resultando em menor digestibilidade e valor nutritivo da forragem.

Esses resultados são corroborados por Costa *et al.* (2021), que observaram melhor equilíbrio entre produtividade e composição química da forragem quando a BRS Tamani foi

manejada com cortes a cada 32 dias, com altura de saída de 28 cm. Vasconcelos *et al.* (2020) também destacam que doses crescentes de nitrogênio (até 1.200 kg/ha/ano) promovem aumentos significativos na biomassa colhível, sem prejudicar a qualidade da forragem. Em contrapartida, Fontinele *et al.* (2022) demonstraram que diferimentos prolongados (acima de 80 dias) resultam em redução da proteína bruta e digestibilidade, o que reforça a importância de um manejo criterioso para o aproveitamento máximo da cultivar. Ainda, em condições de sombreamento, como nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), Cruz *et al.* (2024) observaram que o BRS Tamani mantém bom desempenho morfogênico e fisiológico, sendo adaptável a ambientes com menor incidência luminosa.

Além disso, o *Megathyrsus maximum* desempenha um papel duplo de destaque: como uma forrageira de alta performance e como um componente ecológico vital. Em sistemas de ILPF, esta gramínea contribui significativamente para a sustentabilidade agrícola. Segundo Vinholis *et al.* (2022), o *M. maximum* promove a ciclagem de nutrientes e desempenha um papel fundamental na conservação do solo, evidenciando sua importância não apenas na produção agropecuária, mas também na manutenção da saúde dos ecossistemas.

No entanto, seu cultivo exige condições específicas. De acordo com Andrade e Valentim (2009), a variedade BRS Tamani foi identificada como não tolerante a solos alagados, conforme pesquisa realizada no Acre, em que o comportamento de 21 variedades de *M. maximum* foi analisado ao longo de três anos em áreas com drenagem deficiente. A confirmação desse comportamento ocorreu em propriedades agrícolas do estado, nas quais foram observadas perdas de plantas em regiões com saturação hídrica do solo. Assim, recomenda-se seu cultivo apenas em terrenos com boa drenagem. Gomes (2020) complementa essas informações ao indicar que a cultivar é mais bem adaptada a solos bem drenados e a regiões com precipitação anual entre 800 e 1.800 mm, preferencialmente em climas tropicais subtropicais. Além disso, a BRS Tamani possui exigência de fertilidade de média a alta, respondendo bem à adubação para expressar seu potencial produtivo.

Quanto à sanidade, segundo Jank *et al.* (2021), a BRS Tamani foi submetida a avaliações quanto à resistência a doenças, especialmente à mancha das folhas provocada pelo fungo *Bipolaris maydis*. Os testes realizados com isolados do patógeno em diferentes regiões do Brasil demonstraram que a cultivar apresenta resistência intermediária, situando-se entre a Tanzânia-1 (suscetível) e a BRS Zuri (resistente). A severidade observada da doença na BRS Tamani não

ultrapassou 10% da área foliar afetada, ocasionando impacto mínimo na produtividade. Os efeitos mais expressivos ocorrem nos primeiros 60 dias após o estabelecimento da pastagem, período em que as plantas estão mais vulneráveis às condições de alta temperatura e umidade, típicas da estação chuvosa.

A implantação da BRS Tamani segue práticas similares às outras cultivares de *M. maximum* no que diz respeito ao período, densidade, profundidade e técnica de semeadura. No entanto, diferencia-se por apresentar um ritmo de estabelecimento mais gradual (Jank *et al.*, 2021), o que requer atenção especial durante a fase inicial do cultivo para garantir o pleno desenvolvimento da pastagem.

### **3. HIPÓTESE**

A aplicação de água residual de piscicultura em sistema de recirculação, potencializa a produtividade agrônômica e melhora a composição química da forrageira *Megathyrus maximum* - BRS Tamani, ao mesmo tempo que diminui a dependência de fertilizantes sintéticos e outros insumos externos.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Geral**

- Avaliar o impacto da fertirrigação com água residual de piscicultura no desempenho agrônômico e na composição química do *Megathyrus maximum* cv. BRS Tamani, a fim de otimizar a produção forrageira e garantir a sustentabilidade ambiental.

#### **4.2. Específicos**

- Avaliar as alterações na composição química da forrageira, incluindo macronutrientes, decorrentes da fertirrigação com água residual.
- Estimar a redução no uso de fertilizantes sintéticos e outros insumos externos em função da utilização de água residual de piscicultura.
- Analisar a relação custo-benefício da fertirrigação com água residual de piscicultura, considerando os ganhos de produtividade e a economia de insumos.

### **5. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **5.1. Local experimental**

O experimento foi conduzido durante o período de 23 de junho a 15 de setembro de 2024, totalizando 84 dias, no setor de piscicultura da Unidade de Produção Animal da Zootecnia – UNIPAZ fruto de parceria entre o Laboratório de Ictiofauna e Piscicultura Integrada – LABIPI e o Grupo de Inovação em Sistema de Produção – GINTEGRA, localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual do Maranhão, latitude 2°35'1.55"S e longitude 44°12'44.31"O (Figura 1). O clima da região é do tipo Am classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), a temperatura média anual de 26,8 °C, com valores médios de temperatura mínima de 23,3 °C e máxima de 30,8 °C. A pluviosidade média anual é de 2.156 mm, com valores variando entre 1.426 mm (mínimo anual) e 3.537 mm (máximo anual), conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024).

Figura 1: Setor de piscicultura da unidade de Produção Animal da Zootecnia – UNIPAZ/UEMA.

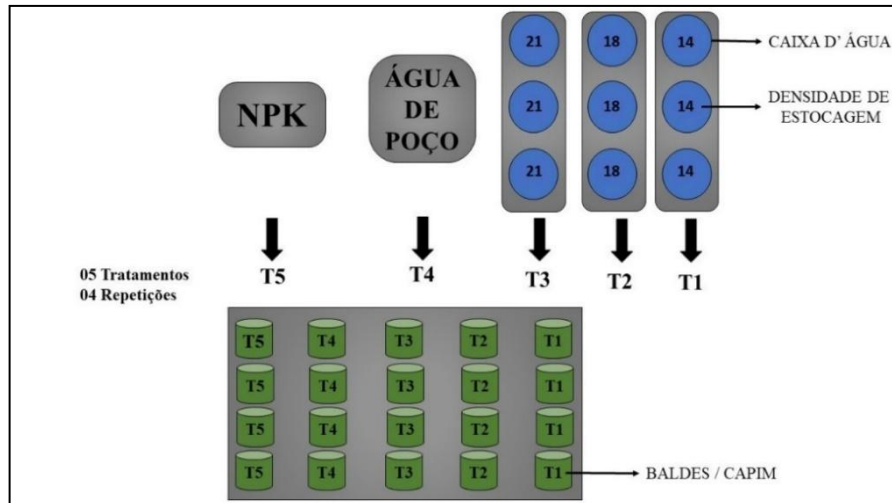


Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

## 5.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos na fertirrigação de *Megathyrus maximum* - BRS Tamani: 1° tratamento: Água combinada com baixa densidade de 14 peixes/m<sup>3</sup>, 2° tratamento: Água combinada com média densidade de 18 peixes/m<sup>3</sup>, 3° tratamento: Água combinada com alta densidade de 21 peixes/m<sup>3</sup>, 4° tratamento: Água de poço, 5° tratamento: NPK (adubação feita com Nitrogênio, Fósforo e Potássio), em quatro repetições (Figura 2).

Figura 2: Esquema representativo do delineamento experimental para avaliação do efeito de diferentes densidades de estocagem em cinco tratamentos (T1 a T5) na fertirrigação com quatro repetições.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

### 5.3. Instalações e Estrutura do Sistema

As parcelas experimentais consistiram em baldes de 12 L, contendo nove touceiras de capim BRS Tamani em estágio vegetativo inicial, com idade aproximada de 30 dias após o rebrote. Cada balde foi preenchido com 12 kg de solo, 2 kg de pedra brita e uma manta de bidim para retenção de partículas e drenagem. A estrutura esquemática do sistema experimental está apresentada na Figura 3.

Figura 3: Estrutura do balde com o plantio de *Megathyrsus maximum* - BRS Tamani.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Os peixes foram cultivados em caixas d'água de polietileno de 310 litros, com aeração contínua e utilização de um sistema semi-estático com trocas diárias de 10% do volume de água (Figura 4).

Figura 4: Caixas d'água de polietileno de 310 litros utilizadas para o cultivo dos peixes.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Toda a estrutura experimental, incluindo os baldes e as caixas d'água, foi instalada sob uma cobertura com sombrite de 50%, a fim de proteger o experimento da radiação solar direta e de variações térmicas acentuadas, garantindo condições ambientais mais estáveis para o desenvolvimento do capim e a manutenção da qualidade da água.

#### 5.4. Preparação do Solo e Adubação com NPK

No tratamento com adubação mineral convencional, foi preparada adubação seguindo as necessidades de nutrientes da BRS tamani (Tabela 1) e de acordo com análise laboratorial do solo (Tabela 2). Em seguida, foi realizado o cálculo para saber a necessidade de NPK e realizado a escolha das fontes de nitrogênio, potássio e fósforo (Quadros *et al.*, 2002).

Tabela 1: Faixa de teores foliares adequados de macronutrientes (% na matéria seca) na *Megathyrus maximum*.

Macronutrientes	Teor adequado (%)
Nitrogênio	1,8 – 3,0
Fósforo	0,15 – 0,40
Potássio	1,2 – 3,0

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2024) e Sánchez *et al.* (2019).

Tabela 2: valores médios das características\* do solo do local do experimento.

PARÂMETRO	VALOR AFERIDO	VALOR DE REFERÊNCIA
<b>Matéria Orgânica (M.O.)</b>	18 g/md <sup>3</sup>	20 – 50 g/md <sup>3</sup>
<b>pH</b>	3,5	5,5 – 6,5
<b>Fósforo (P)</b>	34 mg/md <sup>3</sup>	10 – 20 mg/md <sup>3</sup>
<b>Potássio (K)</b>	0,5 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	2,0 – 4,0 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Cálcio (Ca)</b>	5 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	20 – 40 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Manganês (Mg)</b>	1 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	5- 10 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Soma de bases (S.B.)</b>	6,5 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	30 – 60 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Ac.potencial (H+Al)</b>	46 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	20 – 40 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Capacidade de troca de cátions (CTC)</b>	52,5 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	50 – 100 mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
<b>Saturação de bases (V)</b>	12%	50 – 80%
<b>K/CTC</b>	1,0%	3 -5%
<b>Mg/CTC</b>	1,9%	10 -15%

Fonte: (CQFS-RS/SC, 2004).

As recomendações de calagem e adubação após as análises em laboratório foram:

Calagem: Recomenda aplicar CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (calcário dolomítico) para corrigir a acidez do solo (PRNT 68%) a uma taxa de 3,7 t/ha.

Adubação Mineral de Formação: Recomendações para aplicar fertilizantes baseados na fórmula 02-20-20:

- 200 kg/ha de uma formulação comercial 02-20-20 ou
- 500 kg/ha de uma formulação calcárea com micronutrientes ou
- 21 kg/ha de P e K como elementos.
- Adubação Mineral de Cobertura:

Recomendações para aplicar fertilizantes após a germinação do capim:

- CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (Ureia) (44% N) a 100 kg/ha ou
- Formulação comercial 25-00-10 a 200 kg/ha
- Equação exemplar nitrogénio (N):
- Valor nutricional ideal de N para a planta: 20 g/kg

Com base nas recomendações do laboratório, foram realizados os ajustes necessários para a calagem em todos os baldes, considerando uma área superficial de 706,86 cm<sup>2</sup> por

unidade. Além disso, foram aplicadas as doses específicas de adubação nos baldes pertencentes ao 5º tratamento (tratamento com adubação mineral convencional), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Recomendações ajustadas de acordo com a área do balde.

<b>Produto</b>	<b>Quantidade Recomendada para 706,86 cm<sup>2</sup></b>
Calcário Dolomítico	26,15 g
Formulação 02-20-20	1,41 g
Formulação Calcárea com Macronutrientes	3,54 g
21 kg/ha de P e K como elementos	0,148 g
Superfosfato Simples (200 kg/ha)	1,41 g
Cloreto de Potássio (69 kg/ha)	0,49 g
Ureia (91 kg/ha)	0,64 g

Fonte: Autoria própria.

## 5.5. Criação e Manejo dos Peixes

### 5.5.1. Regime Alimentar e Densidade de Estocagem

Este experimento foi submetido ao Comitê de Ética no Uso de Animais – CEUA da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Os peixes utilizados foram tambatingas (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) com peso médio inicial de  $23 \text{ g} \pm 2,26 \text{ g}$ . Foram mantidos em densidades iniciais de 14, 18 e 21 peixes/m<sup>3</sup>, ajustadas ao longo do ciclo de cultivo (Figura 5). Para usar essas densidades, foram realizados testes de densidade por 2 meses somente com sistema de circulação de água contínua tendo como referência a densidade de peixes de 15 kg/m<sup>3</sup> em escala comercial (Faria *et al.*, 2012).

Figura 5: Exemplar de tambatingas (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) no início do experimento com 23 g.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Durante o período de cultivo de 84 dias, correspondente à fase final de corte do capim, os peixes foram submetidos a um regime alimentar progressivamente adaptado para atender às suas necessidades nutricionais em mudança. Inicialmente, foram alimentados com uma ração comercial contendo 40% de proteína bruta, ideal para o seu crescimento. À medida que o cultivo avançou, a composição da ração foi ajustada para 36% de proteína bruta, equilibrando o desenvolvimento contínuo dos peixes com a eficiência alimentar (Araripe *et al.*, 2011). Além disso, as rações utilizadas apresentavam composições específicas para atender às necessidades nutricionais dos peixes em diferentes fases, conforme apresentado na Tabela 4. Este plano de alimentação estratégico assegura que os peixes receberam uma nutrição ótima ao longo de todo o ciclo de cultivo.

Tabela 4: Composição das rações utilizadas para os peixes durante o tempo do experimento.

<b>Parâmetro</b>	<b>Ração com 40% de proteína bruta</b>	<b>Ração com 36% de proteína bruta</b>
Proteína Bruta (mín.)	450 g/kg	350 g/kg
Fósforo (mín.)	10 g/kg	6,5 g/kg
Extrato Etéreo (mín.)	85 g/kg	60 g/kg
Fibra Bruta (máx.)	25 g/kg	35 g/kg
Matéria Mineral (máx.)	150 g/kg	120 g/kg
Cálcio (máx.)	30 g/kg	25 g/kg
Cálcio (mín.)	10 g/kg	6.500 mg/kg
Vitamina C (mín.)	1.500 mg/kg	500 mg/kg
Timol (mín.)	11,25 mg/kg	11,25 mg/kg
Carvacrol (mín.)	11,25 mg/kg	11,25 mg/kg
Protease (mín.)	3.150 U/kg	3.150 U/kg
Selênio Orgânico (mín.)	0,2 mg/kg	0,15 mg/kg
Zinco Orgânico (mín.)	50 mg/kg	30 mg/kg
Granulometria	1 mm	3 mm

Fonte: INTEGRAL MIX – peixes ([https://integralmix.com.br/categorias\\_produtos/peixes/](https://integralmix.com.br/categorias_produtos/peixes/)).

### 5.5.2. Avaliação dos Parâmetros Zootécnicos

Foram avaliados os seguintes parâmetros para monitorar o desempenho zootécnico dos peixes com biometrias realizadas a cada 14 dias: Sobrevivência - S (%); Ganho de Peso - GP (g); Ganho de Biomassa (g); Taxa de Crescimento Específico - TCE (%); Conversão Alimentar Aparente - CAA; Eficiência Alimentar - EA (%); Índice de Eficiência Proteica - IEP (%) (Rodrigues, 2019); de acordo com as equações abaixo:

$$S(\%) = Nf \times \frac{100}{Ni}$$

Onde:

S = taxa de sobrevivência (%);

Nf = número final de peixes;

Ni = número inicial de peixes.

$$GP(g) = PMf - PMi$$

Onde:

GB = ganho de peso (g);

PMf = peso médio final (g);

PMi = peso médio inicial (g).

$$GB(g) = BF - Bi$$

Onde:

GB = ganho de biomassa (g).

Bf = biomassa final (g);

Bi = biomassa inicial (g).

$$TCE(\%) = \frac{\ln PF - \ln PI}{T} \times 100$$

Onde:

TCE = taxa de crescimento específico (%);

Ln = logaritmo neperiano e;

Pf = peso médio final (g);

Pi = peso médio inicial (g);

T = tempo de experimento (d).

$$CAA = \frac{QR}{GB}$$

Onde:

CAA = conversão alimentar aparente (g de ração g de peixe<sup>-1</sup>);

QR = quantidade de ração consumida (g).

GB = ganho de biomassa (g).

$$EA(\%) = GP \times \frac{100}{QR}$$

Onde:

EA = Eficiência Alimentar (%);

GP = ganho de peso (g);

QR = quantidade de ração consumida (g).

$$IEP = \frac{GP}{QR}$$

Onde:

IEP = índice de eficiência proteica;

GP = ganho de peso (g);

QR = proteína consumida (g).

### 5.5.3. Qualidade da Água

Os parâmetros de qualidade da água (oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade elétrica, amônia total, nitrito, nitrato, alcalinidade e dureza) foram aferidos diariamente antes, dentro e depois da água entrar no sistema de cultivo. Já os níveis de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) nas águas de cada tratamento foram aferidos e coletados a cada 7 dias (Bauchspiess, 2020), sendo anotados em fichas pelos colaboradores.

A determinação do nitrogênio total foi realizada utilizando uma fórmula que converte as concentrações de amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) em nitrogênio elementar (N), conforme descrito a seguir:

$$\text{Nitrogênio total} = \left( \frac{\text{Âmonia (NH}_4^{+}) \times 14}{18} \right) + \left( \frac{\text{Nitrito (NO}_2^{-}) \times 14}{46} \right) + \left( \frac{\text{Nitrato (NO}_3^{-}) \times 14}{62} \right)$$

Essa metodologia permite expressar as concentrações dessas formas inorgânicas de nitrogênio em uma única unidade (mg N/L), proporcionando uma visão mais ampla e precisa da dinâmica do nitrogênio no sistema de piscicultura. Estudos como o de Koistinen *et al.* (2019) confirmam a eficiência dessa abordagem no manejo sustentável de sistemas de recirculação de água.

O método utilizado para a análise de potássio e fósforo total na água, por meio dos kits Spectro Kit Potássio e Spectro Kit Fosfato Total, essas análises foram realizadas conforme o protocolo do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, sendo amplamente recomendado pela sua simplicidade e precisão em estudos de qualidade da água. A análise de potássio foi feita por turbidimetria, onde o potássio reage com Tetrafenilborato de Sódio, formando uma suspensão que é medida em 415 nm (APHA, 2017). Já para a análise de fósforo total seguiu um método de digestão ácida, onde o ortofosfato reage com molibdato de amônio para formar um complexo azul, medido em 650 nm. A escolha deste procedimento tende a garantir a conversão de todas as formas de fósforo em ortofosfato, permitindo uma análise abrangente (APHA, 2017).

Devido ao fato de o cultivo dos peixes ser em pequena escala, em caixa de polietileno e em casa de vegetação, o sistema adotado para o escoamento de água foi o em regime semi-estático, ou seja, foi realizado a troca parcial de água nos sistemas de cultivo dos peixes seguindo o protocolo estabelecido para os três tratamentos distintos. Utilizando um balde de 100 litros e uma mangueira de sifonagem, foi realizada a remoção cuidadosa de 10% do volume de água de cada caixa d'água do sistema todos os dias, completando os 100 litros com água proveniente da superfície do decantador. Esta água foi então descartada, em seguida substituída por água de poço (Figura 6). Esse método assegura a renovação parcial da água, contribuindo para a manutenção das condições ideais de cultivo e bem-estar dos peixes.

Figura 6: Manutenção diária de sifonagem/troca de 10% do volume de água das caixas do sistema.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Para os períodos de irrigação que condizem com a troca de água, estabeleceu-se um protocolo de manejo hídrico que contempla a retirada criteriosa de 10% do volume de água. Esse processo inicia-se com a sifonagem dos 10% do volume de água, no entanto foi descartado apenas 9,6% do volume total das caixas d'água do sistema (96 litros), pois foi utilizado 4 litros de água para a irrigação da BRS - Tamani, assegurando assim a renovação constante e a eficiência no uso dos recursos hídricos.

Em relação ao cálculo da vazão necessária para o sistema de piscicultura em caixas d'água foi realizado com base na abordagem descrita por Embrapa (2018). O objetivo foi determinar o tempo necessário para o enchimento de cada caixa d'água e, a partir disso, ajustar a estimativa da vazão utilizada no sistema.

Inicialmente, foram realizadas medições da capacidade total de cada caixa d'água e do tempo necessário para enchê-las completamente. Com essas informações, a vazão foi calculada utilizando a fórmula:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Onde:

- Q é a vazão requerida (m<sup>3</sup>/s ou L/s);

- V é o volume total da caixa d'água (m<sup>3</sup> ou L);
- t é o tempo necessário para encher a caixa (s ou h).

Os cálculos consideraram a reposição diária de 10% do volume total de cada caixa d'água, necessária para a renovação parcial da água do sistema. Durante os testes, o tempo de enchimento foi monitorado e ajustado para atender ao período de operação definido para 1 hora.

Além disso, o planejamento levou em conta a capacidade total das caixas d'água, os períodos de sifonagem e os horários de operação do sistema. Dessa forma, garantiu-se um fluxo eficiente e contínuo de água, atendendo às demandas do cultivo e evitando perdas excessivas ou insuficiência no abastecimento.

Foi realizada a determinação da vazão necessária para encher a caixa d'água de polietileno com capacidade total de 310 litros (0,31 m<sup>3</sup>), considerando um volume líquido de 250 litros (0,25 m<sup>3</sup>) a ser utilizado. O tempo para o enchimento completo da caixa foi de 1 hora (3600 segundos). Para o cálculo da vazão, utilizou-se a fórmula:

$$Q = \frac{0,25m^3}{3600s}$$

$$Q = 0,0000694m^3/s \text{ ou } Q = 0,0694L/s$$

Portanto, a vazão necessária para encher completamente a caixa d'água de 250 litros em 1 hora é de 0,0694 L/s.

Já o cálculo da evaporação no sistema de piscicultura foi realizado utilizando o método de Hargreaves-Samani, que estima a evaporação potencial diária com base na temperatura do ar e na umidade relativa (Chaves, 2017). Esse método foi escolhido devido à sua simplicidade e aplicabilidade, especialmente em regiões onde dados de radiação solar são limitados.

A evaporação potencial diária foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$E_0 = 0,0023 \times (T \text{ média} + 17,8) \times (T \text{ máx} - T \text{ mín})^{0,5} \times (R_a)$$

Onde:

- $E_0$  é a evaporação potencial (mm/dia);
- $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_{\text{média}}$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $R_a$  é a umidade relativa média do ar (%).

Para calcular a evaporação potencial, foram coletadas as temperaturas máxima e mínima diárias do ar, e a temperatura média foi obtida através da média aritmética dessas duas temperaturas. A umidade relativa média do ar também foi registrada ao longo do dia para ser inserida na fórmula.

Com os valores da evaporação potencial diária calculados, foi possível estimar a quantidade de água que precisaria ser reposta nas caixas d'água para compensar as perdas por evaporação e manter os níveis de água adequados no sistema.

Além disso, o cálculo da evaporação foi combinado com os valores de perda por sifonagem e as reposições diárias, conforme detalhado anteriormente, garantindo a eficiência no abastecimento e no controle do volume de água do sistema.

Para o cálculo da evaporação, foram utilizadas as médias das temperaturas máxima e mínima do ar, bem como a umidade relativa média do ar obtidas através do aparelho titulado TERMO HIGRÓMETRO DIGITAL, Modelo:766302000. Os dados utilizados foram os seguintes:

- Temperatura Máxima Média ( $T_{\max}$ ):  $32^{\circ}\text{C}$
- Temperatura Mínima Média ( $T_{\min}$ ):  $26^{\circ}\text{C}$
- Temperatura Média ( $T_{\text{méd}}$ ):  $28^{\circ}\text{C}$  (obtida pela média aritmética de  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$ )
- Umidade Relativa Média ( $R_a$ ): 75%

$$E_0 = 0,0023 \times (28 + 17,8) \times (32 - 26)^{0,5} \times 0,75^{0,5}$$

$$E_0 = 0,0023 \times 45,8 \times 2,449 \times 0,866 \approx 0,178 \text{ mm/dia}$$

A evaporação potencial diária estimada para o sistema de piscicultura é de aproximadamente 0,178 mm/dia.

## 5.6. Manejo da Fertirrigação e Capim BRS Tamani

### 5.6.1. Protocolo de Fertirrigação

A fertirrigação foi realizada a cada dois dias, onde se utilizaram as recomendações da Embrapa Gado de Corte (2015), de forma manual no volume de 1 litro de água por balde de capim, totalizando uma quantidade 4 litros usado por tratamento (Figura 7).

Figura 7: Demonstração de Irrigação do Capim BRS - Tamani por Colaborador.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Para determinar um 1 litro de água por balde, foi feito um teste de capacidade de vaso (Casaroli e Jong van Ier, 2008), realizado em dois vasos plásticos de 28 cm de altura, 12 L de volume e com área de drenagem sendo 9 furos de aproximadamente 3 cm<sup>2</sup>, preenchendo-se 1 vaso com 12 kg de solo exposto ao sol (A) e outro com 12 kg coberto com filme plástico (B) (Figura 8), de modo a obter densidades de 1 kg/m<sup>3</sup>, em ambos. Antes do preenchimento dos vasos, os solos foram secos ao ar e peneirados em peneira de malha de 5 mm.

Figura 8: Baldes usados no teste de capacidade de vaso, balde A exposto ao sol no ambiente e balde B coberto com filme plástico para evitar evaporação.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

A fórmula utilizada para calcular a densidade dos solos no estudo foi a fórmula padrão da densidade, dada por:

$$p = \frac{m}{v}$$

Onde:

- p representa a densidade do solo,
- m é a massa do solo seco, e
- v é o volume do vaso.

Sendo assim;

$$p = \frac{12 \text{ kg}}{12 \text{ litro}} = 1 \text{ kg/m}^3$$

Os solos acomodados nos vasos foram colocados para saturar com 1400 ml de água. Dessa forma, os vasos foram mantidos por um período de 24 h, para que ocorresse a saturação completa. Logo após um dos baldes foi coberto com filme plástico, para evitar a evaporação, e então colocado os dois para drenar livremente, sendo observados nos tempos zero e após 24, 36, 48, 60, 72, 96, 120, 144, 168 h. O balde livre exposto ao sol levou cerca de 48 horas para drenar toda água, já o coberto com lona levou cerca de 168 horas (1 semana), segundo a Embrapa, (2011), a quantidade de água recomendada é 6,5 mm, sendo assim temos:

$$Q_{ad} = A_p \times Q_{am}$$

Onde;

$Q_{ad}$  = Quantidade de água por dia (em litros);

$A_p$  = Área do plantio (em metros quadrados);

$Q_{am}$  = Quantidade de água por metro quadrado.

$$Q_{ad} = 707 \text{ cm}^2 \times 0,65 \text{ cm} = 460 \text{ ml/cm}^2 \text{ ou } 0,46 \text{ L/m}^2$$

Sendo assim levando em consideração a quantidade de água por dia em litros e quantidade de saturação do solo temos:

$$Q_{ai} = Q_{ad} - Q_{as}$$

Onde;

$Q_{ai}$  = Quantidade de água na Irrigação;

$Q_{ad}$  = Quantidade de água por dia;

$Q_{as}$  = Quantidade de água na saturação.

$$Q_{ai} = 0,46 \text{ L} - 1,4 \text{ L}$$

$Q_{ai} = 0,96$  litros, então arredondando para 1 litro de água por balde.

### 5.6.2. Produção e Corte do Capim

Seguindo as recomendações da Embrapa Gado de Corte (2015), a BRS Tamani é uma gramínea cespitosa, que deve ser manejada preferencialmente sob pastejo rotacionado, não permitindo altura de resíduo menor que 20-25 cm, com períodos de descanso iguais ou menores que 28 dias no período das águas desde que os níveis de fertilidade do solo estejam adequados. Sendo assim, foram realizados 3 cortes no capim a cada 28 dias mantendo uma altura de entrada 50 cm e de saída 25 cm até o final do ciclo em 84 dias (Figura 9).

Figura 9: Colaborador realizando corte do capim na altura de 25 cm.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

### 5.7. Análises Laboratoriais

A cada corte, foram retiradas amostras para determinação da massa verde e seca, sendo essa, realizada após a secagem das amostras em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura a 65°C por 72 horas. Após a secagem, o material foi moído em moinho tipo Wiley equipado com peneira de malha com abertura de 1mm para serem amostrados 2 g de massa pré seca e levado à estufa a 105°C, por 12 horas para quantificar a matéria seca definitiva. Foram realizadas determinações de massa seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) utilizando metodologia descrita em Silva & Queiroz (2002).

Ademais, para determinar os teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) das amostras de capim *Megathyrsus maximum*, provenientes de cada um dos tratamentos experimentais, foram coletadas 20 amostras de cada corte realizado, quatro de cada tratamento. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e transportadas para o Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da FE/Unesp-Campus de Ilha Solteira para análise.

No laboratório, as amostras foram lavadas com água destilada para remoção de impurezas superficiais e, em seguida, secas em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingirem peso constante. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de 1 mm e armazenadas em frascos hermeticamente fechados para posterior análise.

A determinação do nitrogênio foi realizada pelo método de Kjeldahl, utilizando digestão com ácido sulfúrico e catalisador de selenato de lítio ( $\text{Li}_2\text{SeO}_4$ ). Após a digestão, a amostra foi destilada e titulada com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,01 N, sendo os resultados expressos em percentual da matéria seca (Tedesco et al., 1995). Para a quantificação do fósforo, utilizou-se o método do azul de molibdênio, onde a amostra foi submetida a digestão ácida com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), sendo posteriormente quantificada por espectrofotometria a 882 nm (Malavolta *et al.*, 1997). O fósforo foi expresso em mg de P por kg de matéria seca. Já a análise de potássio foi realizada por fotometria de chama, após digestão da amostra com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio. A leitura foi realizada em fotômetro de chama, utilizando padrões de potássio para calibração, e os resultados foram expressos em mg de K por kg de matéria seca (Embrapa, 2011).

### **5.8. Análises Estatísticas**

Os dados foram inicialmente submetidos aos testes de normalidade e homoscedasticidade e, em seguida, à análise de variância (ANOVA) para comparação entre os diferentes tratamentos, considerando nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), utilizando o software Sisvar 5.3 (Ferreira, 2019). Após a ANOVA, o teste de Tukey foi aplicado para determinar exatamente quais grupos diferem entre si.

Para avaliar as diferenças nas características bromatológicas do capim BRS Tamani entre o início e o final do experimento, foi realizado o teste t pareado para amostras dependentes. Essa análise estatística foi aplicada para cada variável avaliada, considerando os cinco tratamentos. As características analisadas incluíram a matéria seca (MS%), matéria mineral (MM%), proteína bruta (PB%), fibra em detergente neutro (FDN%), fibra em detergente ácido (FDA%) e lignina (LIG%).

Inicialmente, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, separando os valores das análises realizadas nas amostras pré e pós-secagem para cada tratamento. Em seguida, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Como as distribuições foram normais, o teste t pareado foi utilizado para comparar as médias entre os dois momentos (inicial e final).

Para cada variável e tratamento, o teste t determinou se a diferença observada entre as médias foi estatisticamente significativa, adotando um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

As diferenças estatisticamente significativas foram indicadas por letras distintas, conforme os resultados das comparações. Os dados foram apresentados em gráficos, evidenciando as variações entre os tratamentos ao longo do experimento.

### **5.9. Análise de Viabilidade Econômica**

Nesta etapa do estudo, foi realizada uma análise de viabilidade econômica comparativa com o objetivo de mensurar os resultados financeiros da produção de capim BRS Tamani sob duas estratégias de manejo: Tratamento 3 (T3), fertirrigado com efluente da piscicultura, e Tratamento 5 (T5), submetido à adubação mineral convencional (NPK) e irrigado com água de poço. Optou-se pelo T3 na análise econômica por apresentar os melhores resultados agronômicos entre os níveis de fertirrigação avaliados (densidades de 14, 18 e 21 peixes/m<sup>3</sup>), permitindo uma comparação mais representativa com a adubação mineral convencional.

O delineamento metodológico para esta análise seguiu os procedimentos descritos abaixo.

#### **5.9.1. Indicadores de Desempenho Econômico**

Para a comparação da performance econômica, o principal indicador utilizado foi o Lucro Bruto por Hectare (R\$/ha). Este indicador foi obtido a partir do cálculo do Custo Operacional Efetivo e da Receita Bruta para cada um dos tratamentos, conforme a seguinte equação:

$$\text{Lucro Bruto} = \text{Receita Bruta} - \text{Custo Operacional Efetivo}$$

#### **5.9.2. Procedimentos de Cálculo**

- Apuração do Custo Operacional Efetivo (R\$/ha)

O custo operacional foi calculado de maneira distinta para cada tratamento, refletindo a natureza de seus insumos:

Para o Tratamento 5 (Adubação Convencional): O custo foi mensurado pelo dispêndio financeiro total com a aquisição de fertilizantes minerais. Procedeu-se ao levantamento da quantidade aplicada de cada nutriente (N, P, K) e à sua valoração monetária. Os preços de

referência para as fontes de fertilizantes (Ureia, Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio) foram obtidos a partir de médias de mercado para o período do experimento, com base nas séries históricas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea, 2024) e da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024).

Para o Tratamento 3 (Fertirrigação com Água de Piscicultura): O benefício econômico foi mensurado pelo conceito de custo evitado. Uma vez que os nutrientes foram fornecidos pelo efluente da piscicultura, não houve desembolso direto para sua aquisição. O valor deste benefício foi quantificado monetariamente, estimando-se o custo que o produtor teria para adquirir, via fertilizantes minerais, a mesma carga de nutrientes (N, P, K) que foi fornecida pela água. No entanto, para o cálculo do Lucro Bruto, o Custo Operacional Efetivo do T3 referente a fertilizantes foi considerado zero.

- Estimativa da Receita Bruta (R\$/ha)

A Receita Bruta foi calculada para ambos os tratamentos utilizando-se a mesma metodologia, de modo a permitir uma comparação direta. A fórmula aplicada foi:

$$\text{Receita Bruta} = \text{Produtividade de Matéria Seca (kg/ha)} \times \text{Preço de Mercado (R$/kg)}$$

A produtividade de matéria seca foi obtida diretamente dos resultados agronômicos deste estudo para cada tratamento.

O preço de mercado do capim (expresso em R\$/kg de matéria seca ou seu equivalente em feno) foi determinado a partir de uma média de preços praticados na região de estudo ou em mercados de referência.

### 5.9.3. Premissas e Delimitações da Análise

Para garantir que a comparação refletisse estritamente o impacto das estratégias de fertilização, as seguintes premissas foram adotadas:

**Custos de Infraestrutura e Depreciação:** Os custos de implantação, manutenção e depreciação dos sistemas de irrigação e bombeamento foram considerados equivalentes para ambos os tratamentos (T3 e T5) e, portanto, não foram incluídos nos cálculos.

Custo de Mão de Obra: O custo com mão de obra para manejo e aplicação foi também considerado similar entre os sistemas e excluído da análise comparativa.

Custo da Água: O custo de captação da água de poço (T5) e do efluente da piscicultura (T3) foi tido como desprezível ou equivalente para fins deste estudo. O volume de água aplicado por hectare foi o mesmo para os dois tratamentos. Este delineamento metodológico permitiu uma comparação direta e objetiva do impacto econômico da substituição de fertilizantes minerais pela fertirrigação com água de piscicultura na produção do capim BRS Tamani.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Qualidade da Água do Sistema de Piscicultura

A água do poço utilizada como referência apresentou valores de pH ( $6,88 \pm 0,12$ ) e oxigênio dissolvido ( $6,90 \pm 0,25 \text{ mg L}^{-1}$ ) semelhantes aos observados nos tratamentos com água residual de piscicultura, não havendo diferença estatística para esses parâmetros ( $p = 0,623$  e  $p = 0,413$ , respectivamente; Tabela 5). Em contraste, a salinidade diferiu significativamente entre os tratamentos ( $p = 0,007$ ), variando de  $0,145 \pm 0,02$  ppt na água do poço a  $0,28 \pm 0,25$  ppt nos sistemas com água residual. Os sólidos totais dissolvidos também apresentaram diferenças significativas ( $p = 0,005$ ), com médias de  $39 \pm 2,5$  ppm na água do poço e valores superiores a 180 ppm nos tratamentos com água residual. De forma semelhante, a condutividade elétrica foi significativamente maior nos sistemas com água residual ( $p = 0,004$ ).

Os compostos nitrogenados apresentaram diferenças altamente significativas entre os tratamentos ( $p < 0,001$ ). A amônia total variou de  $0,045 \pm 0,005 \text{ mg L}^{-1}$  na água do poço até  $0,37 \pm 0,12 \text{ mg L}^{-1}$  nos sistemas com maior densidade de estocagem, enquanto o nitrito apresentou elevação significativa nos tratamentos com água residual, indicando acúmulo progressivo desses metabólitos sob maior carga orgânica..

Tabela 5: Comparação dos parâmetros da água inicial do poço e dos tratamentos.

Parâmetros	Água do Poço	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
pH	$6,88 \pm 0,12a$	$6,13 \pm 1,80a$	$5,87 \pm 0,84a$	$6,01 \pm 0,60a$
Oxigênio (mg/L)	$6,90 \pm 0,25a$	$6,74 \pm 3,17a$	$6,15 \pm 0,82a$	$6,01 \pm 0,87a$
Salinidade (ppt)	$0,145 \pm 0,02b$	$0,19 \pm 0,045ab$	$0,28 \pm 0,25a$	$0,175 \pm 0,02b$
Sólidos Totais (ppm)	$39 \pm 2,5b$	$212,34 \pm 50,10a$	$188,69 \pm 54,36ab$	$190,58 \pm 24,45b$
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	$345 \pm 15b$	$427,45 \pm 102,49a$	$381,64 \pm 111,45ab$	$378,01 \pm 44,08b$

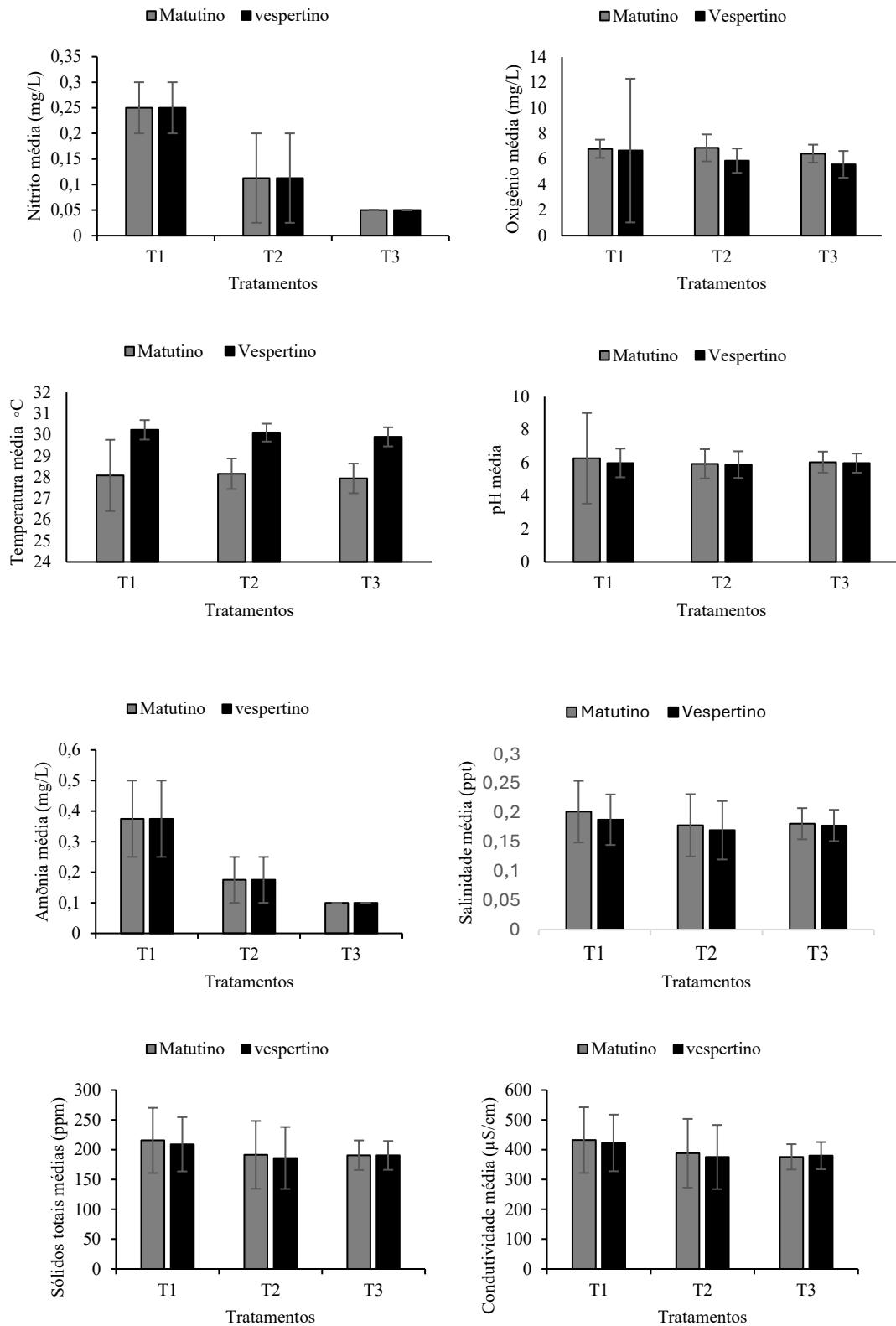
Amônia (mg/L)	0,045 ± 0,005b	0,37 ± 0,12a	0,17 ± 0,07b	0,10 ± 1,39 × 10 <sup>-17</sup> b
Nitrito (mg/L)	0,02 ± 0,003b	0,25 ± 0,05a	0,11 ± 0,08b	0,05 ± 6,94 × 10 <sup>-16</sup> c

\*Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes na linha indicam diferenças significativas pelo teste de ANOVA ( $p < 0,05$ ). Tratamento 1: 14 peixes/m<sup>3</sup>, Tratamento 2: 18 peixes/m<sup>3</sup>, Tratamento 3: 21 peixes/m<sup>3</sup>. Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

A análise dos parâmetros de qualidade da água durante o experimento não revelou diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tratamentos para nenhuma das variáveis mensuradas. Os parâmetros físico-químicos mantiveram-se estáveis. A temperatura variou de 26,6 a 31,6 °C ( $p > 0,66$ ), refletindo apenas a oscilação diária esperada entre os períodos matutino e vespertino. O pH variou de 3,68 a 7,22 ( $p > 0,89$ ), não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Entretanto, observou-se uma leve tendência à acidificação da água, possivelmente associada ao metabolismo dos peixes e à decomposição da matéria orgânica. O oxigênio dissolvido variou de 3,9 a 7,7 mg/L ( $p > 0,92$ ), sem diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Contudo, observou-se uma tendência de redução dos níveis com o aumento da densidade de peixes, o que era esperado em função do maior consumo de oxigênio pela respiração. A salinidade variou de 0,11 a 0,35 ppt ( $p > 0,36$ ), os sólidos totais variaram de 121 a 365 ppm ( $p > 0,72$ ) e a condutividade elétrica variou de 241 a 729  $\mu\text{S/cm}$  ( $p > 0,76$ ), permaneceram constantes, com pequenas variações atribuídas a fatores como evaporação e sedimentação de partículas.

As concentrações de compostos nitrogenados também não apresentaram diferenças significativas. Tanto a amônia variou de 0,1 a 0,5 mg/L ( $p > 0,63$ ), quanto o nitrito variou de 0,025 a 0,3 mg/L ( $p > 0,55$ ), tenderam a diminuir ao longo do experimento, o que sugere uma eficiente atividade microbiana e o estabelecimento do ciclo do nitrogênio no sistema (Figura 10).

Figura 10: A média dos parâmetros (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais, condutividade elétrica, amônia e nitrito) observados nos tratamentos (tratamento 1: 14 peixes/m<sup>3</sup>, tratamento 2: 18 peixes/m<sup>3</sup>, tratamento 3: 21 peixes/m<sup>3</sup>) durante o experimento.



Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

## 6.2. Desempenho Agrônômico e Composicional do Capim BRS Tamani

A análise estatística dos parâmetros N (Nitrogênio), P (Fósforo) e K (Potássio) nos tratamentos baixa densidade (14 peixes/m<sup>3</sup>), média densidade (18 peixes/m<sup>3</sup>) e alta densidade (21 peixes/m<sup>3</sup>) indicou variações significativas entre as concentrações desses elementos conforme a densidade de peixes nas caixas. Para a variável Nitrogênio (N), observou-se uma diferença significativa entre T1 e T3 ( $p = 0,0044$ ), enquanto as comparações entre T1 e T2 ( $p = 0,189$ ) e entre T2 e T3 ( $p = 0,1499$ ) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Na análise do Fósforo (P), verificou-se uma diferença significativa entre T1 e T3 ( $p = 0,0036$ ). No entanto, as comparações entre T1 e T2 ( $p = 0,174$ ) e entre T2 e T3 ( $p = 0,1396$ ) não indicaram diferenças estatisticamente significativas.

Por fim, na análise do Potássio (K), a comparação entre T1 e T3 indicou uma diferença significativa ( $p = 0,0047$ ). Entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre T1 e T2 ( $p = 0,1087$ ) e entre T2 e T3 ( $p = 0,2669$ ). Os resultados indicam que a maior densidade de peixes (T3) resulta em concentrações significativamente mais elevadas de N, P e K quando comparadas ao tratamento de menor densidade (T1) (Tabela 6).

Tabela 6: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (mg/L) na água de piscicultura nos tratamentos com 14, 18 e 21 peixes/m<sup>3</sup> ao longo do experimento.

Tratamentos	Nitrogênio (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Potássio (mg/L)
T1 (14 peixes/m <sup>3</sup> )	2,58 ± 0,13b	0,61 ± 0,04b	1,26 ± 0,07b
T2 (18 peixes/m <sup>3</sup> )	2,79 ± 0,14ab	0,69 ± 0,06ab	1,42 ± 0,10ab
T3 (21 peixes/m <sup>3</sup> )	3,00 ± 0,18a	0,78 ± 0,08a	1,53 ± 0,11a

\*Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

A análise dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no capim BRS Tamani, considerando os três cortes como medidas repetidas no tempo, indicou efeito significativo dos tratamentos, do tempo de corte e da interação tratamento × corte ( $p < 0,05$ ).

De forma geral, os tratamentos irrigados com água residual de piscicultura apresentaram maiores teores de N, P e K em comparação aos tratamentos com água de poço e adubação mineral convencional. O tratamento com água residual proveniente do sistema de maior densidade de estocagem apresentou os maiores valores médios desses nutrientes ao longo dos cortes, evidenciando efeito acumulativo da fertirrigação com efluente aquícola.

Observou-se incremento progressivo nos teores de nutrientes do primeiro para o terceiro corte, indicando efeito residual da fertilização ao longo do tempo, especialmente para o nitrogênio e o potássio. O fósforo apresentou comportamento semelhante, com maior acúmulo nos tratamentos com água residual, destacando-se o tratamento de maior densidade de peixes. As médias detalhadas por corte encontram-se apresentadas nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 1ª Corte.

<b>Tratamento</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>
T1 (Água combinada com 14 peixes/m <sup>3</sup> )	2,75 ± 0,02c	0,22 ± 0,01b	0,65 ± 0,01c
T2 (Água combinada com 18 peixes/m <sup>3</sup> )	2,9 ± 0,02b	0,25 ± 0,01a	0,8 ± 0,01b
T3 (Água combinada com 21 peixes/m <sup>3</sup> )	3,05 ± 0,02a	0,28 ± 0,01a	0,95 ± 0,01a
T4 (Água de poço)	2,05 ± 0,01d	0,18 ± 0,01c	0,4 ± 0,01e
T5 (NPK)	2,4 ± 0,01c	0,2 ± 0,01b	0,5 ± 0,01b

\*Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Tabela 8: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 2ª Corte.

<b>Tratamento</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>
T1 (Água combinada com 14 peixes/m <sup>3</sup> )	2,89 ± 0,01b	0,24 ± 0,01c	0,7 ± 0,01b
T2 (Água combinada com 18 peixes/m <sup>3</sup> )	3,03 ± 0,01a	0,27 ± 0,01b	0,85 ± 0,01a
T3 (Água combinada com 21 peixes/m <sup>3</sup> )	3,24 ± 0,01a	0,3 ± 0,01a	1 ± 0,01a
T4 (Água de poço)	2,06 ± 0,01d	0,18 ± 0,01d	0,41 ± 0,01c
T5 (NPK)	2,42 ± 0,01c	0,21 ± 0,01c	0,51 ± 0,01c

\*Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Tabela 9: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani – 3ª Corte.

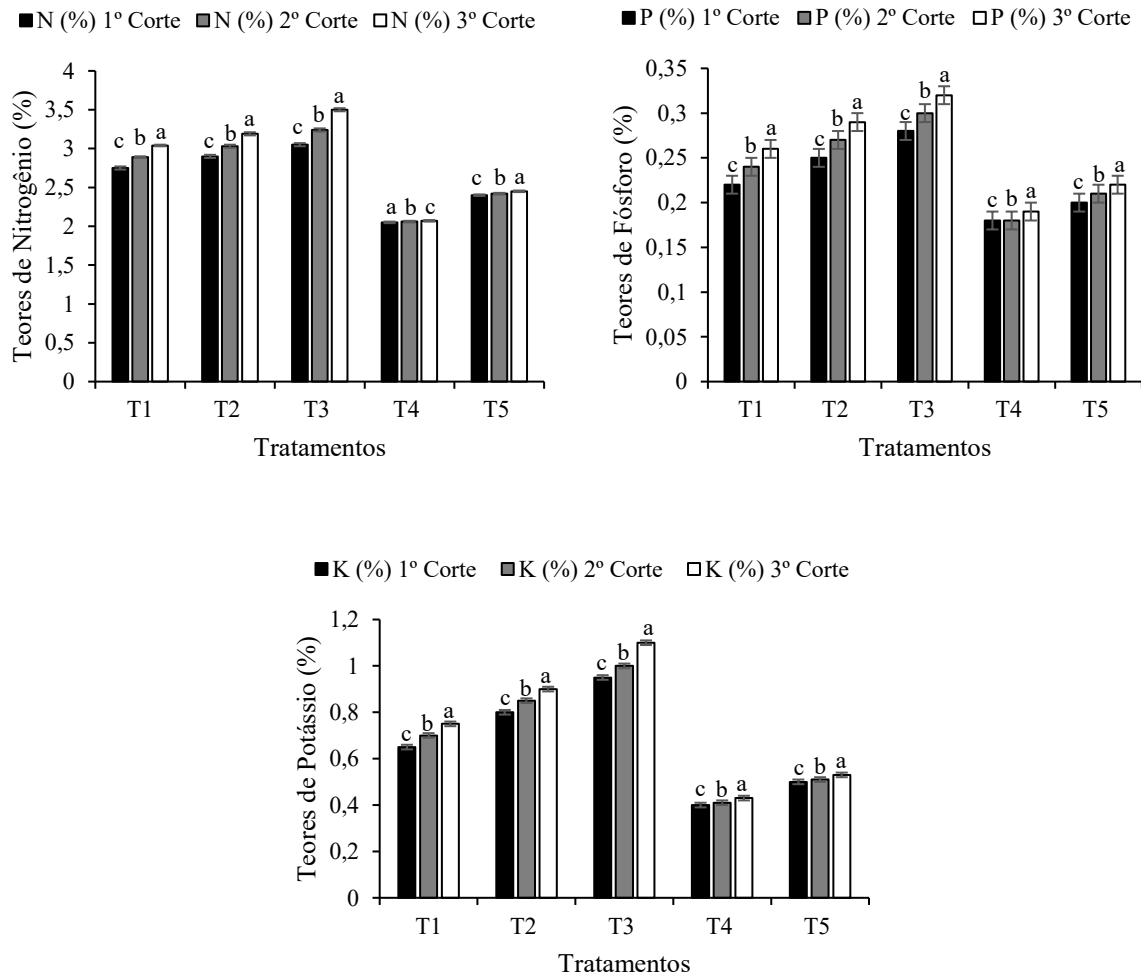
<b>Tratamento</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>
T1 (Água combinada com 14 peixes/m <sup>3</sup> )	3,04 ± 0,01b	0,26 ± 0,01c	0,75 ± 0,01c
T2 (Água combinada com 18 peixes/m <sup>3</sup> )	3,19 ± 0,01a	0,29 ± 0,01b	0,9 ± 0,01b
T3 (Água combinada com 21 peixes/m <sup>3</sup> )	3,5 ± 0,01a	0,32 ± 0,01a	1,1 ± 0,01a
T4 (Água de poço)	2,07 ± 0,01d	0,19 ± 0,01d	0,43 ± 0,01e
T5 (NPK)	2,45 ± 0,01c	0,22 ± 0,01c	0,53 ± 0,01d

Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Além disso, as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio na matéria seca do capim variaram de forma significativa entre os cortes dentro de cada tratamento. Para o teor de nitrogênio, em todos os tratamentos, observou-se um aumento progressivo dos valores do primeiro para o terceiro corte, com diferenças estatisticamente significativas (p < 0,05) entre os cortes. De maneira semelhante, o teor de fósforo apresentou elevação significativa ao longo dos cortes em todos os tratamentos analisados. As médias do segundo corte foram superiores às do primeiro e inferiores às do terceiro, indicando um crescimento gradual. Quanto ao potássio,

também foram observadas diferenças significativas entre os cortes, com incremento dos valores do primeiro para o terceiro corte em todos os tratamentos (Figura 11).

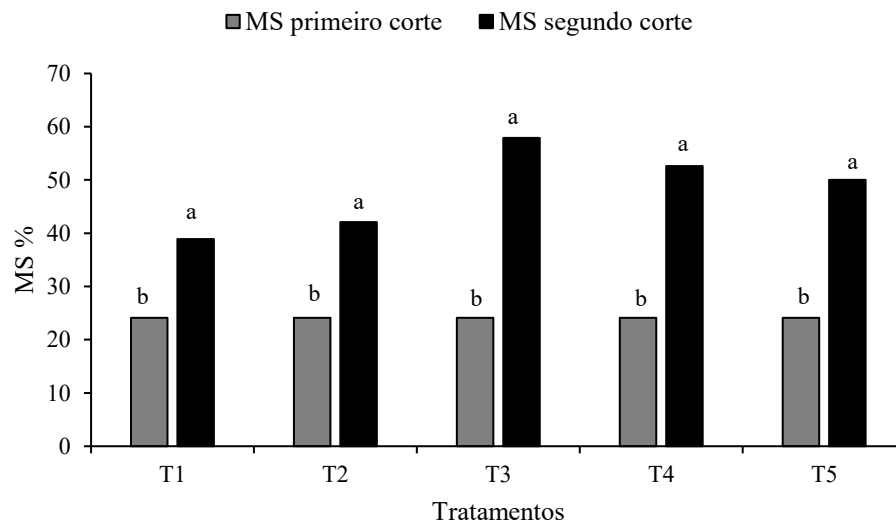
Figura 11: Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Capim BRS Tamani no 1º, 2º e 3º Corte.



\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Os resultados das análises bromatológicas indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores do primeiro corte e segundo corte para a maioria das variáveis analisadas, com p-valores próximos de zero. A matéria seca (MS%) apresentou aumento em todos os tratamentos, passando de 24,11% no primeiro corte do experimento para valores entre 38,89% (T1) e 57,89% (T3) ao segundo corte (Figura 12). O Teste t indicou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre os valores do primeiro corte e segundo corte em todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5).

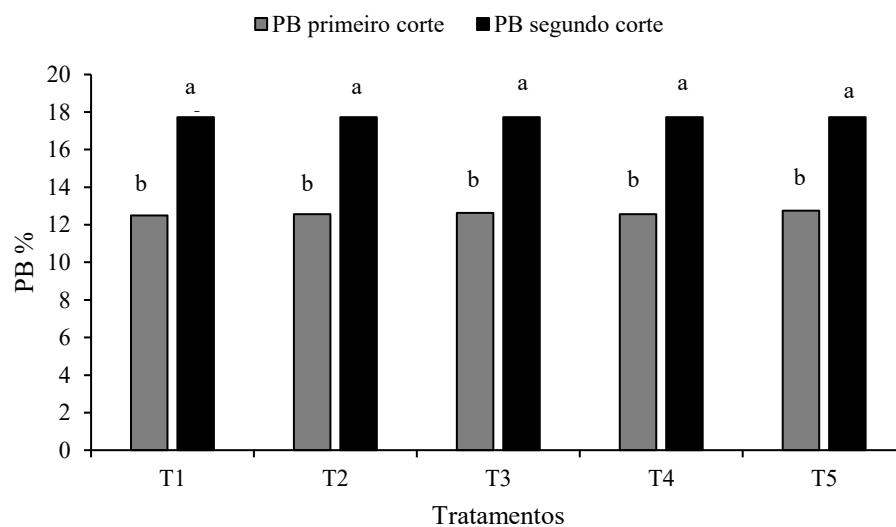
Figura 12: Porcentagem de matéria seca nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

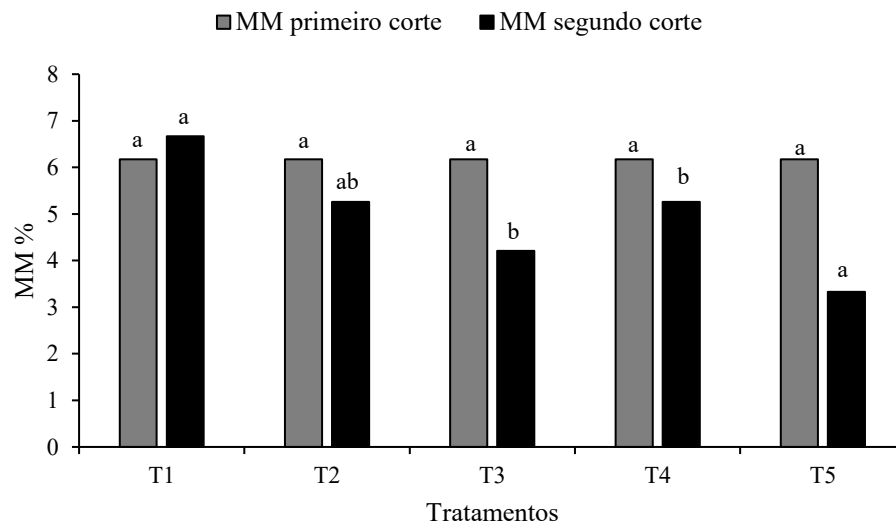
O teor de proteína bruta (PB%) aumentou, variando de 12,50% (T1) e 12,75% (T5) no primeiro corte para valor de 17,72% no segundo corte (Figura 13). O Teste t também revelou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em todos os tratamentos. A matéria mineral (MM%) teve um leve aumento, passando de 6,17% para valores entre 3,33% (T5) e 6,67% (T1) (Figura 14). O Teste t indicou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos T3, T4 e T5, enquanto nos tratamentos T1 e T2 a diferença não foi significativa ( $p > 0,05$ ).

Figura 13: Porcentagem de proteína bruta nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

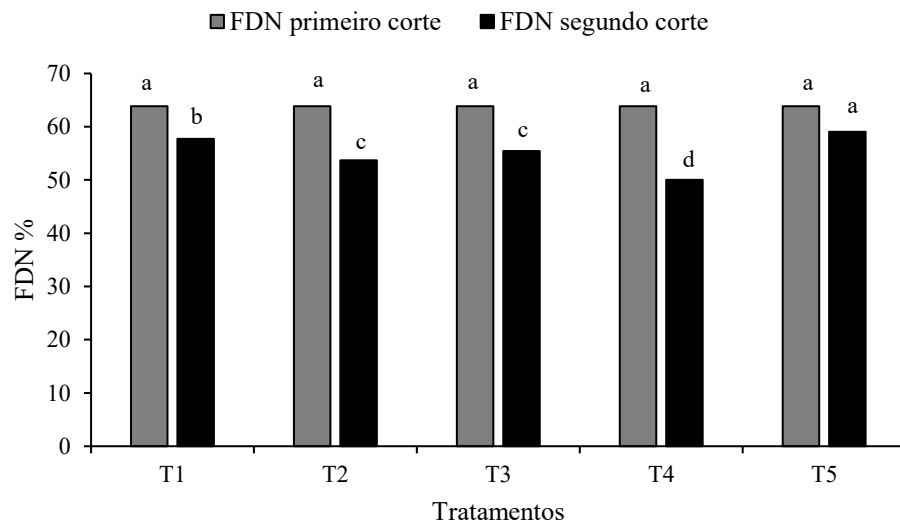
Figura 14: Porcentagem de matéria mineral nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

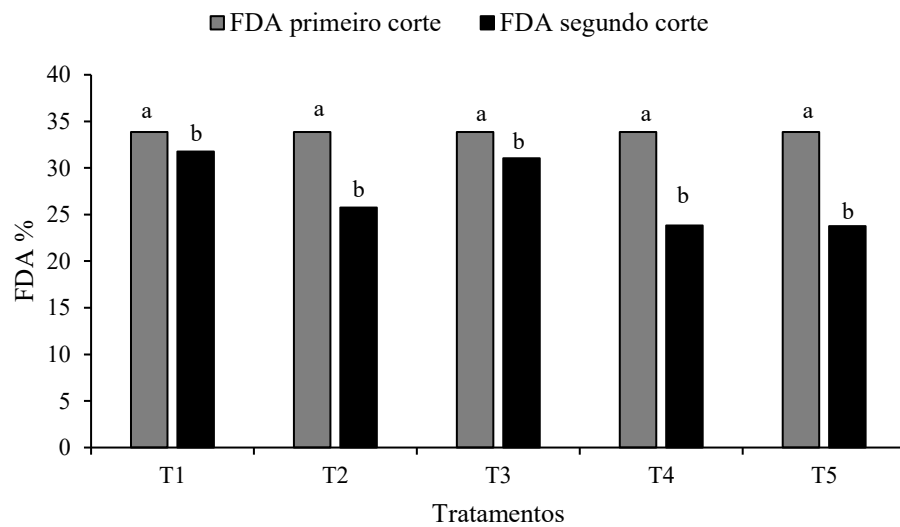
A fibra em detergente neutro (FDN%) reduziu de 63,83% no primeiro corte para valores entre 50,00% (T4) e 59,06% (T5) no segundo corte (Figura 15). O Teste t apontou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre os valores do primeiro corte e do segundo corte em todos os tratamentos, exceto no tratamento T5 ( $p = 0,07$ ). A fibra em detergente ácido (FDA%) também apresentou diminuição, passando de 33,86% para valores entre 23,76% (T5) e 31,76% (T1) (Figura 16). Houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em todos os tratamentos, conforme o Teste t. O teor de lignina (LIG%) aumentou de 0,205% no primeiro corte para valores entre 0,244% (T3) e 0,353% (T5) no segundo corte (Figura 17). O Teste t confirmou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre os valores do primeiro corte e do segundo corte em todos os tratamentos.

Figura 15: Porcentagem de fibra em detergente neutro nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



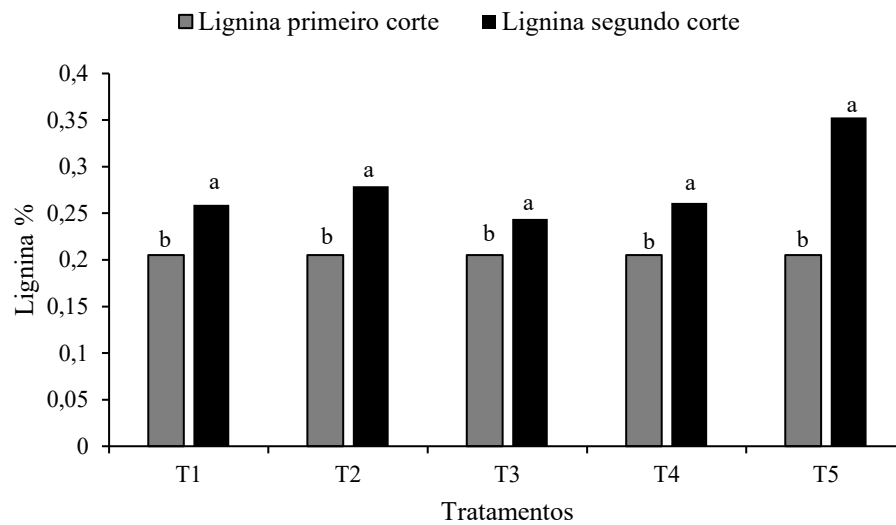
\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Figura 16: Porcentagem de fibra em detergente ácido nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



\*Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Figura 17: Porcentagem de lignina nos tratamentos avaliados no primeiro corte e no segundo corte do experimento.



Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Esses resultados indicam que o processo influenciou significativamente a composição bromatológica do capim, com impactos na sua qualidade nutricional. A maior variação foi observada no T3, que apresentou os maiores valores de matéria seca e a maior redução nos teores de fibra.

### 6.3. Desempenho Zootécnico da Tambatinga

A taxa de sobrevivência para todos os tratamentos foi 100%. Os resultados indicam que houve diferença significativa no ganho de peso entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). O T1 ( $10,6 \pm 3,4$  g) apresentou um ganho de peso significativamente menor em comparação com os T2 ( $16,3 \pm 4,7$  g) e 3 ( $15,8 \pm 1,5$  g), os quais não diferiram entre si. Isso sugere que os tratamentos 2 e 3 foram mais eficazes na promoção do crescimento dos organismos testados.

Por outro lado, a conversão alimentar aparente (CAA) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), indicando que, independentemente do tratamento utilizado, a eficiência da conversão do alimento em biomassa foi semelhante entre os grupos.

A Taxa de Crescimento Específico também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). Embora o T2 tenha mostrado a maior taxa ( $0,75 \pm 0,20\%$ ), os T1 ( $0,57 \pm 0,16\%$ ) e 3 ( $0,72 \pm 0,06\%$ ) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação a este parâmetro. Isso sugere que os tratamentos tiveram resultados semelhantes em termos de crescimento relativo, em função do tempo.

Em relação ao Índice de Eficiência Proteica, não houve diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). Os resultados indicam que a eficiência no uso da proteína para o crescimento foi semelhante entre os tratamentos, com o T1 apresentando o maior valor de IEP ( $1,88 \pm 0,16$ ), seguido pelos T2 ( $1,74 \pm 0,24$ ) e 3 ( $1,62 \pm 0,24$ ). Isso sugere que, apesar das diferenças no ganho de peso, a utilização da proteína foi efetiva de maneira similar nos três tratamentos.

Para a biomassa final, observou-se que o tratamento T1 diferiu significativamente de T2 e T3 ( $p < 0,05$ ), enquanto T2 ( $268,2 \pm 86,1$ ) e T3 ( $295,4 \pm 33,9$ ) não apresentaram diferença estatística entre si ( $p > 0,05$ ). Em relação à quantidade de ração consumida, verificou-se que T1 foi significativamente diferente de T2 ( $p < 0,05$ ), porém não diferiu de T3 ( $p > 0,05$ ). Além disso, T2 ( $23,46 \pm 5,68$ ) e T3 ( $24,14 \pm 1,52$ ) não apresentaram diferenças estatísticas ( $p > 0,05$ ).

Na eficiência alimentar (EA, %), não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), indicando que as variações observadas nos valores médios não foram suficientes para caracterizar diferenças estatísticas (Tabela 10).

Tabela 10: Desempenho zootécnico da tambatinga nos diferentes tratamentos.

Variáveis	Tratamento com baixa densidade	Tratamento com média densidade	Tratamento com alta densidade
Ganho de Peso (g)	$10,6 \pm 3,4b$	$16,3 \pm 4,7a$	$15,8 \pm 1,5a$
Ganho de Biomassa (g)	$130,2 \pm 46,9b$	$268,2 \pm 86,1a$	$295,4 \pm 33,9a$
Conversão Alimentar Aparente	$1,2 \pm 0,09a$	$1,4 \pm 0,15a$	$1,5 \pm 0,21a$
Taxa de crescimento específico ( $\% \text{ dia}^{-1}$ )	$0,51 \pm 0,16a$	$0,75 \pm 0,20a$	$0,72 \pm 0,06a$
Índice de Eficiência Proteica (IEP)	$1,88 \pm 0,16a$	$1,74 \pm 0,24a$	$1,62 \pm 0,24a$
Eficiência Alimentar (EA, %)	$68 \pm 0,06a$	$63 \pm 0,08a$	$53 \pm 0,08a$
Quantidade de Ração Consumida (g)	$13,56 \pm 4,07a$	$23,46 \pm 5,68b$	$24,14 \pm 1,52ab$

\*Os valores representam as médias  $\pm$  desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha representam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ). Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

#### 6.4. Análise de Viabilidade Econômica

Análise Econômica Comparativa entre T3 (Água de Piscicultura) e T5 (NPK Convencional). O volume de água utilizado considerando o protocolo experimental (1 litro de água aplicado a cada 48 horas para uma área de  $706,86 \text{ cm}^2$ ), a extrapolação para 1 hectare ( $10.000 \text{ m}^2$ ) resulta em:

$$\text{Fator de extrapolação: } 10.000 / 0,070686 = 141.411$$

Portanto, o volume de água necessário para irrigar 1 hectare a cada 48 horas é de:

$$1 \text{ L} \times 141.411 = 141.411 \text{ litros}$$

Considerando 15 irrigações por mês (intervalo de 48 horas), o volume mensal de água utilizado em ambos os tratamentos foi:

$$141.411 \times 15 = 2.121.165 \text{ litros / mês} = 2.121,16 \text{ m}^3 / \text{mês}$$

O volume de água foi igual em ambos os tratamentos, sendo proveniente de diferentes fontes:

- Tratamento 3: água de piscicultura (rica em nutrientes).
- Tratamento 5: água de poço (sem nutrientes adicionais).

Importante: Não foram atribuídos custos ao uso da água, por se tratar de recurso comum e de baixo custo operacional comparado ao insumo de adubação (NPK).

No tratamento 3 (Água de Piscicultura), a análise da água revelou as seguintes concentrações médias como demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11: Concentração de NPK na água do tratamento 3.

<b>Nutriente</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>
Nitrogênio	3,00
Fósforo	0,78
Potássio	1,53

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Com base no volume total de água (2.121.165 L/mês), o aporte mensal de nutrientes foi seguinte demonstrado na Tabela 12. Considerando um ciclo anual (12 meses) na Tabela 13.

Tabela 12: Aporte de nutrientes (NPK) mensal.

<b>Nutriente</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Total Mensal (kg/ha)</b>
Nitrogênio	$3,00 \text{ mg/L} \times 2.121.165 \text{ L} \div 1.000.000$	6,36
Fósforo	$0,78 \text{ mg/L} \times 2.121.165 \text{ L} \div 1.000.000$	1,65
Potássio	$1,53 \text{ mg/L} \times 2.121.165 \text{ L} \div 1.000.000$	3,24

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Tabela 13: Aporte de nutrientes (NPK) anual.

<b>Nutriente</b>	<b>Fornecimento Anual (kg/ha)</b>
Nitrogênio	76,32
Fósforo	19,80
Potássio	38,88

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

O tratamento 5 (Adubação NPK Convencional) recebeu adubação química seguindo a recomendação da EMBRAPA (2010) para pastagens, como destacado na Tabela 14. Assim, o fornecimento de nutrientes no T5 com demonstrado na Tabela 15.

Tabela 14: Recomendação da EMBRAPA (2010) para adubação em pastagens.

<b>Fertilizante</b>	<b>Dose Aplicada (kg/ha)</b>	<b>Teor (%)</b>	<b>Nutriente Fornecido (kg/ha)</b>
Ureia	91	45	41,0 (N)
Superfosfato Simples	200	18	36,0 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Cloreto de Potássio	69	60	41,4 (K <sub>2</sub> O)

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Tabela 15: Concentração de NPK aplicada na adubação.

<b>Nutriente</b>	<b>Quantidade (kg/ha)</b>
Nitrogênio	41,00
Fósforo	36,00 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Potássio	41,40 (K <sub>2</sub> O)

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Os custo com fertilizantes foram calculados com base na média de preços de mercado no Brasil (Cepea/Conab, 2024), com demonstrado na Tabela 16. No Tratamento 3, não houve custo com adubação, pois os nutrientes foram fornecidos gratuitamente pela água de piscicultura.

Tabela 16: Custos com fertilizantes no tratamento 5.

<b>Fertilizante</b>	<b>Preço Médio (R\$/kg)</b>	<b>Quantidade (kg/ha)</b>	<b>Custo (R\$/ha)</b>
Ureia	4,00	91	364,00
Superfosfato Simples	3,50	200	700,00
Cloreto de Potássio	5,00	69	345,00

Fertilizante	Preço Médio (R\$/kg)	Quantidade (kg/ha)	Custo (R\$/ha)
<b>Total</b>	-	-	<b>1.409,00</b>

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Produtividade e Receita Estimada:

Tabela 17: Produtividade e receita nos tratamentos 3 e 5.

Tratamento	Produtividade (kg/ha)	Preço Médio de Mercado (R\$/kg)	Receita Bruta (R\$/ha)
Tratamento 3	12.765,96	0,90	11.489,36
Tratamento 5	10.030,00*	0,90	9.027,00

\*Estimativa baseada na média de produtividade de capins forrageiros adubados com NPK (EMBRAPA, 2010; CEPEA, 2024).

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

Comparativo Final: Custo-Benefício:

Tabela 18: comparação custo benefício entre o tratamento 3 e 5.

Indicador	Tratamento 3 (Piscicultura)	Tratamento 5 (NPK)
Custo com Fertilizantes (R\$/ha)	0,00	1.409,00
Receita Bruta (R\$/ha)	11.489,36	9.027,00
Lucro Bruto (R\$/ha)	<b>11.489,36</b>	<b>7.618,00</b>
Fornecimento de Nutrientes (kg/ha ano)	N: 76,32 / P: 19,80 / K: 38,88	N: 41 / P: 36 / K: 41,4
Crescimento do Capim (%)	+27%	-
Sustentabilidade	Alta	Baixa

Fonte: Acervo GINTEGRA/LABIPI.

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Qualidade da Água e a Influência da Densidade de Estocagem

A qualidade da água é um fator essencial para a piscicultura, pois afeta diretamente o crescimento, a conversão alimentar e a sobrevivência dos peixes. Parâmetros como temperatura, pH, oxigênio dissolvido e concentração de compostos nitrogenados podem ser influenciados pelo manejo adotado e pela interação dos peixes com o ambiente, impactando a composição química da água do sistema (Amaral *et al.*, 2020).

A temperatura média variou entre  $27,94 \pm 0,70^{\circ}\text{C}$  e  $30,23 \pm 0,46^{\circ}\text{C}$  entre os tratamentos. Esses valores estão dentro da faixa recomendada para a criação de tambaqui e seus híbridos, que é de  $25^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$  (SEBRAE, 2008). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a densidade dos peixes não influenciou diretamente esse parâmetro. Manter a temperatura dentro dessa faixa é essencial, pois temperaturas mais baixas reduzem a taxa metabólica dos peixes, enquanto valores muito elevados podem aumentar o consumo de oxigênio e gerar estresse térmico (Silva; Fujimoto, 2016).

O pH variou de  $5,84 \pm 0,88$  a  $6,27 \pm 2,74$ , indicando leve acidificação em alguns momentos, sobretudo nos tanques com maior densidade. A respiração dos peixes e a decomposição de matéria orgânica elevam a concentração de  $\text{CO}_2$  na água, favorecendo a formação de ácido carbônico e, conseqüentemente, a redução do pH (Furtado *et al.*, 2011). Embora esses valores ainda se situem próximos do limite inferior aceitável para espécies nativas, como o tambaqui (6,5–9,0; SEBRAE, 2008), a redução do pH pode comprometer o equilíbrio iônico dos peixes, aumentando o estresse fisiológico, especialmente quando associada a picos de amônia não ionizada. Para a correção do pH acidificado, foram aplicados 30 g de calcário dolomítico para cada 900 L de água do sistema, em todos os tratamentos, visando restabelecer condições adequadas de estabilidade química.

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) oscilaram entre  $5,59 \pm 1,04 \text{ mg L}^{-1}$  e  $6,88 \pm 1,06 \text{ mg L}^{-1}$ , satisfazendo a exigência mínima de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  (SEBRAE, 2008). Observou-se queda vespertina mais acentuada nos tratamentos de maior densidade, resultado da maior demanda metabólica dos peixes e da respiração microbiana. Como a solubilidade de  $\text{O}_2$  diminui com o aumento da temperatura, a manutenção de OD acima do limiar demonstra eficiência do sistema de aeração, mas requer vigilância contínua, sobretudo em dias mais quentes.

A amônia total variou de 0,10 a 0,37  $\text{mg L}^{-1}$ , abaixo do limiar crítico de 0,6–2,0  $\text{mg L}^{-1}$  para piscicultura (Silva & Fujimoto, 2016). A tendência de valores mais elevados nos tanques super-povoados decorre do maior aporte de excretas. A forma não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) torna-se mais tóxica em pH e temperaturas altos; por isso, mesmo com concentrações totais baixas, é importante manter pH moderado e aeração eficiente para converter  $\text{NH}_3$  em  $\text{NH}_4^+$  e favorecer a nitrificação.

Os valores de nitrito ficaram entre 0,05 e 0,25 mg L<sup>-1</sup>, abaixo do limite de 0,5 mg L<sup>-1</sup> (SEBRAE, 2008). Concentrações mais altas coincidiram com picos de amônia nos tratamentos densos, sugerindo maior atividade nitrificante. Como o nitrito compete com o oxigênio na hemoglobina (“doença do sangue marrom”), seu controle depende de filtração biológica ativa, bons níveis de OD e renovações parciais de água.

A salinidade oscilou de  $0,17 \pm 0,02$  a  $0,39 \pm 0,45$  ppt, confirmando ambiente de água doce. Pequenas variações refletem evaporação e reposições diferenciadas; valores baixos evitam estresse osmótico em tambaqui e híbridos (SEBRAE, 2008). Salinidade estável também ajuda a manter o balanço iônico, especialmente quando o pH fica próximo do limite inferior.

Para condutividade elétrica mediu-se entre  $375,3 \pm 107,5$  e  $432,2 \pm 110,1$   $\mu\text{S cm}^{-1}$ , acompanhando o aumento de sólidos dissolvidos nos tanques mais povoados. Condutividade elevada indica maior concentração de íons — consequência do acúmulo de excretas e restos de ração — e serve como sinal de alerta para ajustes de renovação ou purga de sólidos (Ebeling *et al.*, 2006).

Os sólidos totais registraram-se valores de  $186,06 \pm 51,92$  a  $215,6 \pm 54,7$  ppm. Embora dentro de limites aceitáveis, o aumento nos sistemas super-intensivos sugere maior carga orgânica em suspensão e dissolvida. Essa condição pode turbinar a demanda bioquímica de oxigênio, reduzir a penetração de luz e favorecer oscilações de pH após fotossíntese e respiração — reforçando a necessidade de sifonagem ou filtração mecânica regular.

De maneira geral, os resultados indicam que a densidade de estocagem influencia significativamente os parâmetros de qualidade da água, confirmando achados de estudos anteriores (Furtado *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2013). O manejo adequado da qualidade da água em sistemas de alta densidade é essencial para garantir o crescimento e a sobrevivência dos peixes, minimizando o impacto dos resíduos metabólicos e otimizando o desempenho produtivo.

A análise de NPK da água proveniente dos tratamentos, demonstram que o aumento da densidade de peixes influencia significativamente as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na água de piscicultura. Observou-se que o tratamento com alta densidade (21 peixes/m<sup>3</sup>) apresentou concentrações significativamente mais elevadas desses nutrientes em

comparação ao tratamento com baixa densidade (14 peixes/m<sup>3</sup>), enquanto o tratamento com média densidade (18 peixes/m<sup>3</sup>) exibiu valores intermediários.

Esses achados corroboram estudos anteriores que indicam que densidades de estocagem mais altas podem aumentar a carga de nutrientes na água devido à maior excreção de resíduos nitrogenados e fósforo pelos peixes, além do acúmulo de matéria orgânica não consumida. Nesse contexto, Eler (2018) destacou que densidades de estocagem elevadas e fluxos de água diferenciados impactam significativamente as características físicas e químicas da água, incluindo aumentos nas concentrações de fósforo e nitrogênio, material em suspensão e clorofila-a. Além disso, estudos sobre densidade de estocagem de peixes nativos e seus híbridos ressaltam que altas densidades podem afetar negativamente a produtividade devido ao impacto na qualidade da água e no acesso ao alimento (Maciel *et al.*, 2021). Esses achados sugerem que, embora o híbrido tambatinga possa apresentar características vantajosas, como crescimento acelerado e rusticidade, é crucial monitorar e ajustar as densidades de estocagem para garantir a sustentabilidade do cultivo (Barros *et al.*, 2017).

## **7.2. Efeito da Fertirrigação no Desenvolvimento e Nutrição do Capim**

Os resultados da análise de NPK no capim indicam que os tratamentos T3 e T2 foram consistentemente superiores na absorção de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) ao longo dos três cortes, evidenciando ao longo dos três cortes, evidenciando a eficácia do uso de água de piscicultura, especialmente nas maiores densidades de peixes.

No primeiro corte, houve uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nos teores de nitrogênio entre tratamento com alta densidade, tratamento com média densidade e os demais tratamentos, com o tratamento com alta densidade apresentando o maior valor. Esse padrão foi mantido nos cortes subsequentes, consolidando a eficiência desses tratamentos em fornecer nitrogênio ao capim. De acordo com Costa *et al.* (2024) e Sánchez *et al.* (2019), a faixa adequada de nitrogênio para o capim BRS Tamani é de 1,8 a 3,0% (% na matéria seca). Assim, os valores elevados oferecidos no tratamento com alta densidade e média densidade podem indicar um incremento positivo, o que está alinhado com estudos como Ramos *et al.* (2021), que relata maior produção de matéria seca com doses crescentes de Nitrogênio.

Os teores de fósforo variaram significativamente entre os tratamentos, com destaque para tratamento com alta densidade, que foi estatisticamente superior a todos os outros

tratamentos ao longo dos cortes. Isso reforça a importância da água da piscicultura como fonte eficiente de P para a forrageira. Estudos como Ferreira *et al.* (2008) indicam que a aplicação adequada de fósforos favorece o crescimento radicular e melhora a produtividade da planta. A faixa recomendada de fósforo para o capim BRS Tamani é de 0,15 a 0,40 % (% na matéria seca) (Costa *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2019). Dessa forma, os valores obtidos para o tratamento com alta densidade e média densidade demonstram que a absorção desse nutriente foi favorecida pelo uso da água residual da piscicultura, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores inferiores ou apenas dentro da faixa recomendada.

Em relação aos teores de potássio houve uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre todos os tratamentos em cada corte, com a seguinte ordem de concentração no terceiro corte Tratamento com alta densidade > Tratamento com média densidade > Tratamento com baixa densidade > Tratamento com adubação NPK convencional > Tratamento com água de poço. Esses resultados indicam que a água de piscicultura, especialmente nas maiores densidades de peixes, proporcionou um maior acúmulo de potássio no capim, superando inclusive a adubação mineral isolada (Tratamento com Adubação NPK Convencional). A faixa recomendada de potássio para o capim BRS Tamani varia entre 1,2 % e 3,0 % (% na matéria seca) (Costa *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2019), e a baixa concentração no tratamento com água de poço e com adubação NPK convencional reforçam que a adubação química básica pode não ser suficiente para suprir a demanda da planta. Barcelos (2023) demonstrou que a adubação potássica melhorou a proteção de K pelo capim, indicando que a combinação entre água de piscicultura e adubação convencional pode otimizar os níveis desse nutriente na forrageira.

As variações observadas nos teores de macronutrientes entre os tratamentos podem ser atribuídas às diferentes fontes de nutrientes utilizadas. O melhor desempenho dos tratamentos com alta densidade e média densidade confirma a eficácia da fertirrigação com água de piscicultura na melhoria da disponibilidade de N, P e K para o capim BRS Tamani. Esse resultado está alinhado com o conceito de integração entre peixes e plantas em sistemas como a aquaponia, que favorecem o reaproveitamento de nutrientes provenientes dos resíduos da piscicultura, melhorando a qualidade da água e promovendo o crescimento vegetal (Hundley e Navaro, 2013).

Os resultados obtidos indicam que os tratamentos com água residual de piscicultura influenciaram significativamente a composição bromatológica do capim Tamani BRS, particularmente nos parâmetros de matéria seca (MS%), fibra em detergente neutro (FDN%), fibra em detergente ácido (FDA%) e lignina (LIG%). Estes achados estão em conformidade com estudos que mostram que o uso de águas residuais de piscicultura pode alterar a qualidade da forragem, promovendo mudanças na composição nutricional das plantas (Medeiros *et al.*, 2005).

O aumento no teor de matéria seca (MS%) observado em todos os tratamentos, com destaque para o tratamento alta densidade (57,89%), reflete a maior biomassa acumulada durante o período experimental. Esse aumento pode ser atribuído à adição de nutrientes provenientes da água de piscicultura, que favorece o crescimento das plantas, aumentando a produção de biomassa e a concentração de matéria seca (Barbosa *et al.*, 2017). A tendência de aumento na matéria seca (MS) está diretamente associada à redução do teor de água nos tecidos vegetais, desempenhando papel fundamental na conservação da forragem. Teores mais elevados de MS reduzem a atividade de água disponível no material vegetal, o que limita o desenvolvimento de microrganismos deterioradores e a ação de enzimas responsáveis pela degradação dos nutrientes. Como consequência, ocorre menor incidência de fermentações indesejadas, redução da lixiviação de nutrientes solúveis e menor deterioração microbológica durante os processos de fenação ou ensilagem (Oliveira, 2011). Além disso, forragens com maior teor de matéria seca tendem a apresentar melhor aproveitamento nutricional, contribuindo para maior eficiência alimentar dos animais que as consomem (Medeiros *et al.*, 2005).

A redução no teor de proteína bruta (PB%) ao longo do experimento, com valores finais variando de 12,5% a 12,75%, é uma tendência comumente observada em forrageiras que passam por estágios mais avançados de maturação. A diminuição da PB é decorrente da mobilização de compostos nitrogenados e da maior formação de compostos não proteicos nas plantas mais maduras (Cuff, 2022). Embora a proteína bruta tenha diminuído, o aumento da matéria seca pode ter compensado essa perda, tornando a forragem mais produtiva e energética para os animais, especialmente quando utilizada em sistemas de produção animal.

A redução nos teores de fibra em detergente neutro (FDN%) e fibra em detergente ácido (FDA%) nos tratamentos T2, T3 e T4 indica uma melhora na digestibilidade da forragem. O

teor reduzido de fibras solúveis e insolúveis pode ser relacionado ao efeito positivo da água de piscicultura, que fornece nutrientes que favorecem a quebra das paredes celulares, tornando o material vegetal mais digestível (Barbosa *et al.*, 2017). Esses resultados são consistentes com estudos que indicam que a fertirrigação com águas residuais pode diminuir a concentração de fibras estruturais nas plantas, melhorando a qualidade nutricional e aumentando a eficiência na utilização da forragem pelos animais (Medeiros *et al.*, 2005).

O aumento nos teores de lignina (LIG%) observado nos tratamentos, especialmente no tratamento com adubação mineral (T5), indica avanço no estágio de maturidade fisiológica das plantas ao longo do experimento. A lignina é um componente estrutural da parede celular vegetal que confere maior rigidez e resistência mecânica aos tecidos, contribuindo para a defesa contra patógenos e o ataque de herbívoros. No entanto, sua maior deposição está diretamente associada à redução da digestibilidade da forragem, uma vez que dificulta a degradação da celulose e da hemicelulose pelos microrganismos ruminais (Fontinele, 2018).

Esse processo de lignificação é típico de plantas em estádios mais avançados de desenvolvimento, que se tornam progressivamente mais lenhosas, elevando a fração fibrosa da planta e comprometendo o valor nutritivo da forragem para ruminantes. Assim, embora o aumento da lignina represente maior resistência estrutural, ele pode impactar negativamente a qualidade nutricional da forragem, especialmente quando associado ao aumento da fração de fibra em detergente neutro (FDN) (Fontinele, 2018).

A análise estatística realizada através do teste t pareado indicou que houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis matéria seca (MS%), fibra em detergente neutro (FDN%), fibra em detergente ácido (FDA%) e lignina (LIG%) ( $p < 0,05$ ). Isso confirma que os tratamentos aplicados com água de piscicultura influenciaram a composição nutricional das plantas de forma significativa, especialmente no aumento da MS e na modificação da digestibilidade (redução de FDN e FDA).

Apesar de a proteína bruta (PB%) não ter apresentado diferença estatística entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), isso não significa que o manejo tenha sido irrelevante. O aumento pronunciado da matéria seca nos vasos fertirrigados diluiu a concentração de nitrogênio por quilo de forragem, mascarando possíveis ganhos de PB; quando se calcula proteína por hectare (PB kg ha<sup>-1</sup>), T2 e T3 exibem rendimento superior, resultado esperado em sistemas que recebem

aporte adicional de N via água de piscicultura. Além disso, plantas em estágio vegetativo mais avançado tendem a redistribuir compostos nitrogenados das folhas para caules, reduzindo o teor proteico aparente (Cuff, 2022).

### 7.3. Desempenho Zootécnico da Tambatinga em Sistema Integrado

Nos peixes, ganho de peso e biomassa foram significativamente maiores em T2 (16,3 g; 268,2 g) e T3 (15,8 g; 295,4 g) que em T1 (10,6 g; 130,2 g). O desempenho superior sugere que densidades intermediárias associadas à ração de 36 % PB criaram um balanço proteína-energia favorável ao crescimento, sem comprometer a saúde dos peixes.

A conversão alimentar aparente (CAA) mais baixa em T1 (1,2) indica maior eficiência individual; contudo, a maior produção de biomassa em T2/T3 compensa o leve aumento na CAA (1,4–1,5) e resulta em melhor retorno por unidade de área. Esses valores permanecem abaixo da faixa de 1,65–1,89 reportada por Leite (2016) para juvenis de tambatinga, confirmando a boa eficiência global do sistema. A sobrevivência de 100 % em todos os tratamentos confirma que o manejo da qualidade de água e da aeração foi adequado, corroborando achados de Barros *et al.* (2017) para sistemas semi-intensivos.

Em síntese, o tratamento com média e alta densidade conciliam maior rendimento proteico total na forragem com crescimento acelerado da tambatinga, enquanto mantêm eficiência alimentar dentro de padrões economicamente desejáveis; já o tratamento com baixa densidade privilegia eficiência de ração, mas entrega menor produção final. Esses resultados reforçam a importância de avaliar simultaneamente indicadores nutricionais da forrageira e desempenho zootécnico dos peixes para selecionar o manejo mais sustentável e rentável.

A taxa de crescimento específico (TCE) foi superior nos tratamentos com média e alta densidade (0,75 e 0,72% dia<sup>-1</sup> respectivamente) em comparação ao tratamento 1 (0,51% dia<sup>-1</sup>). A TCE é um indicador importante do desempenho de crescimento dos peixes e reflete a eficiência com que os nutrientes são convertidos em massa corporal. Estudos anteriores demonstraram que a suplementação dietética pode influenciar positivamente a TCE. Por exemplo, Ribeiro (2016) observou melhorias significativas na TCE de alevinos de tambatinga ao suplementar a dieta com 20% de farinha de *Arthrospira platensis*.

O Índice de Eficiência Proteica (IEP) obtido nos diferentes tratamentos do cultivo de tambatinga indica que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimentais ( $p > 0,05$ ), sugerindo que a eficiência na utilização da proteína não foi afetada pela densidade de estocagem. Os valores de IEP foram de  $1,88 \pm 0,16$  para o tratamento com baixa densidade  $1,74 \pm 0,24$  para o tratamento média densidade e  $1,62 \pm 0,24$  para o tratamento com alta densidade.

Esses resultados sugerem que, apesar de haver tendência de redução do IEP com o aumento da densidade, a diferença entre os tratamentos não foi significativa. Estudos anteriores indicam que o IEP pode ser influenciado por fatores como qualidade da ração, temperatura da água e manejo alimentar (Arbeláez-Rojas *et al.*, 2002). Dessa forma, a ausência de diferença significativa pode indicar que as condições de cultivo foram adequadas para manter a utilização proteica eficiente, independentemente da densidade adotada.

A eficiência alimentar (%) corresponde à relação entre o ganho de peso médio por peixe e o consumo médio de ração por indivíduo em cada tratamento. Esse indicador reflete a capacidade dos animais de converter o alimento ingerido em biomassa. No presente estudo, os tratamentos 1 e 2 apresentaram os melhores índices de eficiência alimentar, atingindo 68% e 63%, respectivamente. Segundo Kubitza (2012), a busca por maior eficiência alimentar em todas as fases de cultivo pode resultar em uma redução significativa nos custos totais de produção. Além disso, uma alimentação mais eficiente proporciona um melhor aproveitamento da proteína da ração, otimizando a utilização do nitrogênio e reduzindo desperdícios.

#### **7.4. Viabilidade Econômica, Sustentabilidade e Implicações do Sistema**

Os resultados obtidos indicam que o Tratamento 3 (água residual de piscicultura) promoveu um crescimento superior do capim BRS Tamani em comparação ao Tratamento 5 (adubação convencional com NPK), com aumento de 27% na produtividade e eliminação dos custos com fertilizantes. No entanto, é importante destacar um ponto fundamental para a interpretação crítica dos resultados: a água residual da piscicultura não contém apenas N, P e K, mas também pode carregar uma série de outros elementos e compostos oriundos do metabolismo dos peixes, da ração fornecida e da própria dinâmica do sistema.

A ração utilizada durante o experimento apresentava uma formulação completa, composta por proteína bruta, extrato etéreo, fibras, minerais como fósforo, cálcio, selênio,

zinco, além de aditivos funcionais como vitamina C, timol, carvacrol e protease (Tabela 4). Esses nutrientes e compostos bioativos são excretados parcialmente pelos peixes na forma de fezes e metabólitos dissolvidos, os quais são carregados pela água residual da piscicultura e, portanto, acabam sendo disponibilizados para as plantas durante o processo de fertirrigação (Costa *et al.*, 2017).

Assim, embora o presente estudo tenha focado exclusivamente na avaliação dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), é plausível considerar que outros elementos presentes na água residual da piscicultura, mesmo em concentrações relativamente baixas, tenham contribuído de forma indireta para o crescimento e o desempenho fisiológico do capim *Megathyrsus maximum* cv. BRS Tamani.

A água proveniente dos sistemas de cultivo de peixes pode conter quantidades apreciáveis de nutrientes secundários e micronutrientes, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn) e selênio (Se), além de compostos orgânicos dissolvidos, incluindo aminoácidos livres, ácidos orgânicos e metabólitos nitrogenados oriundos da excreção dos peixes e da decomposição da ração. Esses elementos desempenham funções essenciais no metabolismo vegetal, atuando como componentes estruturais, cofatores enzimáticos e reguladores de processos fisiológicos fundamentais, como fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e ativação de enzimas (Taiz *et al.*, 2017).

O cálcio, por exemplo, está associado à integridade das paredes celulares e à sinalização celular, enquanto o magnésio é componente central da molécula de clorofila, sendo indispensável para a fotossíntese. O enxofre participa da constituição de aminoácidos essenciais, como cisteína e metionina, e o zinco atua na ativação de diversas enzimas relacionadas ao crescimento vegetal. Mesmo elementos requeridos em menores quantidades podem exercer efeitos significativos quando disponibilizados de forma contínua via fertirrigação, especialmente em sistemas de cultivo intensivo (Taiz *et al.*, 2017).

Dessa forma, além do aporte direto de N, P e K, a aplicação da água residual da piscicultura pode ter promovido um ambiente nutricional mais equilibrado, favorecendo processos metabólicos e fisiológicos do capim BRS Tamani. Esses efeitos sinérgicos reforçam o potencial da fertirrigação com efluentes aquícolas como estratégia sustentável de manejo,

capaz de otimizar o uso de nutrientes e reduzir a dependência de fertilizantes minerais convencionais.

Essa observação abre uma perspectiva importante para estudos futuros: investigar, de forma detalhada e quantitativa, a composição completa da água residual da piscicultura e seus efeitos agronômicos no desenvolvimento das plantas. Avaliações específicas sobre o teor de micronutrientes, compostos orgânicos e bioativos na água residual, bem como sua absorção e translocação no tecido vegetal, são fundamentais para compreender o real potencial do sistema integrado. Estudos complementares podem, por exemplo, elucidar se o desempenho superior do tratamento com alta densidade foi exclusivamente devido ao aporte de NPK ou se foi potencializado por esse "mix" nutricional presente na água de piscicultura.

Além disso, esse contexto reforça que o sistema integrado não apenas substitui o fertilizante químico convencional, mas oferece uma solução mais complexa e sustentável, na qual a sinergia entre os resíduos da piscicultura e o cultivo de forragem pode gerar ganhos adicionais de qualidade e produtividade. Essa abordagem integrada se alinha aos princípios da economia circular, que, segundo Monteiro (2018), baseia-se na redução da extração de recursos naturais, na ampliação das práticas de reutilização, no aumento da eficiência dos processos e na criação de novos modelos de negócios sustentáveis. Além disso, converge com os fundamentos da intensificação ecológica, ao transformar resíduos que poderiam representar riscos ambientais em insumos valiosos para a agricultura.

Portanto, ainda que a presente dissertação tenha concentrado sua análise no comparativo de NPK entre os tratamentos, os resultados sugerem que a superioridade do Tratamento 3 pode estar associada não apenas à quantidade de nutrientes fornecidos, mas também à qualidade e diversidade nutricional da água residual de piscicultura. Investigações futuras devem abordar essas questões com maior profundidade, de modo a fortalecer o entendimento científico e fornecer subsídios robustos para a adoção e aprimoramento de sistemas integrados de produção.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados deste estudo indicam que a fertirrigação do capim *Megathyrsus maximum* cv. BRS Tamani com água residual de piscicultura apresenta potencial técnico e ambiental para a integração sustentável entre sistemas aquícolas e agrícolas. No contexto experimental avaliado, a qualidade da água residual manteve-se dentro dos padrões recomendados para a

piscicultura, demonstrando que o uso de sistemas de recirculação não comprometeu a saúde dos peixes nem a estabilidade do ambiente aquático.

A análise dos teores de nutrientes evidenciou que a água residual da piscicultura foi capaz de fornecer quantidades significativas de nitrogênio, fósforo e potássio ao capim BRS Tamani, promovendo incremento de produtividade da ordem de 27% em relação ao tratamento com adubação mineral convencional. Esses resultados sugerem que, em condições controladas, a água residual pode atuar como fonte nutricional alternativa, reduzindo a necessidade de fertilizantes minerais. No entanto, ressalta-se que essa substituição foi avaliada em escala experimental e não contempla, nesta etapa, análises completas de custo operacional em sistemas de produção extensivos.

O desempenho zootécnico da tambatinga manteve-se adequado ao longo do experimento, com elevada sobrevivência e bom ganho de biomassa, especialmente no sistema com maior densidade de estocagem. Esse comportamento indica que a integração proposta não exerceu efeitos negativos sobre a piscicultura e que o reaproveitamento da água não comprometeu os parâmetros produtivos dos peixes.

Do ponto de vista econômico e operacional, os resultados devem ser interpretados com cautela. O experimento foi conduzido em unidades experimentais de pequena escala (vasos), o que não permite extrapolações diretas sobre custos energéticos, demanda de mão de obra, necessidade de infraestrutura hidráulica, uso de bombas, manutenção de sistemas e viabilidade econômica em áreas extensivas, como pastagens em escala de hectare. Assim, embora o sistema integrado tenha demonstrado eficiência no aproveitamento de nutrientes e redução do uso de fertilizantes minerais no ambiente experimental, estudos adicionais são necessários para avaliar sua viabilidade operacional e econômica em condições de campo.

Dessa forma, a integração entre piscicultura e produção forrageira por meio do uso da água residual deve ser compreendida como uma estratégia promissora, e não como uma solução consolidada. Os resultados obtidos reforçam princípios da economia circular e da intensificação ecológica, ao indicar que resíduos aquícolas podem ser reaproveitados como insumos agrícolas, reduzindo perdas e impactos ambientais. Contudo, a consolidação dessa abordagem requer investigações em maior escala, considerando diferentes condições edafoclimáticas, sistemas de irrigação, custos energéticos e logísticos, bem como avaliações econômicas detalhadas.

Conclui-se, portanto, que o sistema integrado avaliado apresenta potencial agrônomo, ambiental e produtivo, mas sua adoção em escala comercial depende de estudos complementares que validem sua aplicabilidade prática, eficiência econômica e sustentabilidade a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVES, S. J.; MORAES, A.; CANTO, M. W.; SANDINI, I. **Espécies forrageiras recomendadas para produção animal**. Londrina: Fundeppec, 2008. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/ANACLAUDIARUGGI>. Acesso em: 10 out. 2024.

AMARAL, Matheus Antonio do; MORAES, Rayane Seibt; SILVA, Wesley Paulo da; ALBUQUERQUE, Daniele Menezes; HONORATO, Cláucia Aparecida; NEU, Dacley Hertes. **Qualidade de água como alicerce para a produção sustentável de peixes à pequenos produtores**. Realização, [S. l.], v. 7, n. 13, p. 131–144, 2020. DOI: 10.30612/realizacao.v7i13.11387. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/realizacao/article/view/11387>. Acesso em: 9 ago. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, DC: American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.

ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F. **Desempenho de acessos e cultivares de Panicum spp. e Brachiaria spp. em solos de baixa permeabilidade**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46., 2009. Maringá. Anais... Maringá: UEM. 2009. 1 CD-ROM.

ARARIPE, M. de N. B. de A. et al. **Redução da proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tambatinga**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.9, p.1845-1850, 2011.

ARAÚJO, T. S.; ALMEIDA, A. S.; ARAÚJO, F. S.; FERREIRA, A. H. C.; PINTO, T. P.

**Produção e qualidade de tomates cereja fertirrigados com água residuária da piscicultura.** Revista Verde. v. 12, n. 3, p. 392-396, 2017.

ARBELÁEZ-ROJAS, G. A.; FRACALOSSO, D. M.; FIM, J. D. I. **Composição corporal de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e matrinxã (*Brycon cephalus*) em sistemas de cultivo intensivo, em Igarapé, e semi-intensivo, em viveiros.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1059-1069, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA (Peixe BR). **Anuário 2025 Peixe BR da Piscicultura.** São Paulo: Peixe BR, 2025. Disponível em: <https://peixebr.com.br/Anuario2025/AnuarioPeixeBR2025.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ASSUNÇÃO, A. W. A.; GATTI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R. V.; GASPAROTTO, Y.; AMARAL, L. A. **Utilização de macrófitas aquáticas de três diferentes tipos ecológicos para remoção de *Escherichia coli* de efluentes de criação de pacu.** Eng Sanit Ambient. v.22 n.4, 2017.

AVNIMELECH, Yoram. **Biofloc technology: a practical guide book.** 2009.

BARBOSA, Luciana Dantas; EMERENCIANO NETO, João Virgínio; BONFIM, Breno Ramon de Souza; BEZERRA, Jessica Dayse do Vale; OLIVEIRA, Jacqueline dos Santos;

BARCELOS, J. V. O. **Extração de macronutrientes do capim BRS Tamani adubado com nitrogênio.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ufr.edu.br/pergamumweb/vinculos/00003b/00003bbb.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BARROS, C.; GODOI, S.; BOTINI, A.; JACYNTHO, L.; MACENO, J. **Desenvolvimento de juvenis do híbrido tambatinga em tanques-rede com diferentes níveis de proteína na ração.** Enciclopédia Biosfera, v. 14, p. 235-246, 2017. DOI: 10.18677/EnciBio\_2017B20.

BAUCHSPIESS, Keitiline. Monitoramento de variáveis ambientais e avaliação do índice de qualidade da água em viveiro de piscicultura. 2020. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/20217>.

Acesso em: 29 abr. 2024.

BEDESCHI, G. V. **Avaliação de genótipos de Panicum maximum sob intensidades de desfolhação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de São João Del Rei, Minas Gerais, 2016.

BOYD, C. E. **Water quality: an introduction**. 3rd ed. Springer, 2018.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Springer, 1998. 700 p.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Springer Science & Business Media, 2012.

BRABO, M. F.; FERREIRA, L. A.; VERAS, G. C. **Aspectos históricos do desenvolvimento da piscicultura no nordeste paraense: trajetória do protagonismo à estagnação**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente. v.9, n.3, p. 595-615, 2016.

CARDOSO, A. S., El-Deir, S. G., & Cunha, M. C. C. (2016). **Bases da sustentabilidade para atividade de piscicultura no semiárido de Pernambuco**. *Interações, Campo Grande, MS*, 17(4), 645-653. doi: [http://dx.doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4\(08\)](http://dx.doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(08)).

CARGNIN, J. M. R.; JOÃO, J. J. Remoção de nutrientes da água residual da aquicultura: uma revisão. *Ambiente & Água*, [S. l.], v. 16, n. 4, p. e2747, 2021. DOI: 10.4136/ambiente.2747.

CARVALHO, E. D. *et al.* Piscicultura uma revisão bibliográfica: avaliação dos aspectos ambientais e propostas de mitigação. *Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura*, [S. l.], v. 1, n. 29, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/23391>. Acesso em: 6 ago. 2025.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. de. **Critérios para determinação da capacidade de vaso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 59-66, 2008.

CEPEA – **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. PERSPEC 2024-**AÇÚCAR/CEPEA: Mix mais açucareiro em 2024/25 deve resultar em produção recorde**.

Piracicaba: Cepea/Esalq/USP, 2024. Disponível em:

<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/perspec-2024-acucar-cepea-mix-mais-acucareiro-em-2024-25-deve-resultar-em-producao-recorde.aspx>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CHAVES, Lucas Hordones. **Evapotranspiração de referência pelas equações de Hargreaves na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – MG**. 2017. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Produção de grãos na safra 2024/25 é de 328,3 milhões de toneladas em nova estimativa da Conab. Brasília: Conab, 2025. Disponível em: <https://antigo.conab.gov.br/ultimas-noticias/5980-producao-de-graos-na-safra-2024-25-e-de-328-3-milhoes-de-toneladas-em-nova-estimativa-da-conab>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CORRÊA, Marcus Metri; CAVALCANTI, Marília Costa; PRIMO, Dário Costa; ROLIM NETO, Fernando Cartaxo; MARTINS, Jean Manuel; MENEZES, Rômulo Simões Cezar; ANTONINO, Antonio Celso Dantas; MENDES, Isaque de Souza; MEDEIROS, Livia Regina dos Santos. Wastewater reuse in irrigation: short-term effect on soil carbon and nitrogen stocks in Brazilian semi-arid region. **Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 16, n. 1, e2623, 2021. DOI: 10.4136/ambi-agua.2623. Disponível em: [www.ambi-agua.net](http://www.ambi-agua.net). Acesso em: 21 jan. 2025.

COSTA, C. P. M. et al. Produção da mamoneira 'BRS Gabriela' submetida a níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 6, p. 1834-1844, <https://www.google.com/search?q=2017>. DOI: 10.7127/rbai.v11n600632. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br>. Acesso em: 21 jan. 2025.

COSTA, N. de L. et al. **Produtividade e composição química da forragem de *Megathyrus maximus* cv. Tamani sob regimes de desfolhação**. *Pubvet*, v. 15, n. 10, p. 1-7, 2021. DOI: 10.31533/pubvet.v15n010a940.1-7.

COSTA, N. de L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B.; RODRIGUES, B.

CRUZ, P. J. R. da et al. Grazing management of *Megathyrus maximus* BRS Tamani under

shading: Effects of morphogenetic, physiological, and herbage characteristics. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 2087–2096, 2024.

CUFF, Eduarda Caroline Kichel. **Composição bromatológica do capim BRS Tamani adubado com nitrogênio**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2022. Disponível em: <https://biblioteca.ufr.edu.br/pergamumweb/vinculos/00003b/00003b71.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2024.

CYRINO, J.E.P., Bicudo, Á.J.A., Sado, R.Y., Borghesi, R., Dairiki, J.K. **A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura**. Revista Brasileira de Zootecnia1 Volume: 39 Páginas: 68-87 Ano: 2010 ISSN: 1806-9290.

DANIEL, Lucas Ávila Rezende. **Sistema de recirculação de água para piscicultura urbana (Tilápia do Nilo)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Faculdade de Medicina Veterinária, 2021.

DIFANTE, G. S. et al. **Production potential and quality of *Panicum maximum* cultivars established in a semi-arid environment**. Tropical Animal Science Journal, v. 45, n. 3, 2022. Disponível em: <https://agris.fao.org>. Acesso em: 22 out. 2023.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. **Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems**. Aquaculture, v. 257, n. 1-4, p. 346-358, 2006.

ELER, M. N. **Efeito da densidade de estocagem de peixes e do fluxo de água na qualidade de água e na sucessão do plâncton em viveiros de piscicultura**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-15052018-150330/>. Acesso em: 23 dez. 2024.

ELER, Márcia Noélia; MILLANI, Thiago José. **Métodos de estudos de sustentabilidade**

**aplicados à aquicultura.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 36, suplemento especial, p. 33-44, 2007. Disponível em: [www.sbz.org.br](http://www.sbz.org.br). Acesso em: 22 set. 2023.

EMBRAPA GADO DE CORTE: **BRS Tamani, forrageira híbrida de *Panicum maximum*.** 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120462/1/Folder-Tamani-Final3.pdf>. Acesso em 22 de novembro de 2023.

EMBRAPA. **Abordagem prática do dimensionamento da demanda hídrica em projetos de piscicultura.** Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018. 8 p. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087678/1/2018cpamtdanielituassudimensionamentodemandahidricaprojetospiscicultura.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087678/1/2018cpamtdanielituassudimensionamentodemandahidricaprojetospiscicultura.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 23 ago. 2024.

EMBRAPA. **BRS Tamani: forrageira híbrida de *Panicum maximum*.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2015. 8 p. (Comunicado Técnico, 198).

EMBRAPA. **Impactos socioeconômicos da aquicultura no Brasil: análise de multiplicadores derivados de uma matriz de contabilidade social.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v.58, n.4, p. e222307, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222307/1/ren-2020.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2011.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Sustainability in Action.** Roma: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 20 dez. 2024.

FARIA, R.R.P.; SIRQUEIRA, R.C.; MOREIRA, A.S.M.; MORAES, P.C.G.; CARNEIRO, I.D.; NETO, A.A.L.; FERNANDES, A.C.; SILVA, F.C.; SOUZA, M.F.; ABREU, L.C.; ARAÚJO, E.A.; FERRO, J.X. **Índices zootécnicos para cultivo de peixes (sistemas tanques-redes e escavados) no Estado de Goiás.** Secretaria de Agricultura, Pecuária e Irrigação. 2012. Disponível em [www.seagro.go.gov.br](http://www.seagro.go.gov.br) Acesso em 20/11/2023.

FARIAS, Luciano Ferreira; SOARES, João Paulo Guimarães; ALVES, Dalila; JUNQUEIRA,

Ana Maria Resende. **Manejo sustentável da produção orgânica em sistemas agroflorestais (SAFs) na agricultura familiar. Colóquio** – Revista do Desenvolvimento Regional, Faccat - Taquara/RS, v. 19, Ed. Especial (SOBER), 2022. Submissão: 30/10/2021. Aceitação: 28/01/2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: **a computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. Revista Brasileira de Biometria, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FERREIRA, E. M.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, L. C.; CUNHA, O. F. R. **Características agrônômicas do *Panicum maximum* cv. Mombaça submetido a níveis crescentes de fósforo**. Ciência Rural, v. 38, n. 2, p. 484-491, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200030>. Acesso em: 10 ago. 2024.

FITZSIMMONS, K.; POSADAS, B. **Aquaculture in the Americas**. World Aquaculture Society, 2021.

FONTINELE, R. G. et al. Gas exchanges, chemical composition and productive characteristics of tropical grasses deferred I: cultivars BRS Massai and BRS Tamani. **Embrapa Gado de Corte**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1143238/>. Acesso em: 06 ago. 2025.

FONTINELE, Renato Gomes. **Morfofisiologia e composição químico-bromatológica dos cultivares BRS Massai e BRS Tamani sob épocas de vedação e idades de utilização**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY, W. **Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and biofloc composition in a zero-exchange super-intensive system**. Aquaculture, v. 321, n. 1-2, p. 130-136, 2011.

GOMES, Eva Nara Oliveira. **Potencial da gramínea *Panicum maximum* cv. BRS Tamani para utilização como feno ou silagem**. 2020. 91 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020.

GOMES, L. C.; BRINN, R. P.; ARANTES, J. F. **Comparação entre os parâmetros de qualidade de água em diferentes sistemas de produção intensiva de peixes**. Revista

Brasileira de Zootecnia, v. 42, n. 2, p. 85-92, 2013.

GUILHERME CRISPIM HUNDLEY; RODRIGO DIANA NAVARRO. **Aquaponia: A Integração entre Piscicultura e a Hidroponia**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, [S. l.], v. 3, n. 2, 2013. DOI: 10.21206/rbas.v3i2.218. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2809>. Acesso em: 10 set. 2024.

HASHIMOTO, D. T.; SENHORINI, J. A.; FORESTI, F.; PORTO-FORESTI, F. **Interspecific fish hybrids in Brazil: management of genetic resources for sustainable use**. Reviews in Aquaculture, v. 4, p. 108-118, 2012.

HERNÁNDEZ SERRANO, P. **Responsible use of antibiotics in aquaculture**. Rome: FAO, 2005. 97 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 469).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). **Produção da Pecuária Municipal** (Vol. 48, pp. 1–12). Rio de Janeiro.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados climatológicos da estação São Luís – Maranhão (Aeroporto Marechal Cunha Machado)**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 06 ago. 2024.

INTEGRAL MIX. Peixes – **Nutrição e Alimentação**. Disponível em: <https://integralmix.com.br/peixes/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

JANK, L.; BRAZ, T. G. S.; MARTUSCELLO, J. A. **Gramíneas de clima tropical**. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (Eds). Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel - ME, 2013. p. 109-123.

JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; RESENDE, M. D. V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C. **Melhoramento genético de *Panicum maximum***. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; JANK, L. (Ed.). Melhoramento de forrageiras tropicais. 1. ed. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2008. p. 55-87.

JANK, Liana; SANTOS, Mateus Figueiredo; et al. **Capim-BRS Tamani (*Panicum maximum* Jacq.): híbrido de maior qualidade, porte baixo e fácil manejo**. Comunicado

Técnico 161. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

KERAÏTA, Bernard; JIMENEZ, Blanca; DRECHSEL, **PayExtent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries**. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, v. 3, n. 058, 2008. DOI: 10.1079/PAVSNR20083058. Disponível em: <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews6>. Acesso em: 22 set. 2023.

KOISTINEN, K., Teerikangas, S., Mikkilä, M., & Linnanen, L. (2019). **Active sustainability actors: A life course approach**. Sustainable Development, 1(16).  
<https://doi.org/10.1002/sd.1989>.

KUBITZA, F. **Tambaqui: alimentando com eficiência para reduzir custos**. Panorama da AQUICULTURA, vol. 22, n.129, p.14-21. janeiro/ fevereiro, 2012.

LEITE, R. V. **Desenvolvimento de alevinos tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomus*), suplementados com diferentes níveis de vitamina C**. 2016. 45 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2016. Disponível em:  
[https://portal.unemat.br/media/files/ricary\\_DESENVOLVIMENTO\\_DE\\_ALEVINOS\\_](https://portal.unemat.br/media/files/ricary_DESENVOLVIMENTO_DE_ALEVINOS_)

MACIEL, H.M.; ARAÚJO, AF.; DENTZ, BAV.; LIRA, KC da S.; SIGNOR, AA **Densidade de estocagem de peixes nativos e seus híbridos criados em tanques-rede**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, pág. e225101018591, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18591. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18591>. Acesso em: 23 dez. 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MATOS, A. T.; MARTINS, P. O.; MONACO, P. A. V. L. **Alterações químicas no solo após fertirrigação do capim Mombaça com água residuária de curtume**. Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, v.22, n.2, p.128-137, mar./abr. 2014.

MEDEIROS, S. de S.; DANTAS, D. C.; COSTA, F. G. B.; DUARTE, A. da S. Reúso de água na agricultura: uma ferramenta de adaptação à escassez hídrica. Revista Brasileira de

Agricultura Irrigada, v. 11, n. 6, p. 1832-1845, 2017.

MEDEIROS, Salomão de S. de; SOARES, Antônio A.; FERREIRA, Paulo A.; NEVES, Júlio C. L.; MATOS, Antônio T. de; SOUZA, José A. A. de. **Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 603–612, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/4GfwwDdsNwqN6sNS93QbRSQ/?lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2025.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). **Produção aquícola aumenta 16% no Brasil e gera R\$ 10,2 bilhões em 2023.** 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/producao-aquicola-aumenta-16-no-brasil-e-gera-r-10-2-bilhoes-em-2023>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MONTEIRO, Mônica. Economia Circular: nº 20. **Empreendedorismo Start e Go**, 2018. Disponível em: ><https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20.pdf><. Acesso em: 10 out. 2024.

MOURA, P.G. et al. **Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil.** Eng Sanit Ambient, v.25 n.6, nov/dez 2020, p. 791-808.

OLIVEIRA, R. P. de C.; SILVA, P. C.; PADUA, D. M. C.; AGUIAR, M.; MAEDA, H.; MACHADO, N. P.; RODRIGUES, V.; SILVA, R. H. da. **Efeitos da densidade de estocagem sobre a qualidade da água na criação do tambaqui (*collossoma macropomum*, cuvier, 1818) durante a segunda alevinagem, em tanques fertilizados.** Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science, Goiânia, v. 8, n. 4, p. 705–711, 2007. DOI: 10.5216/cab.v8i4.2691. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/2691>. Acesso em: 23 dez. 2024.

OLIVEIRA, Simone Gisele de (ee.). Nutrição de ruminantes. 2.ed Jaboticabal: FUNEP, 2011. 616 p. ISBN 9788578050689.

OLIVEIRA, T. J. A.; UMMUS, M. E.; SOUSA, D. N. **A piscicultura do tambaqui: um possível caminho para a sustentabilidade na Amazônia?** In: IV Congresso Brasileiro de Geografia Política, Geopolítica e Gestão do Território, 21 a 23 de novembro de 2023, São

Paulo. Anais. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 21 jan. 2024.

PEDROZA FILHO, Manoel Xavier; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza; PENA JÚNIOR, Marcos Antonio Gomes. **Impactos socioeconômicos da aquicultura no Brasil: análise a partir da matriz de contabilidade social**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 51, n. 4, p. 159-176, out./dez. 2020.

PINHEIRO, M. H. P.; SILVA, J. W.; NOBRE, M. I. S.; PINHEIRO, F. A. **Cultivo de híbridos tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, com a pirapitinga, *Piaractus brachypomum* Cuvier, 1818, na densidade de 5.000 peixes/ha**. Revista Ciência Agronômica, v. 22, p. 77-87, 1991.

POMPEU, R. C. F. F. et al. **Desempenho agrônômico de *Megathyrus maximus* cultivares Massai e Tamani sob diferentes regimes hídricos em duas estações (seca e chuvosa)**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2018. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 0101-6008; 4). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1101494>. Acesso em: 10 mar. 2024.

QUADROS, D. G. de; RODRIGUES, L. R. A.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E. B.; HERLING, V. R.; RAMOS, A. K. B. **Componentes da Produção de Forragem em Pastagens dos Capins Tanzânia e Mombaça Adubadas com Quatro Doses de NPK**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.3, p.1333-1342, 2002.

RAMALHO, Cristiano Wellington Noberto. Ideologia e aquicultura: uma das faces da revolução azul. Contemporânea – Revista de Sociologia da UFSCar. São Carlos, v. 5, n. 2, jul.-dez. 2015, pp. 521-544.

RAMOS, T.; COSTA, A. C. de O.; SOUZA, J. A.; MOHALLEM, R. de F. F. **Avaliação da produção do *Panicum maximum* cv. BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio**. *Convibra*, 2021. Disponível em: <https://convibra.org/publicacao/getPdf/26380/>. Acesso em: 10 ag6. 2024.

RIBEIRO, P. F. **Efeito da suplementação alimentar com *Arthrospira platensis* no crescimento de alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus***

**brachypomus**). 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em:  
<[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16883/1/2016\\_dis\\_pfribeiro.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16883/1/2016_dis_pfribeiro.pdf)>. Acesso em: 7 fev. 2025.

RODRIGUES, Lucas Cipriano. **Desempenho zootécnico de juvenis de Pomacea haustum (Reeve, 1856) (Mollusca: Gastropoda: Ampullariidae), mantidos em diferentes dietas e salinidades**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. **Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil**. RESR, Piracicaba-SP, v. 56, n. 02, p. 195-212, abr./jun. 2018.

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Miguel Angel; VALENZUELA-HARO, Yael Esbeydy; MORALES-TERÁN, Gladis; RIVAS-JACOBO, Marco Antonio; FRAIRE-CORDERO, Sílvia; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Saúl. **Guinea grass (Megathyrus maximus (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs) growth in response to chemical fertilization in warm humid climate**. Agroproductividad, v. 12, n. 8, p. 47-52, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1450>. Acesso em: 19 mar. 2024.

SEBRAE. **Manual do Piscicultor: Produção de Tambaqui em Viveiros Escavados**. Brasília, DF: SEBRAE, 2008. 46 p. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/e949d85c6485a9ab75f9396c1cf60a26/%24File/4264.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/e949d85c6485a9ab75f9396c1cf60a26/%24File/4264.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 9 ago. 2024.

SILVA, C. A.; FUJIMOTO, R. Y. **Qualidade de Água na Criação de Tambaqui em Sistema Intensivo**. Anais da Semana do Curso de Zootecnia - SEZUS, v. 10, n. 1, 2016. Disponível em: [https://www.anais.ueg.br/index.php/sezus/article/view/7324?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.anais.ueg.br/index.php/sezus/article/view/7324?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 9 ago. 2024.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002.235 p.

SILVA, V. S. **Uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de hortaliças**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual de Roraima, Boa Vista, 2019.

Disponível em: [propei.uerr.edu.br](http://propei.uerr.edu.br). Acesso em: 01 dez. 2024.

SIQUEIRA, T. V. (2017). **Aquicultura: A nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável**. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, 17, 54-60, jul./dez. 2017.

SOBRAL, Lafayette Franco; NOGUEIRA, Luis Carlos. **Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1675-1682, 2008. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org>. Acesso em: 22 set. 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.

SOUSA JUNIOR, G. S. et al. **Aproveitamento de água residuária da piscicultura na fertirrigação do tomate**. Anais de Eventos da UFSCar, v. 9, 2013. Disponível em: [alice.cnptia.embrapa.br](http://alice.cnptia.embrapa.br). Acesso em: 01 dez. 2024.

SOUZA, A. C. F.; Guimarães, E. C.; Santos, J. P.; Costa, F. N.; Viana, D. C. **Piscicultura no estado do Maranhão: perspectivas para aceleração da produção de peixes nativos**. Scientia Plena, v. 18, n. 2, 2022. Disponível em: [www.scientiaplenu.org.br](http://www.scientiaplenu.org.br). doi: 10.14808/sci.plena. Acesso em 22 de novembro de 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F. R. **Características hematológicas da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* cultivada em diferentes sistemas de criação**. Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 24, n. 1, p. 9-14, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 1-14, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>. Acesso em: 22 ago. 2022.

VALENTI, Wagner C. et al. **Aquaculture in Brazil: past, present and future**. Aquaculture Reports, [s. l.], v. 19, p. 100611, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>. Acesso em: 22 set. 2023.

VASCONCELOS, E. C. G. et al. Morphogenesis and biomass production of 'BRS Tamani' guinea grass under increasing nitrogen doses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. e01235, 2020. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.26783.

VINHOLIS, M. M. B.; CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M.; BERNARDO, R. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no estado de São Paulo: estudo multicaseiros com adotantes pioneiros**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 60, n. 1, p. e234057, 2022. DOI: 10.1590/1806-9479.2021.234057.