



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO DE
PACUS *Piaractus mesopotamicus* EM DIFERENTES FASES DE
PRODUÇÃO**

Rubia Mara Gomes Acunha

Campo Grande – MS, 2025

**RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO DE
PACUS *Piaractus mesopotamicus* EM DIFERENTES FASES DE
PRODUÇÃO**

Food restriction and refeeding of pacus *Piaractus mesopotamicus* in
different production phases

Rubia Mara Gomes Acunha

Orientadora: Dr^a. Cristiane Meldau de Campos

“Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ciência Animal, área de concentração em
Produção Animal, da Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.

CAMPO GRANDE – MS, 2025

05/03/2025, 14:45

SEI/UFMS - 5465364 - Certificado



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

RUBIA MARA GOMES ACUNHA

**RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO DE PACUS *Piaractus mesopotamicus* EM
DIFERENTES FASES DE PRODUÇÃO**

**FOOD RESTRICTION AND REFEEDING OF PACUS *Piaractus mesopotamicus* IN DIFFERENT
PRODUCTION PHASES**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul,
como requisito para obtenção do título
de Doutora em Ciência Animal.
Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 26-02-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Cristiane Fatima Meldau de Campos
(UEMS) – Presidente

Dr. Carlos Eurico dos Santos Fernandes
(UFMS)

Dra. Cláucia Aparecida Honorato da Silva
(UFGD)

Dr. Jayme Aparecido Povh
(UFMS)

Dra. Michelly Pereira Soares
(UFScar)

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por Carlos Eurico dos
Santos Fernandes, Professor do Magisterio Superior, em
28/02/2025, às 09:52, conforme horário oficial de Mato
Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do
[Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Claucia Aparecida Honorato da Silva**, Usuário Externo, em 28/02/2023, às 10:47, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Michelly P Soares registrado(a) civilmente como Michelly Pereira Soares**, Usuário Externo, em 28/02/2023, às 12:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Fátima Meldau de Campos Amaral**, Usuário Externo, em 28/02/2023, às 13:31, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Jayme Aparecido Povh**, Professor do Magisterio Superior, em 01/03/2023, às 09:42, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 5465364 e o código CRC 7A42FDFF.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001296/2021-33

SEI nº 5465364

Dedico

*A Deus, àquele que me fortalece e guia em todos os caminhos, meu profundo
agradecimento. Sem Deus, nada seria possível; com Ele, tudo se torna realizável.*

*À Ana Vitória e Alice por me darem força e incentivo para dar o melhor de mim todos
os dias da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, principalmente por ter me permitido viver e ter condições de realizar mais esse título. Sou extremamente grata a todas as bênçãos a mim concedidas!

À minha família, aos meus pais, aos meus irmãos, em especial ao meu esposo Luan e as minhas filhas Ana Vitória e Alice, por sempre estarem comigo, por me darem amparo, carinho, amor e principalmente por toda compreensão que tiveram ao longo dessa jornada: é por vocês e para vocês tudo que faço!

À minha orientadora Cristiane Meldau, exemplo de mulher, forte e motivadora, que foi capaz de me transmitir conhecimento nesta longa jornada de estudo, desde a graduação até a conclusão do doutorado. Serei eternamente grata por ter me tornado uma mulher mais independente graças aos seus ensinamentos. Sou grata por toda confiança a mim depositada, pois, com certeza, isso me motiva a ser melhor cada dia!

Ao programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, por me permitir fazer parte de sua comunidade científica. O levarei comigo, com muita satisfação, na minha nova jornada profissional. Em especial ao Laboratório de Patologia, ao prof. Dr. Carlos Eurico e a técnica Stefanny pelo auxílio nas análises histométricas.

A Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, campus de Aquidauana, local onde eu realizei grande parte do período experimental e análises laboratoriais e acima de tudo, foi minha morada de trabalho. Agradeço a cada um dos professores e funcionários que tive o prazer de conhecer nessa etapa de minha vida. Em especial, ao técnico Gustavo Salmazzo, por todo apoio e auxílio nas análises laboratoriais e aos funcionários do setor de Piscicultura, Elder e Carlos, por sempre nos atender.

À equipe do Laboratório de Sanidade de Peixes: Deliane, Alysson, André, Splinter, Rômulo, Kathiane, Maria Eduarda, Maria Fernanda, Kaio, Victor Hugo, Brenno, Nayara, Vitória, Antônio, Roberta, Ana Lúcia, Welison, Mizael, por estarem dispostos a me ajudar nos momentos de manejo a campo e também nas práticas laboratoriais, especialmente a amiga Nandara que foi além e me auxiliou do início até o momento final desse trabalho, agradeço a você pelo apoio, suporte e companheirismo, conte sempre comigo!

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da minha bolsa.

Não deseje que seja mais fácil, deseje ser melhor.

(Jim Rohn)

RESUMO

ACUNHA, R.M.G. Restrição alimentar e realimentação de pacus *Piaractus mesopotamicus* em sistema recirculação de água e em tanque-rede. 2025. 132p. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

Estratégias alimentares, como a restrição alimentar seguida de realimentação, têm se mostrado eficazes em peixes, induzindo crescimento compensatório, melhor aproveitamento do alimento e preservação da qualidade da água. Sistemas como a recirculação de água (RAS) e tanques-rede oferecem condições ideais para aplicar essas práticas, promovendo sustentabilidade, redução de custos e melhor desempenho na piscicultura. Este estudo avaliou a aplicação de ciclos de restrição alimentar (15 dias) seguidos de realimentação (15 dias) em pacus (*Piaractus mesopotamicus*) nas fases jovem e de terminação, em sistemas fechados (RAS) e abertos (tanques-rede), analisando aspectos produtivos, fisiológicos, nutricionais, metabólicos, perfil lipídico e viabilidade econômica. No capítulo 2, os pacus cultivados em RAS, submetidos a ciclos de restrição alimentar e realimentação apresentaram diferenças significativas no desempenho zootécnico, índices morfológicos e composição corporal. Embora os peixes com alimentação contínua tenham apresentado aumento de 33,54% no peso final, os submetidos à restrição mostraram melhores resultados em proteína bruta (5,28%), redução em lipídeos (22,37%) e aumentaram ácido tridecanoico (8,00%), ácido elaidico (3,70%) e ácido araquidônico (9,41%). A mobilização eficiente de reservas energéticas foi evidenciada, mas não houve danos irreversíveis nos tecidos hepático e intestinal, com recuperação parcial após a realimentação, indicando a resiliência metabólica da espécie. No capítulo 3, os peixes foram cultivados em tanques-rede, o grupo controle apresentou maior ganho de peso e consumo de ração, enquanto os demais parâmetros de desempenho não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$), indicando um ganho compensatório parcial. Peixes submetidos à restrição alimentar apresentaram redução de 15,32% no IHS e de 18% no IGV, além de aumento na enzima amilase (16,33%), triglicerídeos (68,36%), proteína bruta (4,4%) e de ácidos graxos essenciais da série ômega 3 (4,46%) e 6 (3,66%). Os índices fisiológicos sugerem adaptação metabólica e digestória, sem comprometer o desempenho zootécnico ou a saúde dos peixes. A estratégia de restrição alimentar e realimentação foi eficiente e sustentável na fase de engorda em tanques-rede, destacando-se como uma técnica viável de manejo produtivo, dependendo da fase e do sistema de cultivo adotado. No capítulo 4, a produção em RAS com 50 peixes m^{-3} foi inviável economicamente, mas com 100 peixes m^{-3} , a restrição alimentar mostrou viabilidade a curto prazo. A produção em tanques-rede, demonstrou viabilidade econômica nas duas estratégias alimentares. O tratamento SR demonstrou lucro de R\$ 557,37, enquanto que a CR, foi mais expressivo, e a atividade apresenta lucro de R\$ 1.274,19. A restrição alimentar seguida de realimentação pode ser uma estratégia viável para a piscicultura, promovendo eficiência produtiva e sustentabilidade. A adaptação metabólica dos pacus sem prejuízos à saúde reforça seu potencial de aplicação. A viabilidade econômica depende da densidade de estocagem e do sistema de cultivo adotado.

Palavras-chave: Estratégia alimentar, manejos sustentáveis, peixes nativos, rentabilidade.

ABSTRACT

ACUNHA, R.M.G. Dietary restriction and refeeding of pacu *Piaractus mesopotamicus* in a recirculating aquaculture system and in net cages. 2025. 132p. Ph.D. Thesis, School of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

Feeding strategies, such as feed restriction followed by refeeding, have proven effective in fish, inducing compensatory growth, improving feed utilization, and preserving water quality. Systems like recirculating aquaculture systems (RAS) and net cages provide ideal conditions for implementing these practices, promoting sustainability, cost reduction, and improved aquaculture performance. This study evaluated the application of feed restriction cycles (15 days) followed by refeeding (15 days) in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during juvenile and finishing phases in closed (RAS) and open (net-cage) systems, analyzing productive, physiological, nutritional, and metabolic aspects, lipid profile, and economic viability. In Chapter 2, pacu subjected to feed restriction and refeeding cycles showed significant differences in zootechnical performance, morphological indices, and body composition. While continuously fed fish exhibited greater weight and growth, those under restriction showed better results in crude protein, mineral matter, and certain fatty acids. Efficient energy reserve mobilization was evident, but no irreversible damage to hepatic and intestinal tissues was observed, with partial recovery after refeeding, indicating the species' metabolic resilience. In Chapter 3, conducted on a farm with net cages, the control group showed higher weight gain and feed intake, while other performance parameters did not show significant differences ($P>0.05$), indicating partial compensatory growth. Fish subjected to feed restriction showed increased amylase enzyme activity, triglycerides (+68.36%), crude protein, and essential omega-3 and omega-6 fatty acids. Physiological indices suggested metabolic and digestive adaptation without compromising zootechnical performance or fish health. The feed restriction and refeeding strategy was effective and sustainable in the grow-out phase in net cages, standing out as a viable management technique depending on the production phase and cultivation system used. In Chapter 4, RAS production with a stocking density of 50 fish/m³ was economically unviable. However, with 100 fish/m³, feed restriction proved viable in the short term. Net-cage production demonstrated economic feasibility in both feeding strategies. The SR treatment yielded a profit of R\$ 557.37, while the CR treatment was more profitable, generating R\$ 1,274.19. Feed restriction followed by refeeding can be a viable strategy for aquaculture, promoting production efficiency and sustainability. The metabolic adaptation of pacus without health impairments reinforces its application potential. Economic viability depends on stocking density and the cultivation system adopted.

Keywords: Feeding strategy, sustainable management, native fish, profitability.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Dinâmica de diferentes respostas de crescimento de peixes submetidos ou não a restrição alimentar (Adaptado: Ali & Wotton, 2001).....	6
Figura 2. Pacu <i>Piaractus mesopotamicus</i> . Fonte: Arquivo pessoal.....	20
Quadro 1. Diferentes fases da utilização de lipídeos por peixes em períodos de jejum. Fonte: Adaptado de Bar e Volkoff (2012).....	15
Quadro 2. Estudos de restrição alimentar e realimentação em <i>P. mesopotamicus</i> . Fonte: A autora.....	22

Capítulo 2

Figura 1. Diagrama esquemático da amostragem de peixes submetidos ou não a restrição alimentar e realimentação no período experimental de 60 dias.....	37
Figura 2. Média e desvio padrão do desempenho zootécnico de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.....	44
Figura 3. Média e desvio padrão de teores de matéria mineral e umidade de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.....	46
Figura 4. Média e desvio padrão de enzimas digestivas amilase (A) e protease alcalina (B) de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	47
Figura 5. Média e desvio padrão de hematócrito (Ht), leucócitos e trombócitos totais de <i>P. mesopotamicus</i> , submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	50

Capítulo 3

Figura 1. Diagrama experimental, composto de tempos de amostragem e coletas para análises. Fonte: A autora.....	77
Figura 2. Média e desvio padrão do desempenho zootécnico de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua.....	81

Figura 3. Média e desvio padrão do índice de gordura visceral (IGV) de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	83
--	----

Capítulo 4

Figura 1. Representação esquemática do sistema de recirculação de água instalado no setor de piscicultura da UEMS, Aquidauana, MS. Elaborado pela autora.....	103
Figura 2. Lâmina d'água (represa) onde foram instalados os tanques-rede.....	105
Figura 3. Desempenho zootécnico de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle) em sistema de recirculação de água.....	109
Figura 4. Itens para custo de implantação de um sistema de recirculação de água, em caixas d'água, na Piscicultura da UEMS/Aquidauana, MS. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 1 = R\$ 6,47).....	110
Figura 5. Itens de investimento para implantação de oito tanques-rede em uma área alagada de 0,5 ha, no município de Nioaque, MS, Brasil. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 1 = R\$ 6,18).....	112

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1. Média e desvio padrão da interação significativa de parâmetros de desempenho zootécnico de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.....	43
Tabela 2. Média e desvio padrão da interação significativa de teores de proteína bruta (PB%) e lipídeos totais (LT%) de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	45
Tabela 3. Média e desvio padrão da interação significativa de índice hepatossomático (IHS%) e quociente intestinal (QI), de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	47
Tabela 4. Médias e desvio padrão da interação significativa de parâmetros de hemograma de juvenis de <i>P. mesopotamicus</i> , submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	49
Tabela 5. Média e desvio padrão da interação significativa de colesterol e glicose de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).....	51
Tabela 6. Média e desvio padrão da interação significativa na histometria de hepatócitos do volume nuclear (VN) e na largura da mucosa (LM) e largura da vilosidade (LV) da histometria do intestino de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua.....	53
Tabela 7. Média e desvio padrão da histometria hepática de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.....	54
Tabela 8. Média e desvio padrão da histometria intestinal de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua.....	55
Tabela 9. Média e desvio padrão da interação significativa de ácidos graxos insaturados, saturados, MUFAs e PUFAs de <i>P. mesopotamicus</i>	57

Capítulo 3

Tabela 1. Média e desvio padrão da interação significativa de índice IHS e QI de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	82
Tabela 2. Média e desvio padrão da composição centesimal de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	84
Tabela 3. Média e desvio padrão da interação significativa de amilase de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	85
Tabela 4. Média e desvio padrão de parâmetros hematológicos de <i>P. mesopotamicus</i> , na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	86
Tabela 5. Média e desvio padrão de parâmetros bioquímicos de <i>P. mesopotamicus</i> , na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	87
Tabela 6. Média e desvio padrão da interação significativa de triglicerídeos de <i>P. mesopotamicus</i> na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.....	88
Tabela 7. Média e desvio padrão do perfil de ácidos graxos e lipídeos totais (%) do filé de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos a restrição alimentar de 15 dias e alimentação contínua (controle).....	89

Capítulo 4

Tabela 1. Média e desvio padrão da qualidade da água para o cultivo de <i>P. mesopotamicus</i> em sistema de recirculação de água (RAS) e em tanques-rede.....	106
Tabela 2. Custo da produção e indicadores econômicos de juvenis de <i>P. mesopotamicus</i> em RAS em dois meses de cultivo, submetidos a restrição alimentar e realimentação, em duas biomassas de estocagens. Os valores são referentes ao mês de dezembro de 2024 (US\$ 1 = R\$ 6,47).....	111
Tabela 3. Parâmetros de desempenho zootécnico de <i>P. mesopotamicus</i> submetidos ou não a restrição alimentar e realimentação, em tanques-rede.....	112
Tabela 4. Custo da produção e indicadores econômicos da engorda de <i>P. mesopotamicus</i> em dois meses de cultivo, submetidos a restrição alimentar e realimentação. Os valores são referentes ao mês de dezembro de 2024 (US\$ 1 = R\$ 6,18).....	113

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Manejo nutricional na piscicultura.....	3
2.2 Efeitos da restrição alimentar e ganho compensatório em peixes.....	5
2.3 Respostas fisiológicas à restrição alimentar.....	6
2.3.1 Sistema digestivo e absorção de nutrientes.....	7
2.3.2 Adaptações morfológicas, anatômicas e metabólicas.....	8
2.3.3 Alterações nos parâmetros sanguíneos e bioquímicos de peixes.....	10
2.3.4 Alterações no metabolismo e mobilização energética.....	12
2.3.5 Mudanças na composição centesimal e perfil de ácidos graxos.....	14
2.4 Considerações ambientais/sustentabilidade e conservação de recursos.....	15
2.4.1 Sistemas produtivos na piscicultura aliados à sustentabilidade.....	17
2.5 Avaliação econômica da restrição alimentar na piscicultura.....	18
2.6 Espécie alvo da pesquisa, <i>Piaractus mesopotamicus</i>	20
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivo Geral.....	23
3.2 Objetivos Específicos.....	23
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
CAPÍTULO 2	31
Ciclos quinzenais de jejum e realimentação no cultivo de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) em RAS: impactos no desempenho zootécnico, composição corporal e perfil lipídico.....	31
Resumo.....	32
Abstract.....	33
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3. RESULTADOS.....	43
4. DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

CAPÍTULO 3.....	73
Ganho compensatório do pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) após restrição alimentar e realimentação na fase de terminação em tanques-rede: efeitos fisiológicos, nutricionais e na composição centesimal de filés.....	73
Resumo.....	74
Abstract.....	75
1. INTRODUÇÃO.....	76
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	77
3. RESULTADOS.....	83
4. DISCUSSÃO.....	92
5. CONCLUSÃO.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
CAPÍTULO 4.....	101
Viabilidade econômica da restrição alimentar e realimentação de pacus (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) na fase inicial em sistema de recirculação de água e na fase de terminação em tanques-rede.....	101
Resumo.....	102
Abstract.....	103
1. INTRODUÇÃO.....	104
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	109
3. RESULTADOS.....	115
4. DISCUSSÃO.....	119
5. CONCLUSÃO.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da aquicultura tem levado à intensificação dos sistemas produtivos, aumentando a frequência das práticas de manejo e, conseqüentemente, elevando o estresse nos peixes, a suscetibilidade a doenças e os impactos ambientais, como a eutrofização dos corpos d'água. Esse fenômeno ocorre principalmente devido ao grande volume de ração fornecida, que nem sempre é totalmente aproveitado pelos peixes, resultando no acúmulo de nutrientes e poluentes no ambiente (Tacon & Metian, 2008).

A nutrição e a alimentação representam os maiores custos na piscicultura, tornando essencial a adoção de estratégias que reduzam gastos sem comprometer o desempenho dos animais. Entre essas estratégias, a restrição alimentar tem se destacado por aumentar a eficiência do aproveitamento do alimento e, ao mesmo tempo, preservar a qualidade da água (Gallardo-Collí et al., 2020), configurando-se como uma alternativa viável tanto do ponto de vista prático quanto econômico (Acunha, 2021).

Entretanto, a restrição alimentar pode provocar alterações fisiológicas nos peixes, como a redução do crescimento e da taxa metabólica, além de influenciar o sistema imunológico e aumentar a suscetibilidade a doenças (Sorrente, 2023). Por outro lado, quando os peixes são realimentados, pode ocorrer o fenômeno do crescimento compensatório (Ali & Wootton, 2003), caracterizado por um aumento acelerado no crescimento e ganho de peso após o período de privação alimentar (Oliveira et al., 2020).

A constatação desse crescimento compensatório tem motivado pesquisas na área de nutrição e alimentação de peixes, especialmente para avaliar os efeitos da restrição alimentar em diferentes espécies, pois podem mudar por fatores como metabolismo, hábitos alimentares e características do ambiente de cultivo. Nesse contexto, o estudo da restrição alimentar em pacus (*Piaractus mesopotamicus*) é particularmente relevante, pois se trata de uma espécie amplamente cultivada na piscicultura brasileira, com elevado potencial de crescimento e adaptação a diferentes condições de manejo e têm sido uma espécie alvo de nossos estudos na região do Pantanal-Sul-Matogrossense.

Estudos realizados com juvenis de *P. mesopotamicus* demonstram que a espécie é capaz de compensar períodos de privação alimentar quando submetida à realimentação subsequente. Souza et al. (2003) observaram seis semanas de restrição alimentar seguidas

de sete semanas de realimentação ao longo de um ano e observaram ganho compensatório. Souza et al. (2000) relataram que após 60 dias de restrição e 30 dias de realimentação, os peixes exibiram recuperação no crescimento. Diferentes protocolos experimentais vêm sendo empregados na pesquisa, incluindo privação total do alimento, restrição parcial da ração (Cotrim et al., 2015) e realimentação alternada em ciclos (Ali et al., 2016).

Apesar dos avanços, ainda há lacunas no conhecimento sobre quais fases do cultivo e quais protocolos de restrição alimentar são mais eficazes, dependendo do sistema de produção. Além disso, os impactos ambientais da restrição alimentar precisam ser mais explorados, especialmente no contexto de sistemas intensivos.

A adaptação dessas estratégias a sistemas específicos, como recirculação de água (RAS) e tanques-rede, pode proporcionar resultados promissores tanto em termos de desempenho dos peixes quanto em economia produtiva. O RAS, por exemplo, permite maior controle sobre a qualidade da água e a otimização dos recursos, favorecendo a implementação de estratégias alimentares de forma mais eficiente (Assis et al., 2020). Já os tanques-rede, amplamente utilizados na piscicultura, oferecem condições adequadas para o cultivo em larga escala, sendo uma plataforma viável para estudos sobre manejo nutricional, incluindo a restrição alimentar (Rossatto et al., 2022).

Assim, alinhar as estratégias de restrição alimentar à intensificação sustentável da aquicultura exige estudos integrados que avaliem não apenas o desempenho zootécnico, mas também os aspectos econômicos e ambientais. Quando bem gerenciados, os programas de restrição alimentar podem contribuir para uma produção mais eficiente e sustentável, reduzindo custos com ração, minimizando impactos ambientais e melhorando a qualidade do produto final.

Diante desse contexto, este estudo parte das hipóteses de que, durante períodos de jejum, os pacus ajustam seu metabolismo e comportamento alimentar para conservar energia e nutrientes; apresentam maior suscetibilidade a doenças e menor resistência ao estresse ambiental; e, quando realimentados, maximizam seu crescimento e eficiência alimentar, garantindo sua saúde e bem-estar. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é avaliar as respostas fisiológicas, metabólicas e nutricionais dos peixes, bem como os mecanismos energéticos envolvidos na restrição alimentar. Além disso, busca-se compreender o custo-benefício dessa estratégia e seu impacto ambiental, especialmente na qualidade da água e na sustentabilidade dos recursos utilizados na alimentação dos peixes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Manejo nutricional na piscicultura

Na aquicultura, um manejo nutricional adequado é essencial para otimizar o desempenho produtivo dos peixes, assegurar o uso eficiente dos recursos alimentares e minimizar os impactos ambientais. Estratégias como a formulação de dietas balanceadas, o ajuste da frequência alimentar e a adoção de regimes de restrição controlada têm sido amplamente estudadas e aplicadas (De Silva & Anderson, 1995; Halver & Hardy, 2002). Essas práticas visam alinhar as necessidades nutricionais dos peixes com as condições específicas de cultivo, promovendo eficiência e sustentabilidade.

Para alcançar esses objetivos, o planejamento nutricional deve levar em conta as características fisiológicas da espécie cultivada, seu estágio de desenvolvimento e as condições ambientais. Garantir que as dietas forneçam os nutrientes essenciais — como proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e minerais — é crucial para atender às demandas específicas de cada espécie (Silva et al., 2020). Além de suportar o crescimento e a reprodução, uma nutrição equilibrada também contribui para a manutenção da saúde e imunidade dos peixes, estabelecendo uma base sólida para o sucesso produtivo.

No entanto, a influência do manejo nutricional vai além do desempenho individual dos peixes, afetando diretamente a qualidade do ambiente aquático. O excesso de alimentos não consumidos pode causar problemas como acúmulo de matéria orgânica, aumento da amônia e redução do oxigênio dissolvido, comprometendo o equilíbrio ecológico dos sistemas de cultivo. Por isso, o controle rigoroso da taxa de alimentação, aliado a ajustes baseados no comportamento alimentar dos peixes, é essencial para mitigar esses impactos (Boscolo et al., 2019). Assim, práticas nutricionais bem planejadas não apenas otimizam a conversão alimentar e reduzem custos, mas também promovem a sustentabilidade ambiental.

Entre as estratégias de manejo nutricional, destaca-se o uso de protocolos com restrição alimentar (alimentação controlada em dias alternados) e sem restrição (alimentação diária). Diversos estudos mostram que, quando aplicadas de maneira controlada, as estratégias de restrição alimentar podem reduzir os custos com ração sem comprometer significativamente o crescimento ou a saúde dos peixes (Oliveira et al., 2021). Essa abordagem, quando bem planejada, pode até estimular o chamado crescimento compensatório, em que os peixes, após períodos de restrição, apresentam

taxas aceleradas de crescimento durante a fase de realimentação, recuperando o peso perdido.

Esse fenômeno tem sido documentado em várias espécies de peixes, incluindo *Oncorhynchus mykiss* (Nikki et al., 2004) e *Piaractus mesopotamicus* (Santos et al., 2010). No entanto, o sucesso dessa estratégia depende de uma combinação de fatores, como a espécie, idade, condição corporal e duração dos períodos de restrição e realimentação (Jobling, 2012). Isso reforça a importância de ajustar as estratégias às particularidades de cada sistema de cultivo para maximizar os benefícios produtivos e econômicos.

Por fim, além dos aspectos econômicos e produtivos, o manejo nutricional deve considerar o bem-estar animal. A privação alimentar prolongada, se mal manejada, pode causar estresse, reduzir a imunocompetência e comprometer a saúde dos peixes (Montero et al., 2003). Nesse contexto, pesquisas sobre restrição alimentar têm sido essenciais para o desenvolvimento de protocolos que conciliem eficiência econômica, sustentabilidade ambiental e saúde animal. O objetivo final é criar sistemas de manejo nutricional equilibrados, que maximizem o desempenho produtivo sem comprometer o bem-estar dos animais.

2.2 Efeitos da restrição alimentar e ganho compensatório em peixes

No ambiente natural, a privação alimentar é uma condição recorrente no ciclo de vida de muitas espécies de peixes. Durante esses períodos de jejum, os peixes mobilizam fontes de energia endógena, como carboidratos, lipídios e proteínas, para manter a homeostase energética e os níveis de glicose no sangue. Quando a alimentação é restabelecida, eles demonstram uma notável capacidade de recuperação do crescimento, conhecida como crescimento compensatório (Navarro & Gutiérrez, 1995). Essa resposta metabólica à privação alimentar é influenciada por diversos fatores, como a espécie, o estágio de desenvolvimento, as condições ambientais e a duração dos períodos de jejum e realimentação. Durante o jejum, os peixes utilizam diferentes estratégias metabólicas, incluindo a degradação de lipídios no fígado (Marqueze et al., 2018), músculos (Favero et al., 2018) e tecido adiposo (Nebo et al., 2018). A proteína muscular também pode ser usada como fonte de energia, enquanto o glicogênio hepático é convertido em glicose para atender às demandas metabólicas (François et al., 2023).

A capacidade dos peixes de responder a diferentes regimes alimentares, incluindo períodos de jejum e realimentação, tem sido amplamente estudada. Pesquisas realizadas em espécies como *Labeo rohita* (Dar et al., 2018), *Oreochromis niloticus* (Palma et al., 2010), *Oncorhynchus mykiss* (Nikki et al., 2004), *Scaphyrhynchus suttkusi* (Morshedi et al., 2017) e *Dicentrarchus labrax* (Pérez-Jiménez et al., 2007) mostram diferentes respostas metabólicas e produtivas. Espécies nativas brasileiras, como *Colossoma macropomum* (Santos et al., 2010; Assis et al., 2020), *Brycon cephalus* (Urbinati et al., 2014) e *Piaractus mesopotamicus* (Davaló, 2021; Farias, 2023), também têm sido foco de estudos, evidenciando a importância do manejo nutricional em cenários de restrição e realimentação.

A magnitude do crescimento compensatório após períodos de restrição alimentar pode variar entre total, parcial, sobrecompensação ou inexistente, dependendo das condições de manejo (Py et al., 2021). Segundo Ali & Wootton (2003), a não compensação ocorre quando os peixes submetidos à restrição alimentar apresentam desempenho inferior ao grupo controle. A compensação parcial, por sua vez, caracteriza-se por um rápido crescimento e melhor conversão alimentar, embora os peixes não alcancem o tamanho do grupo controle. Já a compensação total ocorre quando os peixes atingem o mesmo porte dos alimentados continuamente. A sobrecompensação, embora rara, é observada quando os peixes submetidos à restrição apresentam um crescimento superior ao grupo controle (Figura 1).

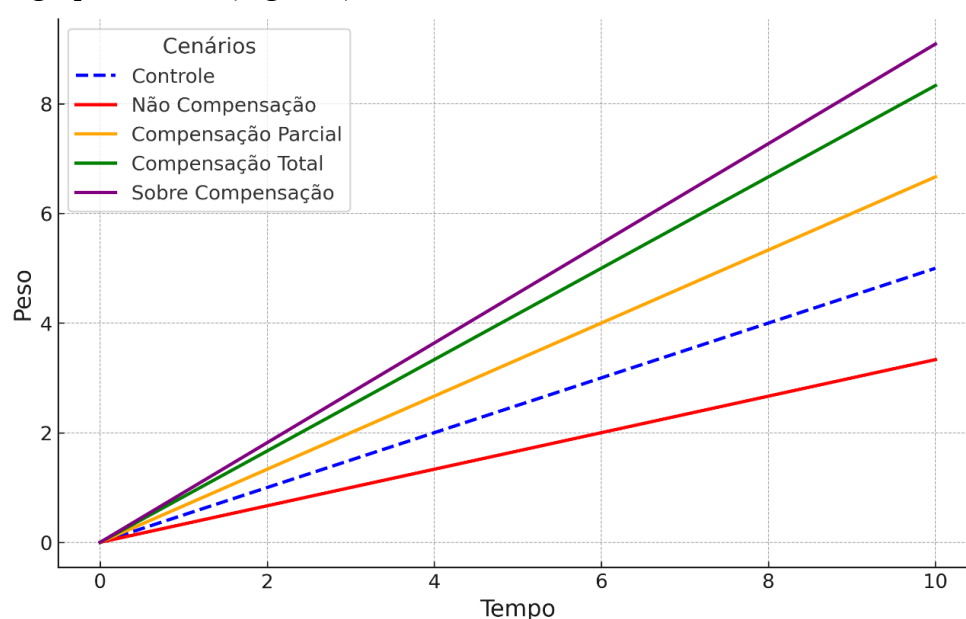


Figura 1. Dinâmica de diferentes respostas de crescimento de peixes submetidos ou não a restrição alimentar (Adaptado: Ali & Wotton, 2001).

Durante a fase de realimentação, os peixes ativam mecanismos metabólicos que visam restabelecer o equilíbrio corporal e compensar a perda de peso. Esse processo, que envolve a otimização da utilização dos nutrientes e a recuperação do perfil metabólico, sustenta o ganho compensatório (Liu et al., 2019). Em geral, os peixes apresentam aceleração do crescimento e aumento na eficiência alimentar, permitindo rápida recuperação do peso corporal (François et al., 2023).

O ganho compensatório é um fenômeno amplamente observado e pode ser utilizado como uma ferramenta para reduzir os custos de alimentação. Ao alternar períodos de restrição e realimentação, é possível melhorar a eficiência do ganho de peso e minimizar desperdícios. No entanto, a intensidade e a duração do ganho compensatório dependem de fatores como espécie, idade, condições ambientais e duração do jejum, destacando a importância de ajustar estratégias nutricionais ao contexto específico.

Apesar dos avanços no entendimento do ganho compensatório, desafios permanecem. Identificar protocolos nutricionais eficientes que maximizem o crescimento, sem comprometer o bem-estar dos peixes, é fundamental. Além disso, aprofundar o conhecimento sobre as respostas metabólicas e fisiológicas durante o jejum e a realimentação pode trazer benefícios tanto para a saúde animal quanto para a sustentabilidade econômica da piscicultura.

2.3 Respostas fisiológicas à restrição alimentar

2.3.1. Sistema digestivo e absorção de nutrientes

O sistema digestivo dos peixes desempenha um papel fundamental na transformação e absorção de nutrientes essenciais para o crescimento, manutenção e reprodução. Esse sistema, caracterizado pela diversidade anatômica e funcional, é altamente adaptado ao hábito alimentar de cada espécie, apresentando variações significativas entre peixes carnívoros, herbívoros e onívoros (da Rosa et al., 2020). Para que esses nutrientes sejam aproveitados, o processo digestivo conta com a ação coordenada de enzimas como proteases, lipases e amilases, que hidrolisam macronutrientes em componentes menores, como aminoácidos, ácidos graxos e monossacarídeos. Esses componentes são, posteriormente, absorvidos, principalmente, no intestino (Buddington et al., 1997).

Entre as enzimas digestivas, as proteases, ou peptidases, desempenham um papel indispensável na digestão de proteínas, catalisando a quebra de ligações peptídicas que

unem os aminoácidos em cadeias polipeptídicas (Walter, 1984). Essas enzimas, produzidas em diferentes regiões do trato digestivo, como o estômago e o pâncreas, convertem proteínas complexas em peptídeos menores e, em seguida, em aminoácidos livres, que são facilmente absorvidos pelo organismo. As proteases são essenciais para o fornecimento de aminoácidos necessários à síntese proteica e ao metabolismo geral, destacando sua importância para o equilíbrio metabólico e nutricional dos peixes (Van Senten et al., 2020). Além das proteases, as lipases têm um papel crucial na digestão de lipídios, hidrolisando os triglicerídeos em ácidos graxos livres e monoglicerídeos. Esse processo é facilitado pelos sais biliares, produzidos no fígado a partir do colesterol. Os sais biliares atuam como surfactantes biológicos, emulsificando os lipídios e formando micelas que aumentam a área de contato com as lipases, otimizando o processo digestivo (Albro et al., 1985). As amilases completam o trio de enzimas principais do sistema digestivo, sendo responsáveis pela digestão de carboidratos. Elas catalisam a quebra de polissacarídeos, como o amido, em açúcares mais simples, como maltose e glicose, que podem ser facilmente absorvidos pelo organismo (Bernfeld, 1955).

A eficiência digestiva e de absorção de nutrientes é influenciada por diversos fatores, como a composição da dieta, a temperatura da água e o regime alimentar (Jobling, 2012). Durante períodos de restrição alimentar, por exemplo, os peixes apresentam importantes adaptações metabólicas, como redução na produção enzimática e alterações na eficiência de absorção. Essas mudanças fisiológicas permitem que os peixes mantenham processos metabólicos essenciais mesmo em condições de escassez de alimentos (Navarro & Gutiérrez, 1995).

Outro aspecto relevante é que o equilíbrio na produção e atividade dessas enzimas é crucial para o máximo aproveitamento dos nutrientes da dieta. Fatores como a idade, o estágio de desenvolvimento, a espécie e as condições ambientais afetam significativamente a atividade enzimática. Dessa forma, a formulação de rações específicas para cada espécie é essencial para garantir a saúde, o crescimento e a eficiência produtiva dos peixes.

2.3.2 Adaptações anatômicas, morfológicas e metabólicas

A resposta dos peixes à restrição alimentar envolve uma série de adaptações complexas, que visam otimizar o uso de recursos limitados. Esse processo é essencial tanto para a fisiologia dos peixes quanto para a aquicultura, já que impacta diretamente o

crescimento e a sobrevivência dos organismos, especialmente em ambientes de produção controlados (Favero et al., 2021).

Quando expostos a períodos de privação alimentar, os peixes sofrem diversas mudanças estruturais e funcionais. A redução na ingestão de proteínas, fundamentais para a síntese de tecido muscular, frequentemente resulta em crescimento muscular limitado, o que se reflete na diminuição da massa corporal e do tamanho dos músculos (Navarro & Gutiérrez, 1995). Além disso, o jejum prolongado pode causar alterações significativas na morfologia dos peixes, como a redução da espessura da camada de gordura subcutânea e o encolhimento de órgãos vitais, como o fígado (Marqueze et al., 2018). Essas modificações são estratégias adaptativas que visam conservar energia e manter funções essenciais durante a escassez de alimentos.

O fígado, um órgão crucial no metabolismo energético, sofre adaptações importantes durante a privação alimentar. Responsável pela síntese e armazenamento de glicogênio, produção de lipídios e regulação dos níveis de glicose no sangue, o fígado diminui de volume devido à redução na produção de glicogênio e lipídios, em razão da escassez de nutrientes (Pérez-Jiménez et al., 2007). O órgão então recorre às suas reservas de lipídios e glicogênio para fornecer energia aos processos metabólicos essenciais, resultando em seu encolhimento. Esse processo inclui a conversão do glicogênio hepático em glicose, que é liberada na corrente sanguínea para atender às necessidades energéticas do peixe (François et al., 2023). Além disso, a privação alimentar modula a atividade das enzimas hepáticas envolvidas no metabolismo de lipídios e glicose, ajustando-se às necessidades energéticas do organismo e permitindo uma utilização mais eficiente das reservas (Marqueze et al., 2018).

O intestino, responsável pela absorção de nutrientes, também passa por mudanças durante a restrição alimentar, visando otimizar o aproveitamento dos alimentos disponíveis. A morfologia intestinal é alterada, com a redução no comprimento do intestino e a diminuição das vilosidades intestinais, estruturas que aumentam a área de superfície para absorção. Essa diminuição das vilosidades reflete uma adaptação para economizar energia, mas após a realimentação, as vilosidades tendem a se regenerar, permitindo uma maior absorção de nutrientes (Buddington et al., 1997). A produção de enzimas digestivas, como proteases, lipases e amilases, também diminui durante o jejum, já que o intestino processa alimentos com menor frequência. Essa redução na produção das enzimas é uma estratégia de economia de energia (Jobling, 2012). Quando a alimentação é restaurada, a produção dessas enzimas aumenta, facilitando a digestão e

absorção de nutrientes.

A privação alimentar não afeta apenas a morfologia e fisiologia dos peixes, mas também pode induzir adaptações genéticas e epigenéticas. A expressão de genes relacionados ao metabolismo de lipídios, proteínas e carboidratos pode ser modificada, otimizando o uso dos recursos durante a escassez alimentar. Alguns estudos sugerem que a modulação de genes envolvidos na resposta ao estresse e no metabolismo energético pode ter efeitos duradouros na sobrevivência dos peixes durante a privação alimentar (Wang et al., 2020).

A microbiota intestinal também é alterada pela escassez de alimentos, com uma possível redução na diversidade bacteriana, o que pode afetar negativamente a eficiência digestiva. No entanto, a realimentação pode restaurar parcialmente a flora intestinal, melhorando a digestão e absorção de nutrientes (Buddington et al., 1997).

A privação alimentar pode influenciar o sistema imunológico, com a diminuição na atividade das células imunes, tornando os peixes mais suscetíveis a infecções. No entanto, em algumas espécies, o jejum pode estimular o sistema imunológico, com aumento na produção de moléculas antimicrobianas para compensar a redução de nutrientes (Zhang et al., 2017). Além disso, a escassez de alimentos pode desencadear respostas comportamentais nos peixes, como maior agressividade na busca por alimentos ou aumento da busca por fontes alternativas de nutrientes, como invertebrados no ambiente natural. O estresse causado pela falta de comida pode elevar os níveis de cortisol, afetando o metabolismo e a adaptação do peixe à privação (Graham et al., 2007).

Em sistemas de aquicultura, a privação alimentar pode prejudicar o crescimento, a eficiência alimentar e o desempenho reprodutivo dos peixes, o que tem implicações econômicas significativas. A eficiência no uso de ração e os efeitos sobre a conversão alimentar são fundamentais para a gestão desses sistemas (Luo et al., 2019). Portanto, estratégias de manejo, como dietas enriquecidas com nutrientes essenciais e períodos de jejum controlados seguidos de realimentação gradual, podem ajudar a minimizar os efeitos negativos da restrição alimentar e otimizar o desempenho dos peixes.

Após o período de restrição, os peixes podem passar por um processo de "crescimento compensatório", no qual a massa muscular perdida é recuperada rapidamente. Esse processo de recuperação, embora eficiente, varia de acordo com a espécie e as condições de manejo. A regeneração dos músculos e órgãos, como o fígado e o intestino, pode ocorrer a uma taxa acelerada, favorecendo a recuperação das funções fisiológicas e o aumento do crescimento (Wang et al., 2020).

Em resumo, a restrição alimentar induz uma série de transformações anatômicas e fisiológicas nos peixes, com adaptações que favorecem a sobrevivência em condições adversas. Embora essas mudanças sejam essenciais para a sobrevivência, elas podem prejudicar o desempenho zootécnico, como o crescimento e a eficiência alimentar, representando desafios para os sistemas de aquicultura.

2.3.3 Alterações nos parâmetros sanguíneos e bioquímicos de peixes

A restrição alimentar em peixes desencadeia uma série de mudanças nos parâmetros sanguíneos e bioquímicos, fornecendo informações valiosas sobre as adaptações fisiológicas dos organismos a esse tipo de manejo. Essas alterações refletem as estratégias adaptativas dos peixes para lidar com a escassez de nutrientes, e o monitoramento desses parâmetros é essencial para avaliar os impactos da privação alimentar (Li et al., 2018).

Um dos primeiros parâmetros a ser afetado pela restrição alimentar é o hematócrito (Ht), que indica o volume de células sanguíneas em relação ao volume total de sangue (Tavares-Dias et al., 2003). Com a diminuição da ingestão de nutrientes, a produção de glóbulos vermelhos é reduzida, levando a uma queda no hematócrito (Ranzani Paiva et al., 2013). Consequentemente, a concentração de hemoglobina (Hb), essencial para o transporte de oxigênio, também diminui, já que a produção de novas células sanguíneas é restringida durante o jejum (Jobling, 2012). Isso pode resultar em uma redução na contagem de eritrócitos (Er), diminuindo a capacidade de transporte de oxigênio e comprometendo a saúde geral do peixe (François et al., 2023). Tais alterações hematológicas refletem a adaptação ao estresse nutricional, com a limitação de substâncias essenciais, como ferro e proteínas, necessárias para a hematopoiese. Se a restrição alimentar for prolongada ou mal gerida, esses desequilíbrios podem afetar a oxigenação dos tecidos e a resistência imunológica dos peixes.

Além dos parâmetros hematológicos, a restrição alimentar também impacta vários parâmetros bioquímicos no sangue dos peixes. A concentração de glicose, por exemplo, é um dos primeiros indicadores da adaptação metabólica, apresentando uma redução substancial nos primeiros dias de jejum, uma vez que a ingestão de carboidratos é drasticamente reduzida (Favero et al., 2021). Para suprir a demanda energética, os peixes começam a mobilizar glicogênio hepático, seguido pela oxidação de lipídios e, em casos mais prolongados, pela utilização de proteínas (Walsh & Hussain, 2017). A hipoglicemia

pode, então, indicar que os peixes estão utilizando fontes alternativas de energia, evidenciando as estratégias adaptativas do organismo.

No que diz respeito aos lipídios, a restrição alimentar pode induzir alterações nos níveis de colesterol e triglicerídeos, os quais são mobilizados a partir dos depósitos corporais para fornecer energia. Em um estudo de Nebo et al. (2018), foi observado que a diminuição no consumo de ração resultou em uma redução nos níveis de triglicerídeos circulantes, visto que esses lipídios são a principal fonte de energia durante a escassez de alimentos. O colesterol também pode apresentar variações dependendo da duração e intensidade da restrição alimentar, sendo utilizado nas vias metabólicas para a produção de energia.

Outro parâmetro relevante é a produção de lactato, que pode indicar estresse metabólico. Durante períodos prolongados de privação alimentar, os peixes podem recorrer à glicólise anaeróbica para suprir a demanda energética, o que pode resultar em um aumento nos níveis de lactato, sugerindo uma sobrecarga metabólica (Nebo et al., 2018). Esse fenômeno é mais evidente em peixes que não conseguem mobilizar eficientemente suas reservas de lipídios e glicogênio, o que compromete a eficiência energética do organismo.

A função renal e hepática também pode ser afetada pela privação alimentar. O aumento nos níveis de creatinina e ácido úrico no sangue pode indicar sobrecarga nos processos de excreção de produtos do metabolismo proteico e lipídico. Essas alterações decorrem da degradação muscular e da mobilização de proteínas e lipídios durante a restrição alimentar (Jobling, 2012). As enzimas hepáticas, como a aspartato aminotransferase (AST) e alanina aminotransferase (ALT), podem apresentar elevações, indicando que o fígado está sendo mais exigido para metabolizar os lipídios e proteínas mobilizados durante a escassez de alimentos.

Em resumo, a restrição alimentar em peixes provoca uma série de mudanças nos parâmetros sanguíneos e bioquímicos, que refletem as adaptações fisiológicas do organismo à falta de nutrientes. Embora essas alterações permitam que os peixes sobrevivam em condições adversas, elas podem comprometer a saúde e o desempenho zootécnico. A compreensão das respostas fisiológicas ao jejum, a duração da privação alimentar, a interação com estressores ambientais e os efeitos da realimentação são essenciais para a formulação de estratégias de manejo que minimizem os impactos negativos e otimizem a produção em sistemas de aquicultura.

2.3.4 Alterações no metabolismo e mobilização energética

Durante a restrição alimentar, os peixes mobilizam suas reservas energéticas para manter funções vitais, utilizando principalmente lipídios, carboidratos e proteínas como fontes de energia. O metabolismo lipídico desempenha um papel central nesse processo, com a mobilização de lipídios armazenados no fígado e no tecido adiposo para suprir as necessidades energéticas do organismo (Nebo et al., 2018).

Devido à sua natureza hidrofóbica, os lipídios necessitam de lipoproteínas para transporte, facilitando a distribuição de colesterol e triglicerídeos entre órgãos como fígado, intestino e tecidos periféricos. Dentre essas lipoproteínas, destacam-se os quilomícrons, VLDL, LDL e HDL, cada uma com funções específicas no metabolismo energético (Walsh & Hussain, 2017). Durante o jejum, o glicogênio hepático é rapidamente mobilizado para fornecer glicose como fonte primária de energia. Paralelamente, as reservas de lipídios são oxidadas para a produção de ATP, garantindo o suprimento energético essencial para a manutenção das funções vitais. No entanto, quando a restrição alimentar se prolonga, o organismo recorre à degradação de proteínas musculares, o que pode afetar negativamente o crescimento e a recuperação dos peixes após o período de privação (François et al., 2023).

O equilíbrio entre a síntese e a degradação dos lipídios, regulado por hormônios como insulina e glucagon, é ajustado de forma a otimizar a eficiência energética e minimizar as perdas corporais excessivas (Li et al., 2019). Essas adaptações metabólicas são cruciais para a sobrevivência dos peixes em condições de escassez alimentar, permitindo que eles continuem funcionando de maneira eficiente, apesar da limitada disponibilidade de nutrientes.

Essas mesmas adaptações têm relevância prática para a aquicultura, onde a restrição alimentar controlada pode ser aplicada como uma estratégia para melhorar a eficiência produtiva e reduzir custos. No entanto, é essencial monitorar os efeitos a longo prazo dessa prática para evitar impactos negativos na saúde e no desempenho dos peixes. A implementação de períodos de jejum controlados deve ser cuidadosamente planejada, levando em consideração o estado fisiológico dos peixes e as condições ambientais para assegurar que as práticas adotadas promovam o bem-estar dos animais e a produtividade de maneira sustentável.

2.3.5 Mudanças na composição centesimal e perfil de ácidos graxos

A composição centesimal da carcaça de peixes, que abrange água, proteínas, lipídios e cinzas, sofre alterações significativas durante a restrição alimentar. Em situações de escassez nutricional, os peixes recorrem a suas reservas corporais, especialmente lipídios e proteínas, para suprir suas necessidades energéticas. Esse processo geralmente resulta em um aumento na proporção de proteínas, mas com uma redução no conteúdo de lipídios, refletindo o uso dessas reservas para manter o metabolismo básico (Rios et al., 2009).

Embora a quantidade de água na carcaça dos peixes seja, em sua maioria, estável, ela pode ser influenciada por fatores como o aumento da proteína muscular, que tende a atrair mais água devido à sua estrutura hidrofílica. Em algumas espécies, a quantidade de água pode inicialmente aumentar, mas diminui com o tempo à medida que as reservas de glicogênio e gordura são consumidas (Lu et al., 2014).

Nos estágios iniciais da restrição alimentar, a proteína corporal geralmente é preservada, com os lipídios sendo a principal fonte de energia. Contudo, em períodos prolongados de jejum ou restrição severa, a proteína muscular pode ser degradada para fornecer aminoácidos, resultando em uma diminuição da massa muscular e da qualidade proteica (Souza et al., 2003).

A mobilização dos lipídios armazenados é uma das primeiras respostas à privação alimentar. Os lipídios fornecem uma grande quantidade de energia, e sua oxidação leva à diminuição de sua proporção na carcaça. Espécies de peixes com maior quantidade de gordura corporal podem sofrer uma redução mais acentuada na composição lipídica durante longos períodos de restrição alimentar (Xu et al., 2022).

As cinzas, representando os minerais na carcaça, são geralmente pouco afetadas pela restrição alimentar, uma vez que a mobilização de minerais ocorre de maneira controlada, preservando o equilíbrio mineral do organismo (Lu et al., 2014).

Além das alterações na composição centesimal, a restrição alimentar também pode impactar a qualidade do músculo, afetando suas características sensoriais, como textura, sabor e propriedades nutricionais, especialmente a concentração de ácidos graxos essenciais. A diminuição dos lipídios, particularmente dos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (PUFAs), como o ácido eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosa-hexaenoico (DHA), pode prejudicar a qualidade nutricional da carne, reduzindo seu valor como fonte de ômega-3 (Xu et al., 2022).

Os ácidos graxos são componentes essenciais dos lipídios (óleos e gorduras) e, juntamente com as proteínas, formam os principais constituintes orgânicos dos tecidos

dos peixes (Tocher, 2003). Ao contrário das proteínas, cujo metabolismo é fortemente controlado por fatores genéticos, o metabolismo dos lipídios é amplamente influenciado pela dieta (Sargent et al., 2002).

Esses ácidos graxos são uma fonte crucial de energia para os peixes, sendo metabolizados via β -oxidação nas mitocôndrias e peroxissomos para a produção de ATP, essencial para funções como crescimento, reprodução e locomoção (Henderson et al., 1996; Berg et al., 2002). Entre os principais ácidos graxos usados na produção de energia estão os ácidos 16:0, 18:1 n-9, 20:1 n-9, 22:1 n-11, EPA e DHA (Sargent et al., 2002).

Peixes de água doce possuem enzimas dessaturases e elongases capazes de sintetizar ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFA), como o ácido araquidônico (AA), EPA e DHA, a partir de precursores como o ácido linoleico (LA) e o ácido α -linolênico (LNA) (Sargent et al., 2002). Já as espécies marinhas têm capacidade limitada para sintetizar esses ácidos graxos, o que torna a inclusão direta desses compostos na dieta essencial. Durante períodos de privação alimentar, os peixes recorrem às reservas de lipídios como sua fonte primária de energia (Quadro 1).

	Utilização de lipídeos pelos peixes em jejum
Fase I	Mobilização inicial de glicogênio e lipídios, acompanhada por alterações hormonais e fisiológicas.
Fase II	Redução da mobilização de proteínas, com predominância do uso de lipídios como fonte energética.
Fase III	Depleção das reservas lipídicas, levando ao catabolismo de proteínas.

Quadro 1. Diferentes fases da utilização de lipídeos por peixes em períodos de jejum. Fonte: Adaptado de Bar e Volkoff (2012).

Durante períodos de alta demanda energética, como o jejum ou a restrição alimentar, os triglicerídeos armazenados no tecido adiposo são catabolizados e transportados para os tecidos-alvo, onde são utilizados para gerar energia (Stubhaug et al., 2007; Nelson & Cox, 2019).

A composição lipídica dos peixes é fundamental na aquicultura, especialmente devido aos LC-PUFAs, como EPA e DHA, que são benéficos para a saúde humana. O cultivo de peixes marinhos, ricos em ômega-3, apresenta custos elevados devido à necessidade de rações enriquecidas com lipídios de alta qualidade (FAO, 2020).

Reduzir os custos nutricionais e adaptar as dietas às necessidades específicas das espécies são estratégias essenciais para garantir a viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental da aquicultura (Bicudo et al., 2010; Rombenso et al., 2016). Além disso, práticas nutricionais que considerem períodos de restrição alimentar controlada podem contribuir para um manejo mais eficiente e sustentável na produção de pescado.

2.4 Considerações ambientais/sustentabilidade e conservação de recursos

A sustentabilidade é um princípio fundamental na piscicultura moderna, que busca garantir a produção de alimentos aquáticos sem comprometer os recursos naturais, a biodiversidade e os ecossistemas aquáticos a longo prazo. As práticas sustentáveis visam a utilização racional dos recursos naturais, o controle da poluição e o respeito ao equilíbrio ecológico, enquanto atendem à crescente demanda por produtos pesqueiros (FAO, 2020).

Na piscicultura, a gestão sustentável envolve vários aspectos, como o controle da qualidade da água, a alimentação eficiente e o uso responsável de medicamentos e insumos. A conservação da água é uma das questões mais críticas, já que os sistemas de aquicultura dependem de grandes volumes de água, que podem ser facilmente degradados sem um manejo adequado. Estratégias como o tratamento e reúso da água são essenciais para reduzir o impacto ambiental da atividade (Bicudo et al., 2010).

A preservação da biodiversidade também é vital para a sustentabilidade da aquicultura. O uso de espécies nativas e a proteção dos ecossistemas aquáticos ajudam a manter a diversidade biológica, evitando a introdução de espécies invasoras e protegendo as populações de peixes selvagens. Além disso, a gestão eficiente dos resíduos é crucial. Técnicas como compostagem dos dejetos, biofiltração e aquaponia, que integra a produção de peixes ao cultivo de plantas, podem otimizar o uso de recursos e promover uma economia circular (Rombenso et al., 2016).

A implementação de certificações ambientais, como as oferecidas pelo Aquaculture Stewardship Council (ASC), incentiva práticas responsáveis e cria um mercado para produtos pesqueiros que respeitam os princípios da sustentabilidade (Zhang et al., 2024). A redução da pegada de carbono é igualmente importante, especialmente no que diz respeito ao transporte de produtos e ao consumo de energia nos sistemas produtivos.

2.4.1 Sistemas produtivos na piscicultura aliados à sustentabilidade

A integração entre sustentabilidade e rentabilidade nos sistemas produtivos de piscicultura representa um desafio constante, mas essencial para garantir a viabilidade e competitividade a longo prazo do setor. Diante da crescente pressão para tornar a piscicultura mais sustentável, a adoção de tecnologias inovadoras e práticas de gestão eficientes emerge como um diferencial estratégico fundamental (FAO, 2023).

Os sistemas de recirculação de água (RAS) são uma das soluções mais promissoras, permitindo a reutilização da água em ciclos fechados. Isso não só reduz a dependência de fontes externas, mas também minimiza a contaminação ambiental. Esses sistemas oferecem maior controle sobre as condições de cultivo, promovendo um ambiente mais saudável para os peixes e aumentando a eficiência produtiva. A implementação do RAS também pode resultar em uma piscicultura mais econômica, ao reduzir custos com tratamento de água e consumo de energia a longo prazo (Gupta et al., 2024).

Outro modelo produtivo sustentável é o sistema de tanque-rede, que pode ser aplicado tanto em ambientes marinhos quanto de água doce. Esse sistema permite uma produção eficiente de peixes com menor impacto sobre os ecossistemas aquáticos. O uso de tanque-rede facilita o cultivo em áreas abertas, aliviando a pressão sobre ecossistemas naturais e reduzindo a necessidade de grandes volumes de água (Queiroz & Rotta, 2016). Embora exija manejo adequado para controlar os efluentes e garantir o bem-estar dos peixes, esse modelo é de baixo custo, altamente eficiente e uma alternativa viável para aumentar a produção sem comprometer a sustentabilidade ambiental (Li et al., 2019).

O manejo de efluentes também desempenha um papel crucial. A adoção de tecnologias para o tratamento e reuso dos efluentes não apenas reduz os impactos ambientais, mas também gera benefícios econômicos ao reaproveitar nutrientes e produzir subprodutos valiosos, como fertilizantes ou biogás. A integração da piscicultura com a agricultura, por meio de sistemas como a aquaponia, é outro exemplo de abordagem sustentável que cria um sistema eficiente e de baixo impacto (Rombenso et al., 2016).

Economicamente, práticas sustentáveis podem trazer benefícios substanciais a longo prazo, como o acesso a mercados que priorizam a produção responsável, a melhoria da imagem corporativa e a redução de custos operacionais, especialmente em relação ao uso de recursos naturais, energia e gestão de resíduos. Além disso, a sustentabilidade pode

aumentar a resiliência do setor frente a crises ambientais e mudanças climáticas, fatores que afetam diretamente a produção aquática (FAO, 2023).

Portanto, a adoção de práticas sustentáveis na piscicultura não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma estratégia econômica inteligente. Investir em inovações tecnológicas e na gestão eficiente dos recursos permite atender à crescente demanda por produtos pesqueiros, minimizando ao mesmo tempo os impactos ambientais e garantindo melhores resultados econômicos para os produtores (Zhang et al., 2024).

A restrição alimentar, quando aplicada de maneira planejada, pode estimular o ganho compensatório nos peixes, otimizando a eficiência alimentar e reduzindo o desperdício de ração, um dos maiores custos na produção aquícola. Quando associada a sistemas intensivos como os mencionados e ao manejo eficiente de efluentes, essa prática diminui a geração de resíduos orgânicos e promove o reaproveitamento de nutrientes, contribuindo para um ciclo produtivo mais sustentável (Turchini et al., 2009). Além disso, a combinação dessas abordagens reduz a pressão sobre recursos naturais, como água e matéria-prima para rações, ao mesmo tempo em que melhora o desempenho econômico do sistema. Essa sinergia entre restrição alimentar e tecnologias sustentáveis reforça a importância de uma piscicultura inovadora e responsável, capaz de atender à crescente demanda global por produtos pesqueiros com menor impacto ambiental.

2.5 Avaliação econômica da restrição alimentar na piscicultura

Com o crescimento contínuo da população mundial, nunca houve uma necessidade tão urgente de produzir alimentos em grande escala e de maneira sustentável como atualmente. Nesse contexto, a piscicultura se destaca como uma alternativa viável para a produção de alimentos nutritivos, com baixo teor de gordura e calorias, e elevados índices de proteínas, vitaminas e minerais (Silva et al., 2020). No entanto, o sucesso de qualquer empreendimento depende de uma gestão técnica e econômica eficiente. A realização de um estudo de viabilidade técnica e econômica é essencial para antecipar desafios, otimizar a implementação e assegurar a estabilização do negócio, sem grandes complicações (Flor, 2022).

A análise econômica deve ser realizada antes do início de qualquer atividade, pois aborda aspectos cruciais para garantir a sustentabilidade econômica da piscicultura. Esse estudo identifica as condições necessárias para que a atividade seja financeiramente viável e mitiga fatores que possam comprometer seu sucesso a longo prazo (Santos et al.,

2010; Loureiro et al., 2021). Nesse sentido, avaliar os custos de produção e os indicadores de viabilidade econômica na aquicultura é fundamental para a gestão eficiente, fornecendo parâmetros que ajudam a identificar e controlar os pontos críticos do processo (Rossato et al., 2022). A coleta desses dados permite que os produtores comparem as vantagens e desvantagens de diferentes sistemas produtivos, orientando a escolha do sistema mais adequado às suas condições específicas. Isso permite não só a busca pelo melhor custo-benefício, mas também a satisfação da demanda do mercado com peixes saudáveis, de boa aparência e excelente qualidade (Campos et al., 2018).

Os principais parâmetros para a determinação dos custos de produção são o Custo Total e o Custo Operacional Total (COT). O Custo Total é dividido em custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos referem-se aos recursos necessários que têm uma duração superior ao ciclo de produção e não variam com o volume de produção, enquanto os custos variáveis estão diretamente relacionados aos recursos consumidos durante o processo produtivo, ajustando-se conforme a quantidade produzida (Bizinato et al., 2022).

Por outro lado, a estrutura do Custo Operacional, desenvolvida pelo Instituto de Economia de São Paulo (Matsunaga et al., 1976), considera apenas os desembolsos monetários efetivos necessários para a produção, como a depreciação de bens duráveis e um valor estimado para a mão de obra familiar, sem incluir os custos de oportunidade dos fatores de produção. Para muitos autores, essa estrutura é mais objetiva, simples e adequada para comparar custos de produtos similares produzidos com diferentes tecnologias ou em diversas regiões.

O Custo Operacional Total (COT) é calculado pela soma do Custo Operacional Efetivo (COE) e de itens como depreciação e mão de obra familiar, que, embora não representem desembolsos diretos, fazem parte do processo de produção. Vários estudos de avaliação econômica têm sido conduzidos no Brasil, mas as pesquisas que abordam a produção intensiva de espécies nativas ainda são escassas (Brabo et al., 2013; Sabaini et al., 2015; Menezes, 2016).

Neste cenário, a integração de sistemas produtivos sustentáveis, como o RAS (Sistemas de Recirculação de Água) e tanques-rede, com práticas de manejo alimentar como a restrição alimentar planejada, surge como uma solução promissora. Essas abordagens não apenas otimizam o uso de recursos, mas também favorecem a eficiência produtiva e a redução dos custos operacionais, contribuindo para a viabilidade econômica da atividade. Avaliar a lucratividade dos produtores ao adotar estratégias de manejo

alimentar é essencial para o desenvolvimento de protocolos eficientes para a produção de peixes de alta qualidade.

2.6 Espécie alvo da pesquisa, *Piaractus mesopotamicus*

Entre as espécies tropicais cultivadas, o pacu (*Piaractus mesopotamicus*; Holmberg, 1887; Figura 2) da ordem Characiformes, família Characidae e subfamília Myleinae (Gimênes Junior & Rech, 2022), destaca-se como uma espécie nativa de grande importância comercial. É conhecido por sua fácil adaptação ao manejo e à criação em cativeiro, sendo considerado uma espécie rústica (Gregorin et al., 2019). Sua produção tem crescido de maneira constante, ocupando o sexto lugar no ranking de peixes mais exportados do Brasil (Peixe BR, 2024).



Figura 2. Pacu *Piaractus mesopotamicus*. Fonte: Arquivo pessoal.

Além de seu potencial comercial, o pacu é uma das espécies mais estudadas da região neotropical, especialmente em áreas próximas ao Pantanal, nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde ocorre a maior parte de sua distribuição. Os peixes que habitam essas regiões possuem uma notável tolerância a temperaturas mais baixas, mas para atingir seu maior potencial de crescimento, recomenda-se que a temperatura da água se situe entre 28-30°C (Baldisserotto & Gomes, 2006).

A alimentação do pacu é influenciada pela sazonalidade ambiental e pela disponibilidade de alimentos. Por essa razão, seu comportamento ingestivo não é contínuo, caracterizando-se por períodos de alta ingestão de carboidratos. Isso favorece a adaptação do sistema fisiológico e metabólico do pacu a armazenar e aproveitar as reservas energéticas (Valladão et al., 2018).

Nos últimos anos, houve avanços significativos no entendimento das exigências nutricionais, da utilização de nutrientes e dos aspectos do metabolismo nutricional do pacu. Apesar de sua importância comercial, ainda existem lacunas no conhecimento nutricional dessa espécie, especialmente em comparação com outras espécies mais estudadas, como a tilápia-do-Nilo, o bagre-do-canal e a truta-arco-íris.

No entanto, alguns pontos fundamentais ainda precisam ser abordados nos estudos de nutrição e alimentação do pacu, como:

- i. Determinação dos valores nutricionais dos alimentos tradicionais utilizados;
- ii. Definição das exigências de proteína, energia, aminoácidos, ácidos graxos, minerais e vitaminas em diferentes fases de produção;
- iii. Compreensão da interação entre os nutrientes dietéticos e o metabolismo;
- iv. Estabelecimento de estratégias alimentares e nutricionais adequadas para diferentes sistemas de produção.

Essas informações são essenciais para suprir as demandas tecnológicas necessárias à produção sustentável da espécie, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Estudos recentes sobre restrição alimentar e realimentação em pacus (*P. mesopotamicus*) têm se concentrado em entender como diferentes regimes alimentares impactam o crescimento, a saúde e a eficiência na produção aquícola. Nessa perspectiva, a estratégia de restrição alimentar seguida de realimentação surge como uma prática promissora de manejo alimentar, que pode reduzir os custos com ração, sem comprometer o desempenho zootécnico e a saúde dos animais.

Entretanto, importantes lacunas ainda precisam ser preenchidas, como a comprovação de que a restrição alimentar não afeta negativamente a senciência dos peixes. O Quadro 2 apresenta estudos recentes com estratégias de restrição alimentar aplicadas ao pacu (*P. mesopotamicus*) e seus respectivos resultados.

De maneira geral, os estudos sobre restrição alimentar e realimentação em pacus têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis na aquicultura. Essas pesquisas buscam otimizar o crescimento, promover a saúde e assegurar o bem-estar dos peixes em cativeiro, contribuindo para a melhoria dos processos produtivos e para a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade aquícola.

Título	Tratamento	Resultados	Referência
Parâmetros produtivos, fisiológicos e imunológicos de juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) submetidos à restrição alimentar e estresse de Manejo	4 estratégias de alimentação (controle; duas semanas; três semanas e quatro semanas de restrição alimentar) e realimentação por duas semanas seguidas.	A restrição alimentar seguida de realimentação resultou crescimento compensatório total em juvenis de pacu, e revelou ser um manejo eficaz, que não prejudica o estado de higidez dos animais.	Saita (2010)
A fasting period during grow-out make juvenile pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) leaner but does not impair growth	1: peixes alimentados até a saciedade por 30 dias; 2: 30 dias de jejum e 30 dias de realimentação.	Animais saudáveis para o mercado (menos gordura e redução do custo de ração.	Favero <i>et al.</i> (2020)
Efeitos da restrição alimentar e realimentação em pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) em duas fases de cultivo em tanques-rede	1: 15 dias de jejum; 2: peixes alimentados continuamente.	Crescimento compensatório; boas respostas quanto ao desempenho zootécnico, homeostase metabólica, histomorfometria hepática.	Davalo (2021)
Efeitos da restrição alimentar e realimentação no crescimento, metabolismo, imunidade e no sistema antioxidante/estresse oxidativo de <i>Piaractus mesopotamicus</i>	1: ciclos de 3 dias de restrição e dois dias de realimentação por 30 dias; 2: 21 dias de restrição seguidos de 9 dias de realimentação	Modulou as reservas energéticas durante os 21 dias de restrição alimentar, e 9 dias de realimentação promoveu o crescimento compensatório e a recuperação das reservas energéticas. O sistema imune não foi afetado pela restrição alimentar.	Sorrente (2023)
Efeitos da restrição alimentar e realimentação sobre parâmetros biométricos, bioquímicos e morfológicos em pacus (<i>Piaractus mesopotamicus</i>)	1: restrição de 10, 20 e 30 dias e realimentação de 15 e 50 dias; 2: peixes alimentados continuamente	Após 50 dias de realimentação, os espécimes apresentaram compensação total.	Farias et al. (2024)

Quadro 2. Estudos de restrição alimentar e realimentação em *P. mesopotamicus*. Fonte: A autora.

3. Objetivos:

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos de estratégias alimentares de ciclos quinzenais de restrição

alimentar e realimentação na fase inicial e de terminação, em dois sistemas de cultivo: sistema de recirculação de água (RAS) e tanques-rede, além de analisar a viabilidade econômica da estratégia de restrição alimentar em diferentes sistemas produtivos.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho zootécnico de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) em sistemas de recirculação de água (RAS) e em tanques-rede, submetidos a ciclos de restrição alimentar e realimentação;
- Determinar a composição corporal e de filés de pacus (*P. mesopotamicus*) submetidos a ciclos de restrição alimentar, em RAS e em tanques-rede;
- Investigar os aspectos nutricionais e a atividade das enzimas digestivas em pacus (*P. mesopotamicus*) sob regime de restrição alimentar em RAS e em tanques-rede;
- Analisar os efeitos da restrição alimentar e realimentação nos parâmetros hematológicos e nos mecanismos energéticos de pacus (*P. mesopotamicus*), na fase juvenil e terminação, sob dois sistemas de cultivo: RAS e em tanques-rede;
- Avaliar a histometria hepática e intestinal de pacus submetidos a restrição alimentar em RAS;
- Avaliar o perfil lipídico da carcaça e dos filés de pacus (*P. mesopotamicus*) submetidos a ciclos de restrição alimentar, no cultivo em RAS e em tanques-rede;
- Analisar a viabilidade econômica da estratégia de restrição alimentar (15 dias de restrição alimentar seguidos de 15 dias de realimentação) no cultivo de pacus (*P. mesopotamicus*) em sistemas de recirculação de água (RAS) e em tanques-rede, com foco nos custos operacionais e retorno econômico.

Referências bibliográficas

- Acunha, R. M. G. (2021). Restrição alimentar e viabilidade econômica do híbrido (*Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*) em sistema de tanques-rede. 2021. 97 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS. 2021.
- Albro, P. W., Hall, R. D., Corbett, J. T. Activation of nonspecific lipase (EC 3.1.1.) by bile salts. *Biochemica et Biophysica Acta*, v. 835, n. 3, p. 477-490. 1985.
- Ali, T. E. S., et al. Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *Egyptian*

Journal of Aquatic Research, v. 42, p. 357-363. 2016.

Ali, M., Wootton, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and fisheries*, v. 4, n. 2, p. 147-190. 2003.

Ali, M., Wootton, R.J., 2001. Capacity for growth compensation in juvenile three-spined stickleback experiencing cycles of food deprivation. *J. Fish Biol.* 58, 1531–1544.

DA, A. Effects of Compensatory Growth on Fish Behavior. Universidad de Oviedo, Oviedo, Spain. 2011.

Assis, Y.P.A.S., Porto, L.A., Melo, N.F.A.C., Palheta, G.D.A., Luz, R.K., Favero, G. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS), *Aquaculture*, v. 529, n. 735689, p. 0044-8486. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689>.

Baldisseroto, B., Gomes, L. C. espécies Nativas para a Piscicultura no Brasil. *Neotrop. ichthyol.* 4 (3), 2006 . <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000300010>

Bar, N., Volkoff, H. Adaptation of the physiological, endocrine, and digestive system functions to prolonged food deprivation in fish. In *Comparative physiology of fasting, starvation, and food limitation* (pp. 69-89). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2012.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Stryer, L. Protein structure and function. *Biochemistry*, v. 262, p. 159-173. 2002.

Bernfeld, P. Amylase a and b: colorimetric assay method. In: Colowich SP, Kaplan NO (eds) *Methods in enzymology. Academic, New York*, p 149-157. 1955.

Bicudo, A. J. de A., Sado, R. Y., Cyrino, J. E. P. Efeito de restrição alimentar e realimentação no desempenho produtivo e composição corporal de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2010.

Bizinoto, G. B. G., de Souza, C. B., Junior, C. P. N. Avaliação de indicadores zootécnicos e econômicos de propriedades leiteiras no estado de Goiás. *Revista Agrária Acadêmica*, v. 5, n. 1. 2022.

Boscolo, W. R., Signor, A., Feiden, A. et al. Nutrição e alimentação de peixes na aquicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 145-154. 2011 (supl. especial).

Brabo, M. F., Flexa, C. E., Veras, G. C., Paiva, R. S., Fujimoto, R. Y. Viabilidade econômica da piscicultura em tanques-rede no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 56-64. 2013.

Buddington, R. K., Krogh, A., Bakke-McKellep, A. M. The intestines of carnivorous fish: Structure and functions and the relations with diet. *Acta Physiologica Scandinavica*,

v. 161, n. 1, p. 67-80. 1997.

Campos, C.M., Ganeco, L.N., Castellani, D., Martins, M.I.E. Avaliação econômica da criação de tilápias em tanque-rede, município de Zacarias, SP. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 33, n. 2, p. 265-271. 2018.

Cotrim, T. S., Fornari, D. C., Araujo, C. V., Magalhães, C. U. B., Aguiar, D. H. The compensatory growth of skeletal muscle cells in Amazonian catfish (*Pseudoplatystoma reticulatum* female x *Leiarius marmoratus* male). *Scientific Eletronic Archives*, v. 9, n. 2, p. 53-66. 2016.

Dar, S.A., Srivastava, P.P., Varghese, T., Rasool, S.I., Anand, G., Gupta, S., Gireesh-Babu, P., Krishna, G. Regulation of compensatory growth by molecular mechanism in *Labeo rohita* juveniles under different feeding regimes. *Gen. Comp. Endocrinol*, v. 261, p. 89-96. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.01.029>.

da Rosa, W. S., Agostinho, S. C., Schwarz, K. K. Morfologia do sistema digestivo de peixes presentes durante o outono no mercado Municipal de Paranaguá–Pr. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 84121-84137. 2020.

Davalo, M. R. S. Efeitos da restrição alimentar e realimentação em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em duas fases de cultivo em tanques-rede. 2021. 97 f. *Dissertação (mestrado)* - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS. 2021.

De Silva, S. S., Anderson, T. A. *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman & Hall. 1995.

FAO. (2020). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2023). The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture>

Farias, K. N. N. Efeitos da restrição alimentar e realimentação sobre parâmetros biométricos, bioquímicos e morfológicos em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). 2023. 94 f. *Tese (doutorado)* - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. 2023. Disponível em: < <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/5763>>.

Favero, G. C., Takahashi, L. S., Fernandes, J. B. K. Lipid mobilization and muscle protein degradation in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during feed restriction. *Aquaculture Nutrition*, v. 24, n. 2, p. 163-172. 2018.

Favero, G. C., dos Santos, F. A. C., da Costa Júlio, G. S., Pedras, P. P. C., Ferreira, A. L., Silva, W. S., Ferreira, N. S., Neves, L. C., Luz, R. K. Effects of short feed restriction cycles in *Piaractus brachypomus* juveniles. *Aquaculture*, v. 536, p. 736465. 2021.

- Flor, G. B. Análise de viabilidade econômica de piscicultura em tanque suspenso em sistema RAS: estudo de caso no município de Monte Alegre RN. 2022. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Aquicultura) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- François, Y., Debier, C., Larondelle, Y. Impact of fasting on the metabolic pathways of fish. *Journal of Aquatic Metabolism*, v. 12, n. 1, p. 45-56. 2023.
- Gallardo-Collí, A. L., González-López, M. R., Ramírez, J. S. Manejo alimentar na piscicultura: estratégias e impactos no desempenho dos peixes. *Aquaculture Research*, v. 51, n. 4, p. 2332-2342. 2020.
- Gimênes Junior, H., Rech, R. (org.). Guia ilustrado dos peixes do Pantanal e entorno. Campo Grande, MS: Julien Design, 2022. 660 p
- Gregorin, E. G., Felizardo, V. O., Melo, C. C. V., Freitas, R. T. F., Souza, U. N., Costa, A. C. Parâmetros qualitativos do sêmen e morfologia comparada da cabeça e peça intermediária do espermatozoide de pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Boletim de Indústria Animal*, v. 76, p. 1-8. 2019.
- Gupta, S., Makridis, P., Henri, I. et al. Recent Developments in Recirculating Aquaculture Systems: A Review. *Aquaculture Research*. 2024. <https://doi.org/10.1155/are/6096671>
- Halver, J. E., Hardy, R. W. *Fish Nutrition*. Academic Press. 2002.
- Henderson, R. J. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. *Archives of Animal Nutrition*, v. 49, n. 1, p. 5-22. 1996
- Jobling, M. Fish bioenergetics and the impact of feed restriction. Wiley-Blackwell. 2012.
- Jobling, M. Handbook of Fish Biology and Fisheries, Volume 1: Fish Biology. Wiley-Blackwell. 2012.
- Liu, L.; Zhao, X.; Liu, Y.; Zhao, H.; Li, F. Dietary addition of garlic straw improved the intestinal barrier in rabbits. *Journal Animal Science*, v. 97, n. 10, n. 4248-4255. 2019.
- Li, H., Xu, W., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Han, D., Liu, H., Xie, S. Effects of starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture*, v. 496, p. 166-175. 2018.
- Li, H., Xu, W., Jin, J., Zhu, X., Yang, Y., Han, D., Liu, H., Xie, S. Effects of dietary carbohydrate and lipid concentrations on growth performance, feed utilization, glucose, and lipid metabolism in two strains of gibel carp. *Front. Vet. Sci*, v. 6, p. 165. 2019.
- Liu, K. L., Li, X. F., Wang, L. N., Zhang, C. N., Liu, W. B. Effects of Dietary Nutrient

- Composition on Compensatory Growth of Juvenile Blunt Snout Bream *Megalobrama amblycephala*, *North American Journal of Aquaculture*, v. 76, n. 1, p. 55-60. 2019. DOI: 10.1080/15222055.2013.847881
- Loureiro, J. P. B.; Santos, L. S.; Rocha, J. T. N.; Soares, L. C. C. Análise da viabilidade econômica da piscicultura em tanque escavado: estudo de caso no município de Tomé-Açu. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.4, p.590-597, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0045>
- Marqueze, A., et al. Adaptations of the Liver and Muscle in Fish During Food Deprivation. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 44, n. 5, p. 1101-1113. 2018
- Marqueze, J., Nebo, C., Urbano, F. Lipid catabolism during fasting in *Piaractus mesopotamicus*. *Brazilian Journal of Aquaculture Science*, v. 20, n. 4, p. 307-312. 2018.
- Matsunaga, M.; Bemelmans, P. F.; Toledo, P. E. N.; Duley, R. D.; Okawa, H.; Pedroso, I. A. Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA. *Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola*, v. 23, n. 1, p. 123-139. 1979.
- Menezes, J. V. T.; Araújo, R. H. S.; Oliveira, F. C.; Silva, L. A.; Menezes, J. S. P.; Campos, C. M. Avaliação da produção do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submetido à restrição alimentar e realimentação em tanques-rede. *Anais do ENIC*, 2017.
- Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., Vergara, J. M. High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 28, n. 2, p. 75-80. 2003.
- Morshedi, M., Sadeghi, A., Ebrahimi, M. Growth and metabolic response of *Scaphyrhynchus suttkusi* to different feeding regimes. *Journal of Fish Biology*, v. 91, n. 5, p. 1442-1453. 2017.
- Navarro, I., Gutiérrez, J. Fasting and starvation. In Hochachka, P. W., Mommsen, T. P. (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*. Elsevier. 1995.
- Nebo, C., Marqueze, J., Urbano, F. Adaptations to food deprivation in native Brazilian fish species. *Aquaculture Research*, v. 49, n. 1, p. 112-120. 2018.
- Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M., Portella, M.C. Depletion of stored nutrientes during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *J. App. Aquaculture*, 30, 157-173. 2018. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. Freeman. 2019.
- Nikki, J., Pirhonen, J., Jobling, M., Karjalainen, J. Compensatory growth in juvenile

- rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture*, v. 235, n. 1-4, p. 285-296. 2004.
- Oliveira, G., Gemaque, T. T., Melo, K. D. M. et al. Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p.28224-28244. 2020.
- Oliveira, J. M., Santos, F. A., Gomes, C. F. Efeitos de estratégias de restrição alimentar sobre o desempenho e custos na produção de peixes tropicais. *Aquaculture Research*, v. 52, n. 1, p. 78-89. 2021.
- Palma, E. H. D., Takahashi, L. S., Dias, L. T. S., Gimbo, R. Y., Kojima, J. T., Nicodemo, D. Estratégia alimentar com ciclos de restrição e realimentação no desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT. *Ciência Rural*, v. 40, p. 391-396. 2010.
- PEIXEBR. Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário PeixeBR da Piscicultura 2024. São Paulo (SP): Edição Texto Comunicação Corporativa; 2021. 138 p
- Pérez-Jiménez, A., et al. Nutrient Mobilization and Growth Responses of Fish to Food Restriction and Realimentation. *Aquaculture*, v. 264, n. 1-4, p. 89-98. 2007.
- Py, N., Tappin, D., Besson, J. Effect of feeding restriction on growth compensation in fish. *Fish Science*, v. 87, n. 2, p. 144-152. 2021.
- Queiroz, J. F.; Rotta, M. A. Boas práticas de manejo para piscicultura em tanques-rede. Circular técnica, Embrapa Meio Ambiente. 1ª edição eletrônica, 2016.
- Ranzani-Paiva, M. J. T., Tavares-dias, M., Egami, M.I. Métodos para análise hematológica em peixes. EDUEM ed. Maringá, 213 p. ISBN 978-85-7628-653-0. 2013. Available from Scielo Books <https://doi.org/10.7476/9788576286530>
- Rios, F. S. A., Donatti, L., Fernandes, M. N., Kalinin, A. L., Rantin, F. T. Effects of food deprivation in muscle structure and composition of traíra (*Hoplias malabaricus*): potential implications on flesh quality. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, p. 465-471. 2009.
- Rombenso, A. N., Trushenski, J. T., Schwarz, M. H. Fish oil replacement in feeds for juvenile Florida Pompano: Composition of alternative lipid influences degree of tissue fatty acid profile distortion. *Aquaculture*, v. 458, p. 177-186. 2016.
- Rossato, S., Cerezer, E., Bisognin, J., Souto, M. S., de Brum, P. F. Eficiência produtiva dos sistemas de cultivo de peixes com foco na produção de tilápias em tanques-rede Production efficiency of fish farming systems focused on tilapia production in cage tanks. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 5, p. 34851-34868. 2022.
- Sabaini, D. S., Casagrande, L. P., & Barros, A. F. Viabilidade econômica da criação do

- pintado da Amazônia (*Pseudoplatystoma* spp.) em tanques-rede no estado de Rondônia, Brasil. *Boletim Instituto de Pesca*, v. 4, n. 41, p. 825-835. 2015.
- Saita, M. V. Parâmetros produtivos, fisiológicos e imunológicos de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos à restrição alimentar e estresse de manejo. 2011. 49 f. *Dissertação (mestrado)* - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/86745>>.
- Santos, G., Rodrigues, L. A., Takahashi, L. S., Fernandes, J. B. K. Growth performance and compensatory gain of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* subjected to periods of feed deprivation. *Aquaculture Research*, v. 41, n. 1, p. 23–30. 2010.
- Sargent, J. R., Tocher, D. R., Bell, J. G. *The Lipid Nutrition of Fish*. Marine Science. 2002.
- Silva, M. G., Souza, R. C., Costa, J. M. et al. Exigências nutricionais de espécies tropicais de peixes: Uma revisão. *Revista Científica de Pesca*, v. 15, n. 4, p. 23-34. 2020.
- Sorrente, T. L. (2023). Efeitos da restrição alimentar e realimentação no crescimento, metabolismo, imunidade e no sistema antioxidante/estresse oxidativo de *Piaractus mesopotamicus*.
- Sousa, V. L.; Urbinati, E. C.; Martins, M. I. E. G.; Silva, P. C. Evaluation of the growth and feeding costs of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submitted to alternate cycles of feeding restriction and refeeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 1. 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000100003>
- Souza, V. L., Urbinati, E. C., Gonçalves, D. C., Silva, P. C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (*Osteichthyes*, *Characidae*) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 24, p. 533-540. 2003.
- Stubhaug, I., et al. Lipid storage and mobilization in fish. *Aquaculture Research*. 2007.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in the production of animal feeds. *Aquaculture Research*, v. 39, n. 6, p. 133-147. 2008.
- Tavares-Dias, M.; Schalch, S. H. C.; Moraes, F. R. Hematological characteristics of Brazilian Teleosts. VII Parameters of seven species collected in Guariba, São Paulo State, Brazil, *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 29, p. 109-115. 2003.
- Tocher, D. R. Metabolism and functions of lipids in fish. *Reviews in Fisheries Science*. 2003.
- Turchini, G. M., et al. Sustainable aquafeeds: Challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*. 2009.

- Urbinati, E. C., Sarmiento, S. J., Takahashi, L. S. Short-term cycles of feed deprivation and refeeding promote full compensatory growth in the Amazon fish matrinxã (*Brycon amazonicus*). *Aquaculture*, v. 433, p. 430-433. 2014.
- Valladão, G.M.R., Gallani, S.U., Pilarski, F. South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, v.10, p.351-369, 2018.
- Van Senten, J., Smith, M. A., Engle, C. R. Impacts of COVID-19 on US aquaculture, aquaponics, and allied businesses. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 574. 2020.
- Walsh, M., Hussain, M. M. Molecular insights into lipoprotein metabolism. *Trends in Molecular Medicine*, v. 23, n. 9, p. 798-814. 2017.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., Cai, F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. *Aquaculture*, v. 189, p. 101-108. 2000.
- Walter, H. E. Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates. In BERGMAYER, H. U. 5 ed. *Methods of enzymatic analysis*. Weinheim verlag chemie, p. 270-277. 1984.
- Xu, W., Geng, H., Wu, L., Jin, J., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., et al. Feeding restriction unalters physiological responses to dietary lipid and carbohydrate levels in juvenile gibel carp (*Carassius gibelio*). *Aquaculture Reports*, v. 25, p. 101273. 2022.
- Zhang, K., Ye, Z., Qi, M., Cai, W., Saraiva, J. L., Wen, Y., Zhao, J. Water Quality Impact on Fish Behavior: A Review From an Aquaculture Perspective. *Reviews in Aquaculture*. 2024.

CAPÍTULO 2

Ciclos quinzenais de jejum e realimentação no cultivo de pacu (*Piaractus mesopotamicus*): impactos no desempenho zootécnico, composição corporal, fisiologia e perfil lipídico

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico Aquaculture.

Ciclos quinzenais de jejum e realimentação no cultivo de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em RAS: impactos no desempenho zootécnico, composição corporal, fisiologia e perfil lipídico

Resumo

Com esse estudo, o objetivo foi avaliar desempenho zootécnico, índice hepatossomático, quociente intestinal, composição centesimal, atividade enzimática, índices bioquímicos, histometria hepática e intestinal e perfil de ácidos graxos de juvenis de *Piaractus mesopotamicus* submetidos a restrição alimentar e realimentação em um sistema de recirculação de água (RAS). O experimento teve duração de 60 dias. Foram utilizados 200 juvenis de *P. mesopotamicus* ($45,00 \pm 8,36$ g e $15,01 \pm 1,29$ cm), os peixes foram distribuídos aleatoriamente em duas estratégias alimentares: CR –peixes que passaram por dois ciclos de restrição alimentar de 15 dias seguido por 15 dias de realimentação; e o SR –alimentados continuamente (controle), com cinco repetições cada. Os parâmetros da qualidade de água (temperatura, oxigênio dissolvido, pH) foram mensurados diariamente e, semanalmente, foram mensurados amônia e nitrito. Os peixes foram alimentados com 3% da biomassa duas vezes ao dia. O desempenho zootécnico foi avaliado em dois ciclos quinzenais de restrição alimentar seguido de realimentação. As coletas para avaliação de parâmetros hematológicos, bioquímicos, histométricos, composição corporal e ácidos graxos foram realizadas a cada 15 dias. Ao final de 60 dias, foram avaliadas as enzimas digestivas de amilase e protease. Todos os dados foram avaliados quanto à normalidade e homoscedasticidade de variâncias, e seguida de teste Tukey. Os parâmetros de desempenho zootécnico, índices morfológicos e composição corporal de pacus submetidos a ciclos de restrição alimentar e realimentação apresentaram diferenças significativas em várias variáveis, sendo que os peixes SR mostraram maiores valores em peso e crescimento, o índice hepatossomático e o quociente intestinal apresentaram menores valores para os peixes CR e os teores de proteína bruta e matéria mineral foram maiores nos peixes CR, enquanto os teores de lipídeos, foram maiores nos peixes SR, com superioridade aos 15 dias com redução progressiva aos 60 dias. Os peixes do CR apresentaram menor atividade da amilase e similaridade em protease alcalina. Os parâmetros hematológicos e bioquímicos apresentaram redução aos 15 dias e aumento aos 60 dias, sem diferença estatística entre os tratamentos. A histometria não demonstrou alterações nos hepatócitos, porém no intestino, os maiores valores da largura da mucosa e da largura da vilosidade foram observados nos peixes CR. Houve maior frequência de valores superiores no CR, exceto em casos como ácido mirístico e ácido docosahexaenoico, onde SR foi superior. Apesar da restrição alimentar causar alterações no perfil de ácidos graxos, indicando mobilização eficiente de reservas energéticas, não foram observados danos irreversíveis nos tecidos hepático e intestinal, e a realimentação promoveu recuperação parcial, destacando a plasticidade e resiliência metabólica da espécie.

Palavras-chave: estratégia alimentar, sistemas produtivos, sustentabilidade.

Biweekly fasting and refeeding cycles in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) farming in RAS: impacts on zootechnical performance, body composition, and lipid profile.

Abstract

With this study, the objective was to evaluate the zootechnical performance, hepatosomatic index, intestinal quotient, centesimal composition, enzymatic activity, biochemical indices, hepatic and intestinal histometry, and fatty acid profile of juvenile *Piaractus mesopotamicus* subjected to feed restriction and refeeding in a recirculating aquaculture system (RAS). The experiment was lasted 60 days. A total of 200 juveniles of *P. mesopotamicus* (45.00 ± 8.36 g and 15.01 ± 1.29 cm) were randomly assigned to two feeding strategies: CR – fish that underwent two cycles of 15-day feed restriction followed by 15 days of refeeding; and SR – continuously fed fish (control), with five replicates each. Water quality parameters (temperature, dissolved oxygen, and pH) were measured daily, while ammonia and nitrite levels were assessed weekly. The fish were fed at 3% of their biomass twice a day. Zootechnical performance was evaluated in two 15-day cycles of feed restriction followed by refeeding. Sampling for the evaluation of hematological, biochemical, histometric, body composition, and fatty acid parameters was conducted every 15 days. At the end of 60 days, the digestive enzymes amylase and protease were analyzed. All data were assessed for normality and homoscedasticity of variances, followed by Tukey's test. The zootechnical performance parameters, morphological indices, and body composition of pacu subjected to cycles of feed restriction and refeeding showed significant differences in several variables. The SR fish exhibited higher weight and growth values, while the hepatosomatic index and intestinal quotient were lower in CR fish. Crude protein and mineral matter contents were higher in CR fish, whereas lipid levels were higher in SR fish, showing superiority at 15 days with a progressive reduction at 60 days. CR fish showed lower amylase activity and similar alkaline protease activity. Hematological and biochemical parameters decreased at 15 days and increased at 60 days, with no statistical difference between treatments. Histometry did not reveal alterations in hepatocytes; however, in the intestine, higher values for mucosal width and villus width were observed in CR fish. Higher frequency of superior values was noted in CR fish, except for cases such as myristic acid and docosahexaenoic acid, where SR fish showed higher levels. Despite feed restriction causing changes in the fatty acid profile, indicating efficient mobilization of energy reserves, no irreversible damage was observed in hepatic and intestinal tissues. Refeeding promoted partial recovery, highlighting the species' metabolic plasticity and resilience.

Keywords: feeding strategy, economy, production systems, sustainability.

1. Introdução

A aquicultura tem se destacado na produção de proteína animal. Nesse contexto, o manejo nutricional eficiente e o fornecimento de uma alimentação balanceada e de boa qualidade são fundamentais para aumentar as probabilidades de melhoria na conversão alimentar e nos aspectos produtivos (Siqueira et al., 2017). No entanto, uma alimentação atendendo aos requisitos nutricionais da espécie pode aumentar significativamente o custo de produção, representando até 70% do custo total (Souza et al., 2022).

Adicionalmente, rações bem formuladas permitem que os peixes mantenham maiores reservas lipídicas (Pezzato et al., 2009), ao contrário de animais em ambientes naturais, que frequentemente enfrentam períodos de escassez alimentar devido a fatores extrínsecos, como épocas reprodutivas e mudanças climáticas (Ribeiro & Moreira, 2012). Algumas espécies de peixes, para sobreviver a esses períodos de restrição alimentar, adaptam-se mobilizando reservas de energia endógenas. Essas espécies apresentam capacidades metabólicas que lhes permitem armazenar e utilizar eficientemente glicogênio, lipídios e proteínas presentes em tecidos como fígado e músculo (Garcez et al., 2023).

A restrição alimentar seguida por um período de realimentação adequada é indicada para proporcionar crescimento compensatório, definido como a capacidade de recuperar taxas de crescimento após um período de restrição alimentar (Meira et al., 2022). Além disso, reduzir a quantidade de alimento pode minimizar o desperdício de ração na água, uma prática recomendada para diminuir a excreção de nitrogênio e fósforo (Gallardo-Collí et al., 2020). A restrição também pode reduzir o teor de gordura nos peixes, uma característica importante para os consumidores (Favero et al., 2020).

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma espécie nativa de relevância comercial na região Centro-Oeste do Brasil, é criado em tanques-rede e viveiros escavados em sistemas de cultivo intensivo e semi-intensivo (Valladão et al., 2018), e apresenta fácil adaptação a diferentes sistemas de aquicultura.

Estudos sobre crescimento compensatório, em pacu, indicam que a espécie apresenta boa capacidade de recuperação quando submetida a períodos longos de realimentação (Favero et al., 2020), enquanto a resposta não é tão clara em ciclos curtos (Takahashi et al., 2010). Saita (2011), destacou que o crescimento compensatório pode ser uma ferramenta eficaz na produção de pacu, utilizando ciclos alternados de dois, três e quatro semanas de restrição alimentar seguidos por duas semanas de realimentação. Com base nesses achados, para este estudo, a escolha de ciclos de 15 dias de restrição

seguidos de 15 dias de realimentação visa equilibrar o crescimento compensatório com a manutenção da saúde dos peixes. Esse protocolo permite avaliar a eficiência alimentar e a recuperação dos pacus, além de contribuir para estratégias mais sustentáveis na aquicultura.

Essas estratégias alimentares também influenciam aspectos fisiológicos e bioquímicos dos peixes. A atividade de enzimas digestivas, como amilase, lipase e protease, pode ser modulada pela disponibilidade de alimento, refletindo ajustes metabólicos para maximizar a eficiência digestiva durante os períodos de realimentação (Liu et al., 2022). Alterações na histometria do intestino e do fígado indicam possíveis respostas morfológicas e adaptativas aos ciclos alimentares, influenciando a absorção de nutrientes e o metabolismo energético (Silva et al., 2021).

A escolha do sistema de produção também desempenha um papel crucial no cultivo. Sistemas de recirculação aquícola (RAS, do inglês Recirculating Aquaculture Systems) oferecem condições controladas que possibilitam um maior controle sobre a qualidade da água e a sanidade dos animais (Kubtiza, 2018), o que pode potencializar os efeitos positivos da restrição alimentar. Entretanto, poucos estudos avaliaram os efeitos metabólicos e fisiológicos dessa estratégia nesse ambiente controlado.

Este estudo tem como objetivo investigar o impacto dos ciclos de restrição alimentar e realimentação no desempenho zootécnico, composição corporal e metabolismo lipídico do pacu em RAS. Espera-se que os resultados contribuam para a formulação de protocolos alimentares mais sustentáveis e economicamente viáveis para a piscicultura comercial.

2. Material e Métodos

Todos os protocolos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UEMS, protocolo 015/2019. O experimento foi realizado no setor de Piscicultura do Centro em Excelência em Ciência Animal do Cerrado e Pantanal (CECA), da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), localizada no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil (20° 28' 30''S; 55° 47' 11'' W).

2.1 Aclimação e condições ambientais

Os juvenis de *Piaractus mesopotamicus* foram oriundos do setor de piscicultura

da UEMS. Foram despescados do viveiro escavados e aclimatados por um período de 10 dias, antes do início do experimento, em 10 unidades de caixas de polietileno com volume útil de 500 L, operando em um sistema de recirculação de água fechado, com utilização de filtros físico e biológico, com aeração contínua.

Durante a aclimação, os peixes foram alimentados manualmente duas vezes ao dia (às 8h e às 16h), até aparente saciedade, com ração comercial (Supra, Acqualine, Rio Claro, SP, Brasil) de granulometria 4-6 mm, contendo 42% de proteína bruta, 6,5% de extrato etéreo, 7% de fibra bruta e 10% de matéria mineral, conforme as especificações fornecidas pelo fabricante. A ração comercial utilizada no período de aclimação foi a mesma utilizada durante o período experimental.

A qualidade da água foi monitorada duas vezes ao dia (08h e 15h30), utilizando um medidor multiparâmetro (Hanna, HI98194) para a quantificação dos parâmetros: temperatura ($28,63 \pm 3,29$ °C), pH ($5,72 \pm 0,86$ mg L⁻¹), oxigênio dissolvido ($4,95 \pm 1,15$ mg L⁻¹). Além disso, semanalmente, nitrogênio amoniacal total e nitrito foram quantificados por meio de fotocolorímetro portátil (Hanna Checker®, HI784 e HI764), com concentrações médias de $2,36 \pm 0,85$ mg L⁻¹ e $0,1$ mg L⁻¹, respectivamente.

2.2 Grupos experimentais

Foram utilizados 200 juvenis de *P. mesopotamicus* com peso inicial médio de $45,00 \pm 8,36$ g e comprimento total médio de $15,01 \pm 1,29$ cm. Os peixes foram distribuídos aleatoriamente em duas estratégias alimentares experimentais: CR – peixes submetidos a restrição alimentar de 15 dias, seguido por 15 dias de realimentação; e SR – peixes alimentados continuamente (controle). Cada estratégia alimentar foi conduzida por cinco repetições, totalizando 10 unidades experimentais (tanque). O experimento teve duração de 60 dias.

Ao término do período de aclimação, os peixes foram submetidos a um jejum prévio de 24 horas, seguidos de anestesia com eugenol (50 mg L⁻¹, Martins et al., 2014) para a realização da biometria inicial. O peso corporal foi determinado com o auxílio de uma balança digital de alta precisão (Toledo Pnix® 3 Plus), enquanto o comprimento total foi medido utilizando um ictiômetro (Rotta et al., 2003). Esses dados foram utilizados para o cálculo da biomassa estocada em cada unidade experimental e para a determinação da quantidade de ração a ser fornecida diariamente durante o experimento. No período experimental, os peixes foram alimentados, manualmente, duas vezes ao dia com uma

quantidade equivalente a 3% da biomassa total ao dia. Os ajustes na oferta de ração foram realizados quinzenalmente após o manejo biométrico.

As coletas de sangue e tecidos foram realizadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de experimento, e para o cálculo de desempenho zootécnico foram considerados os ciclos quinzenais, sendo: 1º ciclo (15 e 30 dias) e 2º ciclo (45 e 60 dias). Em cada período, os peixes foram anestesiados em solução de eugenol (50 mg L^{-1}), contados, pesados individualmente e medidos quanto ao comprimento total e padrão (em centímetros) utilizando os mesmos equipamentos citados anteriormente. Para garantir o esvaziamento do trato gastrointestinal, a alimentação foi suspensa 24 horas antes da realização de cada biometria.

Após o manejo biométrico de todos exemplares, em cada tempo de coleta, dois peixes de cada unidade experimental (UE) foram coletados para colheita sanguínea por venopunção caudal, utilizando seringas e agulhas banhadas em EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) a 3% como anticoagulante, para análises sanguíneas e perfil metabólico. Depois, os mesmos animais (10 peixes por estratégia alimentar) foram eutanasiado com overdose de anestésico (285 mg L^{-1} eugenol) (Mattioli et al., 2017) para coleta de fígado e intestino e a carcaça, para as análises de índice hepatossomático, quociente intestinal, histometria hepática e intestinal, composição centesimal, perfil de ácidos graxos. Aos 60 dias, foram coletados o trato digestivo de dois peixes de cada UE para análise de enzimas digestivas (Figura 1).

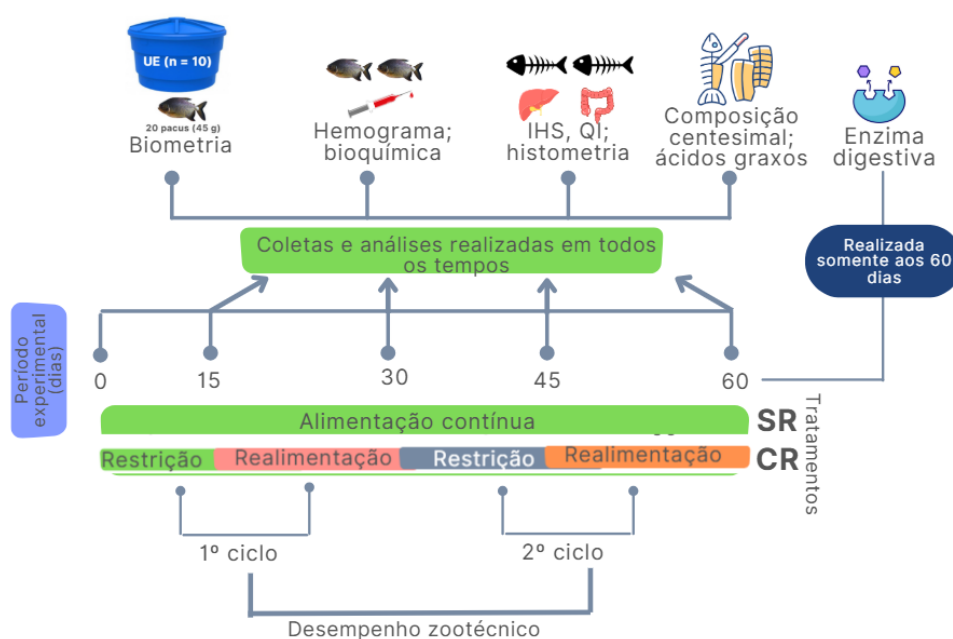


Figura 1. Diagrama esquemático da amostragem de peixes submetidos ou não a

restrição alimentar e realimentação no período experimental de 60 dias.

2.3 Parâmetros de desempenho zootécnico

Com base nos dados obtidos com as biometrias, foram determinados os seguintes índices zootécnicos: ganho de peso (GP) (g) = peso médio final – peso médio inicial; consumo de ração (C) (g) = ração fornecida dia⁻¹ (g) x n° total de dias referente ao período experimental – sobra da ração coletada e seca; conversão alimentar aparente (CA) = ração fornecida (g) GP⁻¹ (g); taxa de crescimento específico (TCE) (%) = [100 x (Ln peso final - Ln peso inicial) dias de experimento⁻¹]; taxa de eficiência proteica (TEP) (%) = GP / (C x % de proteína da ração) x 100; taxa de sobrevivência (TS) (%) = (número final de peixes número inicial de peixes⁻¹) x 100; fator de condição alométrico de Fulton (K) = 100 x {peso final (g)⁻¹ / comprimento total final (cm)³}.

Para contabilizar as sobras de ração, adotou-se o seguinte procedimento: 30 minutos após o fornecimento da ração, as sobras foram retiradas das unidades experimentais, secas em estufa de ventilação forçada de ar à 105°C (Solidsteel, SSDc 40L, Solidsteel) por 4 horas e, em seguida, pesadas com balança de precisão (Shimadzu, ATY 224R) conforme descrito por Cotrim (2023).

2.3.1 Índice hepatossomático e quociente intestinal

Após a eutanásia, amostras de fígado e intestino foram removidos, pesados com balança de precisão (Shimadzu, ATY 224R, Ponte Grande, São Paulo, Brasil) e medidos com régua, para a determinação dos seguintes índices: índice hepatossomático (IHS) (%) = (peso do fígado (g) / peso corporal do peixe (g)) x 100; quociente intestinal (QI) = comprimento do intestino / comprimento padrão do peixe (Adamczewski & Atkinson, 1984; Kramer & Bryant, 1995).

2.4 Composição centesimal da carcaça

As carcaças dos peixes coletadas (considerando pele, escama, tecido muscular, osso) foram divididas em duas partes, sendo que o hemisorpo lateral direito foi designado para composição centesimal e o hemisorpo lateral esquerdo para análise de ácidos graxos. As amostras do hemisorpo lateral foram inicialmente pesadas individualmente e, em seguida, submetidas a secagem em estufa com ventilação forçada a 105 °C por 72 horas. Após a secagem, foram novamente pesadas para determinação da amostra seca em estufa

(ASE) (Solidsteel, SSDc 40L). Posteriormente, foram congeladas, trituradas em moinho (Splabor, SP-35) por 5 minutos, peneiradas (Tamis, Inox 3X2, 7,5X5cm) para padronização do tamanho das partículas, e armazenadas a 5 °C até o momento do processamento das análises bromatológicas.

A avaliação do nitrogênio total (proteína bruta) foi avaliada pelo método de Kjeldahl, conforme descrito por Detmann et al. (2012). O teor de cinzas ou matéria mineral (MM) seguiu o protocolo descrito por Souza et al. (2012), que assegura a completa eliminação da matéria orgânica sem perdas significativas dos minerais presentes. A quantificação dos lipídios totais (LT) foi realizada com base em uma adaptação do método de Bligh e Dyer (1957), utilizando as mesmas amostras das análises de PB e MM, previamente secas em estufa (0,12 g).

2.5 Análises enzimáticas

O trato digestivo (estômago e intestino) foi extraído por meio de uma incisão longitudinal na região ventral dos peixes e imediatamente congelado a -80 °C até o momento das análises. Durante o processamento, o trato digestivo foi pesado em balança analítica (Shimadzu, ATY 224R), seccionado em pequenos fragmentos e transferido para tubos falcon, sendo diluído em água destilada resfriada na proporção de 1:6 (p/v). A homogeneização foi realizada em banho ultrassônico (Unique, Maxiclean 1400), com cinco ciclos de um minuto de sonicação intercalados com um minuto de resfriamento em banho de gelo, para romper as células do tecido digestivo e liberar as enzimas digestivas. O material foi centrifugado a 4.000 rpm por 15 minutos (Quimis, Q222TM2), e o sobrenadante resultante foi utilizado para determinar a atividade enzimática digestiva. Todas as análises foram realizadas em duplicata, conforme descrito por García-Carreño e Haard (1993).

A atividade da amilase foi determinada utilizando amido solúvel (0,3% p/v) como substrato, dissolvido em solução tampão de Na₂HPO₄ (pH 7,4). O extrato enzimático foi incubado com o substrato por 30 minutos a 37 °C, e a reação foi avaliada pela medição da absorbância a 580 nm. Uma unidade de atividade da amilase (U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de hidrolisar um mg de amido em 30 minutos por mililitro de extrato enzimático, conforme descrito por Métais e Bieth (1968).

A atividade da protease alcalina foi determinada utilizando caseína (0,5% p/v) como substrato, preparada em tampão Tris-HCl (50 mM, pH 8.0). O extrato enzimático

foi incubado com o substrato por 30 minutos a 25 °C, e a reação foi interrompida com adição de ácido tricloroacético (TCA, 20% p/v). Após centrifugação (5.000 rpm, 20 minutos), a absorbância do sobrenadante foi medida a 280 nm em temperatura ambiente (Uv-vis, Femto, Cirrus-80-pr). Uma unidade de atividade de protease (U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de hidrolisar um μmol de caseína por minuto por mililitro de extrato enzimático (García-Carreño e Haard, 1993).

2.6 Hemograma e perfil metabólico

Os valores de hematócrito (Ht) foram determinados pelo método microhematócrito, após centrifugação a 11.200 g por 15 min em temperatura ambiente (Nova, SG120). A concentração de hemoglobina (Hb) foi quantificada pelo método de cianometahemoglobina com kit comercial (Latest, São Paulo, Brasil; código 43). A contagem total do número de eritrócitos (Er) foi realizada em uma câmara de Neubauer pelo método Natt & Herrick (1952). Foram calculados os índices hematimétricos: volume corpuscular médio (VCM) ($\text{Ht} \times 10/\text{Er}$), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) ($\text{Hb} \times 100/\text{Ht}$), hemoglobina corpuscular média (HCM) ($\text{Hb} \times 10/\text{Ht}$) calculados, respectivamente, segundo Ranzani Paiva et al. (2013). Para a contagem total de leucócitos (Lc) e trombócitos (Tr) foram produzidas extensões sanguíneas individuais em duplicata, secas ao ar e coradas com May Grünwald-Giemsa- Wright (Tavares-Dias e Moraes, 2004).

Os níveis de glicose sanguínea foram determinados utilizando o glicosímetro (Accu-Chek performa), com o resultado expresso em mg dl^{-1} . Após realização das análises, alíquotas de sangue (0,5 ml) foram centrifugadas por 10 minutos a 15.650 rpm em centrífuga refrigerada (4 °C, Quimis, Q222TM2), para separar o plasma. O plasma obtido foi congelado em ultrafreezer (-80 °C) até o momento da análise. Os níveis plasmáticos de colesterol total (mg dL^{-1}) foram determinados pelo método enzimático colorimétrico utilizando kit comercial (Analisa Gold, Magé, Rio de Janeiro, Brasil, código 308), com os resultados expressos em mg dL^{-1} .

2.7 Histometria hepática e intestinal

As amostras de tecidos hepático e do intestino médio foram fixadas em solução de formol 10% tamponado (pH 7,2) por 24h e, em seguida, transferidas para álcool 70%, onde permaneceram até o processamento histológico padrão. As amostras foram clivadas,

devidamente identificadas, e incluídas em parafina. Os cortes histológicos, com espessura de 3 μm , foram obtidos utilizando um micrótomo semiautomático (Leica 2245) e posteriormente corados com Hematoxilina e Eosina (H&E). As análises histométricas foram realizadas com o software ImageJ 2.0.

Para a análise histométrica do fígado, imagens digitais foram capturadas aleatoriamente das seções histológicas utilizando uma câmera digital acoplada a um microscópio óptico em aumento de 400x. Em 50 hepatócitos escolhidos ao acaso, foram determinados: área (μm^2) e perímetro (μm) dos hepatócitos, área (μm^2), perímetro (μm), e diâmetro do núcleo dos hepatócitos. Com as mensurações obtidas foram calculados os parâmetros histométricos indiretos: relação área do núcleo/área do citoplasma ($R_{nc} = \text{área nuclear} / \text{área do citoplasma} \times 100$), relação perímetro do núcleo/perímetro do citoplasma ($R_{pnc} = \text{perímetro nuclear} / \text{perímetro do citoplasma} \times 100$) e volume do núcleo do hepatócito ($V_n (\mu\text{m}^3) = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$), onde r é o raio nuclear. Além disso, foi determinada a circularidade do núcleo do hepatócito pela fórmula $C_n = 4 \cdot \pi \cdot (\text{área nuclear}) / \text{perímetro do núcleo}^2$ (Rodrigues et al., 2017).

Para o intestino médio, imagens digitais de seções semi-seriadas foram capturadas em ampliações de 100x e 400x. Trinta vilosidades por animal foram selecionadas aleatoriamente, sendo mensuradas a altura (μm), largura (μm) e espessura do epitélio (μm) em cada porção média do intestino.

2.8 Análises de ácidos graxos

As análises de ácidos graxos foram conduzidas com base na fração lipídica obtida dos tecidos do hemicorpo lateral esquerdo dos peixes conforme descrito no item 2.4.3.

Após a extração, a fração lipídica foi submetida ao processo de metilação para a conversão dos ácidos graxos em seus respectivos ésteres metílicos. Este procedimento incluiu solução de KOH metanólico, seguidas pela metilação com H_2SO_4 e NH_4Cl em metanol. A fase lipídica metilada foi, então, extraída em hexano para posterior análise, seguindo o método descrito por Maia e Rodriguez-Amaya (1993).

A identificação e quantificação dos ésteres metílicos de ácidos graxos foram realizadas utilizando cromatografia gasosa. As análises foram conduzidas em um cromatógrafo a gás equipado com detector de ionização de chama (TermoFischerScientific) e uma coluna capilar de sílica fundida revestida com polietilenoglicol como fase estacionária (DB-Wax, 30 m $\times$ 0,25 mm, J&W Scientific). As

condições cromatográficas foram ajustadas para otimizar a separação e identificação dos compostos: temperatura do injetor à 250 °C; temperatura inicial da coluna de 180 °C, mantida por 20 minutos; gradiente de temperatura com incremento de 2 °C por minuto até atingir 220 °C; temperatura do detector de 260 °C; gás de arraste hidrogênio, com fluxo de 1,1 mL min⁻¹; gás de make-up nitrogênio, com fluxo de 22 mL min⁻¹; volume de injeção de 1 µL.

Os ácidos graxos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção das amostras com padrões comerciais de ésteres metílicos (Sigma-Aldrich). A quantificação foi realizada pelo método de normalização de área, expressando os resultados como a porcentagem relativa de cada ácido graxo em relação à área total de todos os ácidos graxos detectados.

2.9 Análises estatísticas

A homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Levene e pelo teste de Shapiro-Wilk, respectivamente. Para a análise de desempenho zootécnico, foi adotado um delineamento fatorial 2 x 2, com duas estratégias alimentares (CR e SR) e dois ciclos de restrição alimentar e realimentação (1º e 2º ciclo). ANOVA bidirecional seguida de teste Tukey ($P < 0,05$) foram realizadas para variáveis de índice hepatossomático, quociente intestinal, composição centesimal, hematologia e perfil metabólico, histometria do fígado e intestino e ácidos graxos, utilizado um delineamento fatorial 2 x 4, considerando duas estratégias alimentares (CR e SR) e quatro tempos de coleta (15, 30, 45 e 60 dias). ANOVA unidirecional seguida por teste Tukey ($P < 0,05$) foram realizadas para enzimas digestivas ($P < 0,05$). A análise dos dados foi realizada usando R versão 4.3.1 - "Beagle scouts" Copyright©.

3. Resultados

Desempenho zootécnico, composição corporal, índice hepatossomático e quociente intestinal

Nenhuma mortalidade foi registrada durante o período experimental. As variáveis peso final, ganho de peso, consumo de ração e taxa de crescimento específico apresentaram interação ($P < 0,05$) quanto à estratégia alimentar e ciclo de produção. O peso final foi maior ($P < 0,05$) nos peixes que receberam alimentação contínua em relação aos peixes submetidos à restrição no primeiro ciclo, mas não no segundo ciclo. Em ambas as

estratégias alimentares o peso foi maior no segundo ciclo (Tabela 01).

O ganho de peso e consumo de ração foram maiores ($P < 0,05$) nos peixes que receberam alimentação contínua em relação aos que foram submetidos à restrição. No entanto, essas variáveis diferiram do primeiro para o segundo ciclo apenas para os peixes com alimentação contínua, com maiores ($P < 0,05$) valores observados no segundo ciclo. Quanto a taxa de crescimento específico, foi maior ($P < 0,05$) nos peixes com alimentação contínua, sendo que em ambos os regimes de alimentação os valores foram superiores ($P < 0,05$) no segundo ciclo (Tabela 02).

O comprimento final dos peixes ao final do período experimental foi de 17,31 cm e 18,58 cm, para peixes CR e SR, respectivamente ($P > 0,05$), e o ganho em comprimento não diferiu entre as estratégias alimentares aos 60 dias (CR = 3,39 cm; SR = 4,73 cm).

Tabela 1. Médias e desvio padrão da interação significativa de parâmetros de desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.

		PF (g)		GP (g)		C (g)		TCE (%)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
Ciclos	1º	53,76±7,36Bb	69,28±4,60Ab	11,74±2,60B	23,00±2,10Ab	21,69±2,56B	55,01±4,16Ab	3,85±0,14Bb	4,10±0,06Ab
	2º	70,55±9,22a	117,77±6,68a	16,88±6,16B	48,49±10,14Aa	20,70±3,23B	73,23±5,84Aa	4,11±0,12Ba	4,62±0,56Aa
Média geral		62,15±8,29	93,52±5,64	14,31±4,38	35,74±6,12	21,19±2,89	64,12±5,00	3,98±0,13	4,36±0,31
P da estratégia alimentar (A)		<0,0001		0,0283		<0,0001		<0,0001	
P do ciclo (B)		0,0222		0,2503		0,0002		<0,0001	
P da interação (A x B)		0,0350		0,0335		<0,0001		0,0174	
Coeficiente de variação (%)		23,57		7,94		9,71		2,54	

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. PF: peso final; GP: ganho em peso; C: consumo de ração; TCE: taxa de crescimento específico. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

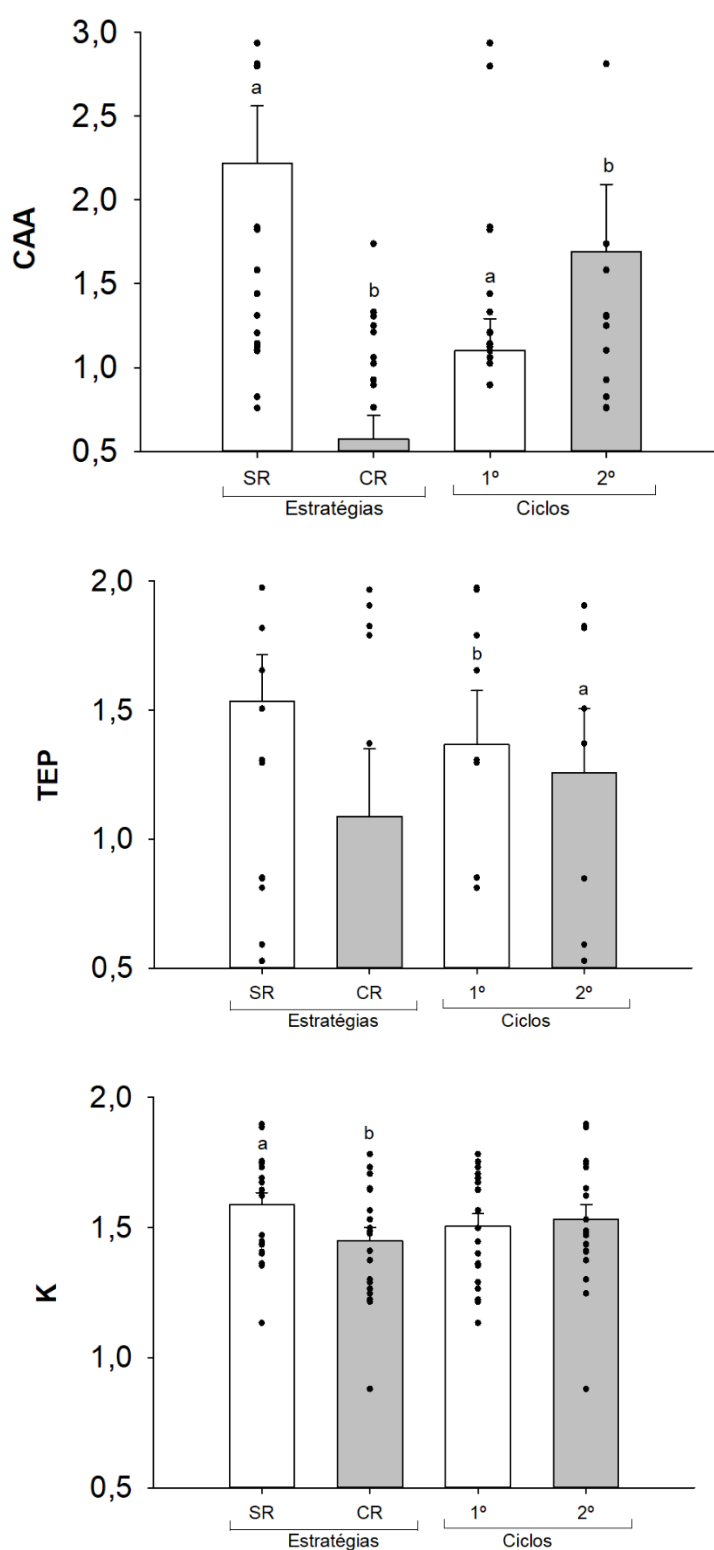


Figura 2. Médias e desvio padrão de desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; CAA: conversão alimentar aparente; TEP: taxa de eficiência proteica; K: fator de condição. Médias seguidas de letras diferentes diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

As variáveis de proteína bruta e lipídeos totais apresentaram interação ($P < 0,05$) quanto à estratégia alimentar e ciclo de produção. A proteína bruta foi maior ($P < 0,05$) nos tempos de 45 e 60 dias nos peixes que submetidos à restrição alimentar em relação aos peixes que receberam alimentação continuamente. Entre os dias nas diferentes estratégias alimentares, a proteína bruta foi maior ($P < 0,05$) nos tempos de 14 e 45 dias para os peixes submetidos à restrição alimentar e foi maior ($P < 0,05$) no tempo de 15 dias nos peixes que receberam alimentação contínua. Para lipídeos totais, os valores foram superiores ($P < 0,05$) nos peixes que receberam alimentação contínua, exceto aos 15 dias que não foi observada diferença entre as estratégias alimentares. Entre os dias nas diferentes estratégias alimentares não houve diferença ($P > 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Médias e desvio padrão da interação significativa de teores de proteína bruta (PB%) e lipídeos totais (LT%) de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

		PB (%)		LT (%)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	73,89±0,02a	70,73±0,02a	18,42±0,00	17,47±0,01
	30	63,26±0,02c	65,35±0,04ab	14,70±0,04B	19,36±0,01A
	45	70,65±0,04Aa	63,01±0,03Bb	13,24±0,01B	22,98±0,02A
	60	66,91±0,04Abc	61,07±0,03 Bb	17,35±0,03B	22,25±0,05A
Média geral		68,67±0,03	65,04±0,03	15,92±0,02	20,51±0,02
P da estratégia alimentar (A)		<0,0001		0,0283	
P do tempo de coleta (B)		0,0222		0,2503	
P da interação (A x B)		0,0350		0,0335	
Coeficiente de variação (%)		23,57		7,94	

CR: tratamento com restrição alimentar; SR: tratamento sem restrição; PB: proteína bruta; LT: lipídeos totais. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O teor de matéria mineral apresentou aumento de 22,06% nos peixes submetidos à restrição alimentar ($P < 0,05$) em comparação aos peixes que receberam alimentação contínua. Em relação aos tempos, houve uma redução, aos 60 dias os valores foram 25,37 inferiores comparados aos 15 dias ($P < 0,05$). A umidade, não apresentou diferença entre as estratégias alimentares, porém aos 30 dias, os valores foram superiores aos demais tempos ($P < 0,05$) (Figura 3).

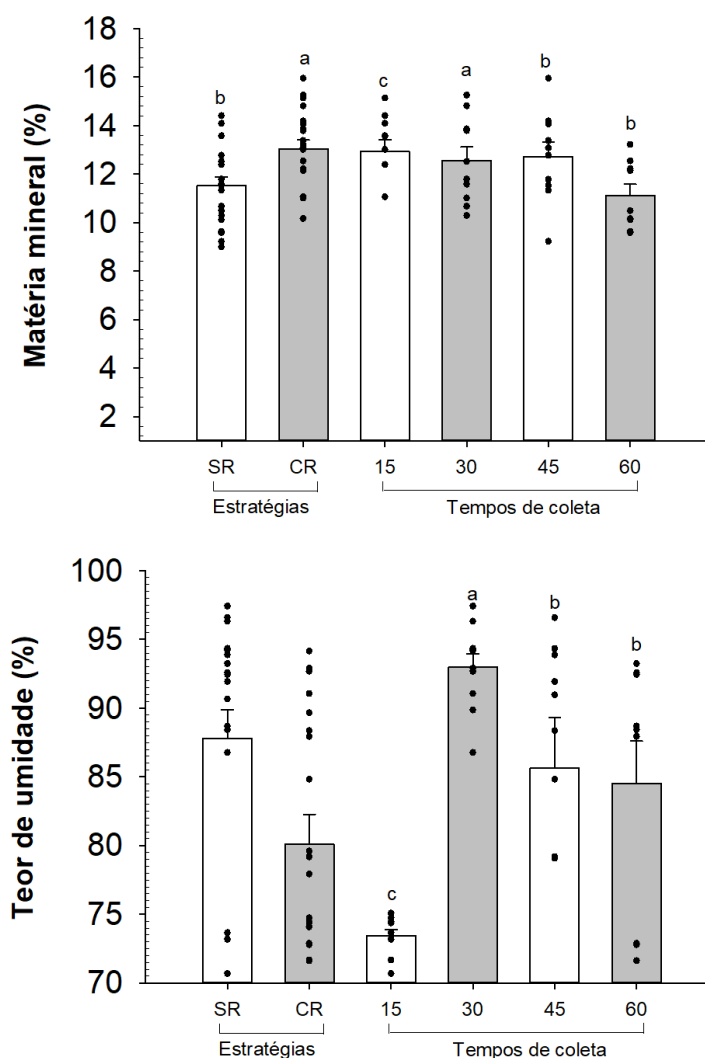


Figura 3. Médias e desvio padrão de teores de matéria mineral e umidade (média e desvio padrão) de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias. CR: tratamento com restrição alimentar; SR: tratamento sem restrição. N amostral: 10 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Os peixes que foram submetidos a restrição alimentar apresentaram valores inferiores no índice hepatossomático ($P < 0,05$), exceto aos 30 dias. Aos 15 e 45 dias, o índice hepatossomático foi significativamente ($P < 0,05$) inferior nos peixes submetidos a restrição alimentar em relação aos peixes que se alimentaram continuamente. Para o quociente intestinal, a estratégia alimentar também influenciou significativamente os resultados ($P = 0,0283$) aos 15 dias, sendo que os peixes que foram submetidos a restrição alimentar apresentaram valores inferiores comparados aos peixes de alimentação contínua, enquanto o tempo de coleta isoladamente não teve efeito significativo ($P > 0,05$). (Tabela 3).

Tabela 3. Médias e desvio padrão da interação significativa de índice hepatossomático (IHS%) e quociente intestinal (QI), de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

		IHS (%)		QI	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	0,78±0,25Bb	1,69±0,45Ab	1,40±0,11B	1,69±0,11A
	30	1,35±0,45ab	1,53±0,57a	1,64±0,10	1,68±0,10
	45	0,86±0,23Bb	1,90±0,16Aab	1,54±0,24	1,64±0,11
	60	1,48±0,22Ba	1,97±0,21Aa	1,63±0,06	1,57±0,12
Média geral		1,11±0,28	1,77±0,34	1,55±0,12	1,64±0,11
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		<0,0001		0,0283	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0222		0,2503	
<i>P</i> da interação (A x B)		0,0350		0,0335	
Coeficiente de variação (%)		23,57		7,94	

CR: tratamento com restrição alimentar; SR: tratamento sem restrição; IHS: índice hepatossomático; QI: quociente intestinal. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Aspectos nutricionais e fisiológicos

Os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram menor atividade da amilase ($P < 0,05$) comparados aos peixes alimentados continuamente. Por outro lado, não houve diferença significativa na atividade da protease alcalina entre as estratégias alimentares ($P > 0,05$) (Figura 4).

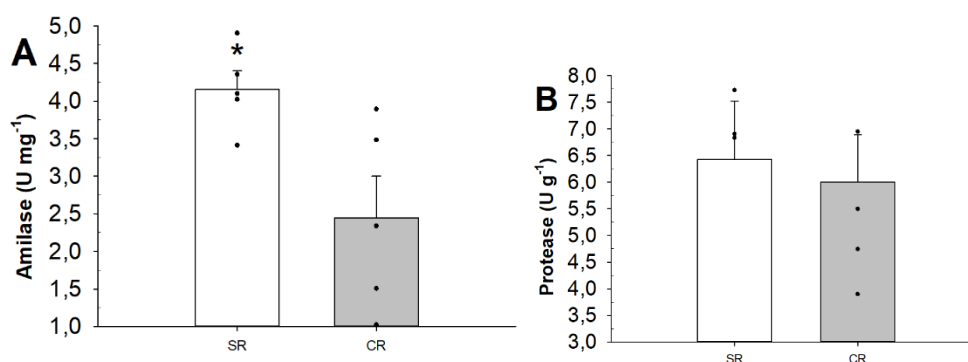


Figura 4. Médias e desvio padrão de enzimas digestivas amilase (A) e protease alcalina (B) de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

SR: tratamento sem restrição; CR: tratamento com restrição alimentar. N amostral: 10 peixes/tratamento. Médias seguidas de * diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Os peixes submetidos à restrição alimentar apresentaram níveis significativamente mais altos de hemoglobina ($P < 0,05$) aos 15 dias em comparação aos

que receberam alimentação contínua. Por outro lado, esses peixes exibiram valores mais baixos de eritrócitos e volume corpuscular médio aos 60 dias ($P < 0,05$) e de hemoglobina corpuscular média em todos os tempos analisados ($P < 0,05$). Ao longo dos tempos de coleta, para os peixes submetidos a restrição alimentar, a hemoglobina aumentou 18,64% aos 45 dias, seguido por uma redução de 41,20% aos 60 dias. Uma resposta semelhante foi observada nos peixes que receberam alimentação contínua, com um aumento de 41,28% aos 45 dias e uma redução de 9,82% aos 60 dias. Para os eritrócitos, os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram um aumento de 11,02% aos 60 dias, enquanto que nos peixes alimentados continuamente, houve uma redução de 25,76% no mesmo período. Os peixes que receberam alimentação contínua apresentaram valores variados de volume corpuscular médio, com redução aos 60 dias. Quanto à hemoglobina corpuscular média, observou-se uma diminuição de 33,92% aos 60 dias. Já a concentração de hemoglobina corpuscular média apresentou valores inferiores aos 30 dias em ambas as estratégias alimentares (Tabela 4).

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) nos valores de leucócitos totais entre as estratégias alimentares, com um aumento de 11,35% nos peixes submetidos à restrição alimentar. Ao longo dos tempos de coleta, observou-se uma redução de 19,33% nos valores de hematócrito aos 60 dias. Para leucócitos os maiores valores ocorreram aos 15 dias, e trombócitos apresentaram valores superiores aos 60 dias (Figura 5).

Tabela 4. Médias e desvio padrão da interação significativa de parâmetros de hemograma de juvenis de *P. mesopotamicus*, submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

Hemograma da série vermelha							
		Hb (g dL ⁻¹)		Er (g dL ⁻¹)			
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR		
Tempo de coleta (dias)	15	6,98±0,98Ab	5,19±0,53Bc	-	-		
	30	6,25±2,63b	7,13±1,42b	1,21±0,17b	1,21±0,17a		
	45	8,58±0,70a	8,84±0,86a	1,22±0,62ab	1,22±0,32 a		
	60	4,10±0,83c	4,68±0,61d	1,36±0,19Ba	1,63±0,08 Ab		
Média geral		6,47±1,28	6,46±0,85	1,26±0,32	1,35±0,19		
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		<0,0001		0,0137			
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0222		<0,0001			
<i>P</i> da interação (A x B)		0,0350		0,0017			
Índices hematimétricos							
		HCM (pg)		CHCM (g dL ⁻¹)		VCM (fL)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	-	-	24,02±6,69a	25,50±4,04a	-	-
	30	35,02±15,59Ba	45,21±11,09A	16,85±2,39b	28,63±2,80b	185,39±24,16	210,65±36,68 a
	45	36,21±6,44Ba	46,54±9,69A	21,08±2,85a	15,73±3,12a	210,65±19,92	210,65±47,82a
	60	23,14±3,53Bb	45,28±6,05A	22,71±2,14a	15,20±2,10a	185,43±16,54A	155,60±50,80Bb
Média geral		31,45±8,52	45,67±8,94	21,16±3,53	21,26±3,01	193,82±20,20	192,30±15,10
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,0112		0,4305		0,7352	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		<0,0001		<0,0001		0,0012	
<i>P</i> da interação (A x B)		<0,0001		<0,0001		0,0477	

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; Hb: hemoglobina; Er: eritrócitos; VCM: volume corpuscular médio; CHCM: concentração de hemoglobina corpuscular média; HCM: hemoglobina corpuscular média. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

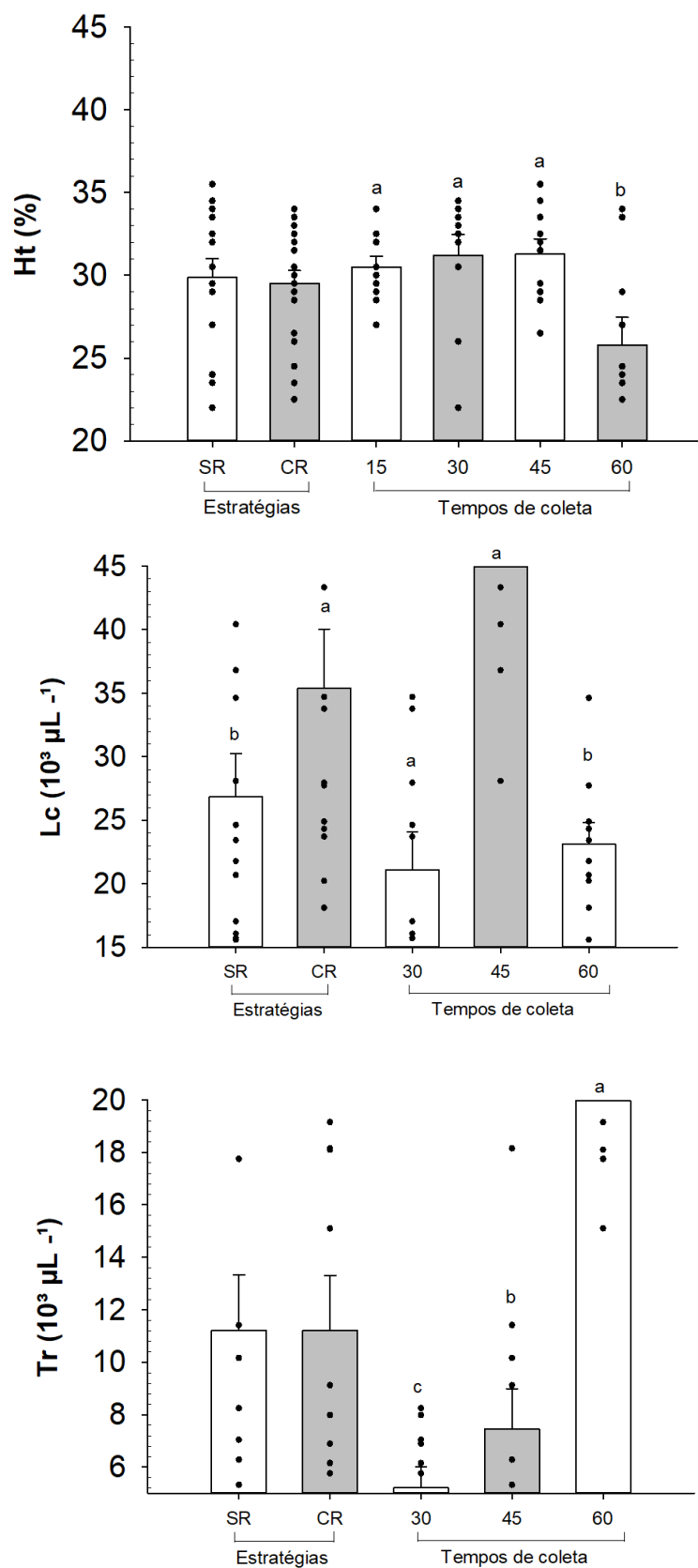


Figura 5. Médias e desvio padrão de hematócrito (Ht), leucócitos e trombócitos totais de *P. mesopotamicus*, submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; Ht: hematócrito; Lc: leucócitos totais; Tr: trombócitos totais. Médias seguidas de letras diferentes em uma coluna diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Nas estratégias alimentares, foi observado que os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram valores superiores ($P < 0,05$) de colesterol em todos os tempos de coletas, comparados aos peixes que receberam alimentação contínua. Em contra partida, para glicose, os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram redução de 34,62% aos 15 dias e nos demais tempos de coleta, foram semelhantes ($P > 0,05$). Em relação aos tempos de coleta, os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram valores inferiores aos 15 dias e superiores aos 60 dias, já nos peixes com alimentação contínua, os valores foram inferiores aos 15 e 30 dias. Para os valores de glicose houve redução aos 15 dias nos peixes submetidos a restrição alimentar ($P < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Médias e desvio padrão da interação significativa de colesterol plasmático e glicose sanguínea de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle).

		Colesterol (mg dL ⁻¹)		Glicose (mg dL ⁻¹)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	43,33±8,29Ab	33,75±3,82Bb	57,40±12,40Bb	87,80±16,46A
	30	53,28±5,08Aab	32,80±8,04 Bb	100,30±21,55a	100,25±27,04
	45	49,67±3,75Aab	36,09±0,00Ba	102,90±18,81a	92,70±2,71
	60	63,38±12,98Aa	36,84±7,61Ba	112,60±19,88a	99,37±8,59
Média geral		52,41±7,52	34,87±4,86	93,30±18,16	95,03±13,70
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,2195		0,7515	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0030		0,0007	
<i>P</i> da interação (A x B)		<0,0001		0,0317	
Coeficiente de variação (%)		14,56		18,33	

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram valores inferiores no volume nuclear comparados aos peixes que receberam alimentação contínua somente aos 45 dias. Em relação aos tempos de coleta, nos peixes submetidos a restrição alimentar, houve redução aos 15 e 45 dias, já nos peixes alimentados continuamente, os valores foram inferiores aos 15 dias ($P < 0,05$). Quanto à largura da mucosa, os peixes submetidos à restrição alimentar apresentaram valores reduzidos aos 15 e 45 dias. Em relação aos tempos de coleta, os valores foram menores aos 30 dias, enquanto aos 60 dias houve um aumento de 39%.

Os peixes sob restrição alimentar tiveram maior largura da vilosidade aos 30 dias, enquanto nos demais tempos não houve diferença entre as estratégias ($P > 0,05$). Em

relação aos tempos de coleta, foi observado um aumento aos 30 dias e uma redução aos 15 dias. Já nos peixes alimentados continuamente, os valores também foram inferiores aos 15 dias (Tabela 6).

Na histometria dos hepatócitos, não foram observadas diferenças entre as estratégias alimentares. Com exceção de perímetro do núcleo e RNC, os tempos de coletas apresentaram diferença significativa, aos 15 dias foram observados valores inferiores para área, diâmetro do núcleo e volume nuclear, aos 15 e 30 dias foram observados menores valores para circularidade, área, perímetro e diâmetro do citoplasma, e para RNPC os valores foram inferiores aos 45 e 60 dias (Tabela 7).

Na histometria intestinal, não houve interação para altura total da vilosidade, largura da submucosa, largura da camada muscular e largura da camada serosa, e não foi observada diferença entre as estratégias alimentares ($P > 0,05$). Houve tendência de aumento para todos os parâmetros avaliados (Tabela 8).

Tabela 6. Médias e desvio padrão da interação significativa na histometria de hepatócitos do volume nuclear (VN) e na largura da mucosa (LM) e largura da vilosidade (LV) da histometria do intestino de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua.

		VN (µm)		LM (µm)		LV (µm)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	81,60±35,67b	80,69±20,57b	16,48±4,74Bc	21,96±5,54Ab	111,41±41,59c	103,49±17,75b
	30	133,42±17,03a	106,16±13,71ab	25,58±2,85ab	21,50±2,16b	153,08±16,85Aa	123,26±13,73Bab
	45	92,02±26,70Bb	124,84±10,01Aa	20,45±2,46Bbc	25,91±4,72Aab	128,13±27,07bc	135,89±9,64a
	60	136,82±25,82a	137,60±19,93a	27,02±2,25a	30,17±5,91a	134,45±33,01ab	125,93±94,02a
Média geral		110,97±24,47	132,34±21,42	22,38±3,08	24,88±4,58	131,77±29,63	122,14±33,79
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,8490		0,0304		0,0193	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
<i>P</i> da interação (A x B)		0,0455		0,0131		0,0175	
Coeficiente de variação (%)		20,16		14,79		9,73	

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; VN: volume nuclear; LM: largura da mucosa; LV: largura da vilosidade. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 7. Médias e desvio padrão da histometria hepática de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle), aos 60 dias.

		Núcleo				
		Área (µm)	Perímetro (µm)	Diâmetro (µm)	Volume nuclear (µm)	Circularidade (µm)
Estratégia alimentar	CR	108,14±18,66	10,81±1,29	5,76±0,54	110,96±26,31	13,07±2,93
	SR	109,84±10,57	11,19±0,92	5,83±0,28	112,33±16,06	12,25±2,09
Tempo de coleta (dias)	15	87,49±20,71b	11,03±1,35	5,18±0,62b	81,14±28,13b	9,80±1,17b
	30	114,58±9,92a	11,55±1,10	5,96±0,26a	119,79±15,37a	12,06±2,83b
	45	107,49±13,34a	10,81±0,93	5,78 ±0,39a	108,44±18,36ab	12,90±2,87ab
	60	126,41±14,50a	10,75±1,04	6,28±0,37a	137,21±22,88a	15,89±3,18a
Média geral		108,99±14,62	11,02±1,11	5,79±0,41	111,64±21,18	12,66±2,51
P da estratégia alimentar (A)		0,7374	0,3887	0,6278	0,8490	0,3492
P do tempo de coleta (B)		<0,0001	0,4008	<0,0001	<0,0001	<0,0001
P da interação (A x B)		0,5297	0,2015	0,0673	0,0455	0,6975
Coeficiente de variação (%)		14,56	10,41	7,98	20,16	21,61
		Citoplasma				
		Área (µm)	Perímetro (µm)	Diâmetro (µm)	RNC	RNPC
Estratégia alimentar	CR	889,48±143,95	44,37±3,88	16,73±1,40	12,62±1,93	24,89±2,40
	SR	939,52±104,31	45,25±2,24	17,08±0,95	12,42±1,44	25,00±1,75
Tempo de coleta (dias)	15	762,45±183,11c	42,30±4,72b	15,41±1,89b	11,70±1,46	26,36±2,47a
	30	896,95±76,05bc	43,90±1,29ab	16,73±0,76ab	13,80±2,45	26,61±2,57a
	45	957,09±105,08ab	46,15±3,21a	17,28±0,94a	11,91±1,60	23,59±1,67b
	60	1.061,50±132,30a	46,79±3,01a	18,19±1,13a	12,67±1,24	23,21±1,59b
Média geral		917,83±124,31	37,74±3,06	16,90±1,18	12,52±1,69	24,94±2,07

<i>P</i> da estratégia alimentar (A)	0,3470	0,4232	0,3983	0,7337	0,8710
<i>P</i> do tempo de coleta (B)	<0,0001	0,0230	0,0003	0,0651	0,0015
<i>P</i> da interação (A x B)	0,2944	0,1752	0,4169	0,0606	0,4438
Coeficiente de variação (%)	14,43	7,62	7,60	14,69	8,94

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. N amostral: 10 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 8. Médias e desvio padrão da histometria intestinal de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua.

		Altura total vilosidade (µm)	Largura da mucosa (µm)	Largura da vilosidade (µm)	Largura da submucosa (µm)	Largura da camada muscular (µm)	Largura da camada serosa (µm)
Estratégia alimentar	CR	336,19±56,91	22,38±1,83b	131,76±11,95a	34,03±6,00	33,83±7,79	30,16±6,54
	SR	393,96±103,80	24,88±4,05a	122,14±7,96b	31,09±2,93	32,24±3,92	30,00±6,99
Tempo de coleta (dias)	15	277,74±61,80c	19,22±3,17c	107,45±5,55b	21,56±4,34b	19,36±4,06c	19,01±6,49b
	30	317,36±58,22b	23,54±1,81b	138,17±9,93a	35,03±7,32a	34,62±3,32b	31,04±3,34a
	45	396,51±84,41ab	23,18±3,59b	132,01±14,56a	33,75±4,41a	34,43±5,48b	31,46±7,49a
	60	468,70±117,00a	28,59±3,19a	130,19±9,79a	39,91±1,79a	43,74±10,57a	38,80±9,73a
Media geral		365,07±80,36	23,63 ± 2,94	126,95±9,96	32,56±4,47	33,03±5,86	30,07±6,76
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,0634	0,0304	0,0193	0,0841	0,4701	0,9492
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>P</i> da interação (A x B)		0,3920	0,0131	0,0175	0,0609	0,2279	0,0914
Coeficiente de variação (%)		26,03	14,79	9,73	16,04	20,87	25,14

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. N amostral: 10 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Perfil lipídico

O perfil lipídico de *P. mesopotamicus* submetidos ou não a restrição alimentar, é representado pela presença dos ácidos graxos insaturados: ácido láurico (C12: 0), ácido tridecanoico (C13:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico (C16:0), ácido heptadecanoico (C17:0), ácido esteárico (C18:0), ácido heneicosanoico (C21:0), ácido behênico (C22:0), ácidos graxos saturados: ácido miristoleico (C14:1), ácido palmitoleico (C16:1), ácido margárico (C17:1), ácido heptadecenóico (C17:1), ácido elaidico (C18:1n-9c), ácido oleico (C18:1 n-7), ácido alfa-linolênico (C18:3 n-6), ácido alfa-linolênico (C18:3 n-3), e ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) e ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs): ácido araquidônico (C20), ácido dihomogama-linolênico (C20:3n-6), ácido eicosenoico (C20:1n-9), ácido araquidônico (C20:4 n-6), ácido erúcico (C22:1n-9), ácido eicosapentaenoico (C20:5n-3) (EPA), ácido docosahexaenoico (C22:6n-3) (DHA).

Os peixes submetidos a restrição alimentar apresentaram superioridade no ácido tridecanoico em 14,28% e 11,11% nos tempos de 45 e 60 dias, respectivamente, e nos tempos de coleta, essa mesma estratégia apresentou valores superiores nos tempos de 45 e 60 dias, enquanto que nos peixes que receberam alimentação contínua, não houve diferença ($P>0,05$). Os peixes que receberam alimentação contínua apresentaram valores superiores de ácido mirístico, em todos os tempos de coleta, em relação aos tempos, não houve diferença para os peixes que receberam alimentação contínua, mas nos peixes submetidos a restrição alimentar, observou-se aumento progressivo ($P<0,05$). Os valores de ácido heptadecanoico (exceto aos 15 dias), nos peixes que receberam alimentação contínua foram superiores ($P<0,05$) aos peixes submetidos a restrição alimentar, entre os tempos, não houve diferença para ambas estratégias alimentares. Os valores de ácido elaidico foram superiores ($P<0,05$) nos peixes submetidos a restrição alimentar em todos os tempos de coleta, enquanto o tempo de coleta isoladamente nos peixes submetidos a restrição alimentar foram inferiores aos 60 dias, e nos peixes alimentados continuamente, superiores aos 15 e 60 dias. A estratégia de restrição alimentar apresentou valores superiores de ácido araquidônico comparados a estratégia de alimentação contínua, em relação aos tempos, aos 60 dias houve redução nos valores nos peixes submetidos a restrição alimentar, e peixes alimentados continuamente, aos 15 e 45 dias foram superiores. O DHA apresentou valores inferiores nos peixes submetidos a restrição alimentar, nos tempos, aos 60 dias observou-se aumento nessa estratégia, e nos peixes alimentados continuamente, aumento aos 30 e 45 dias (Tabela 10).

Tabela 9. Médias e desvio padrão da interação significativa de ácidos graxos insaturados, saturados, MUFAs e PUFAs de *P. mesopotamicus*

		Ácido tridecanoico (%)		Ácido mirístico (%)		Ácido heptadecanoico (%)		Ácido elaidico (%)	
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
Tempo de coleta (dias)	15	0,24±0,00b	0,23±0,01	3,25±0,01Bd	4,23±0,04A	1,56±0,01	1,56±0,01	24,75±0,12Aa	23,71±0,07Ba
	30	0,23±0,01b	0,24±0,00	3,34±0,18Bc	4,23±0,03A	1,53±0,01B	1,60±0,02A	24,78±0,09Aa	23,68±0,13Bab
	45	0,28±0,04Aa	0,24±0,01B	3,87±0,86Bb	4,22±0,03A	1,55±0,02B	1,59±0,01A	24,48±0,30Aab	23,56±0,03Bb
	60	0,27±0,00Aa	0,24±0,04B	3,95±0,78Ba	4,25±0,04A	1,55±0,01B	1,58±0,03A	24,32±0,30Ab	23,74±0,11Ba
Média geral		1,44±0,32	0,23±0,01	3,60±0,45	4,23±0,03	1,54±0,01	1,58±0,01	24,58±0,20	23,67±0,08
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,0215		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0053		0,0119		0,9659		0,0017	
<i>P</i> da interação (A x B)		0,0189		0,0135		0,0082		0,0016	
Coeficiente de variação (%)		11,99		10,39		2,05		0,93	
		Ácido eicosenoico (%)		Ácido araquidônico (%)		Ácido docosahexaenoico (DHA) (%)			
Estratégia alimentar		CR	SR	CR	SR	CR	SR		
Tempo de coleta (dias)	15	0,13±0,00	0,13±0,00	5,36±0,08Aa	4,85±0,03Ba	3,45±0,04Bb	4,39±0,05Ab		
	30	0,13±0,00	0,13±0,00	5,36±0,08Aa	4,77±0,04Bc	3,45±0,07Bb	4,47±0,03Aa		
	45	0,13±0,00	0,13±0,00	5,37±0,04Aa	4,84±0,07Ba	3,48±0,05Bb	4,46±0,07Aa		
	60	0,13±0,00	0,13±0,00	5,15±0,07Ab	4,81±0,02Bb	3,68±0,16Ba	4,40±0,08Ab		
Média geral		0,13±0,00	0,13±0,00	5,31±0,06	4,81±0,04	3,51±0,08	4,43±0,05		
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,1933		<0,0001		<0,0001			
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,1308		0,0004		0,0592			
<i>P</i> da interação (A x B)		0,0324		0,0021		0,0045			
Coeficiente de variação (%)		5,28		1,99		2,94			

CR: Tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. N amostral: 10 peixes/tratamento. Letras maiúsculas distintas na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas distintas na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

4. Discussão

O manejo alimentar de restrição alimentar e realimentação para *P. mesopotamicus* demonstrou ineficiente em relação a alimentação contínua. A utilização de três semanas de jejum para juvenis (30,2 g) de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivadas em RAS não proporcionou crescimento compensatório Nebo et al. (2018). Esses resultados sugerem a influência de mecanismos adaptativos, como a redução da taxa metabólica, o melhor aproveitamento de nutrientes e ajustes fisiológicos (Mccue, 2010; Liu et al., 2022).

O regime alimentar afeta a utilização dos alimentos e, portanto, influencia a composição corporal dos peixes (Lovell, 1992, Adebayo et al., 2000). A restrição alimentar promove mobilização de proteínas corporais para manutenção metabólica (Cotrim et al., 2016; Cotrim, 2023). No entanto, para *C. macropomum* (peso médio inicial = 18 g), submetidos à restrição alimentar por um dia na semana, mantiveram suas reservas corporais (Assis et al., 2020). Isto sugere que, para peixes redondos, a capacidade de manter as reservas corporais pode estar relacionada à sua eficiência em ajustar o metabolismo em resposta a períodos de restrição alimentar.

A estratégia de restrição alimentar resultou em redução de lipídeos totais, conforme esperado, sugerindo fortemente que os peixes utilizaram da reserva energética para manter a condição corporal. Wang et al. (2000) reportaram que em tilápias, a umidade e as cinzas aumentam, enquanto os lipídios e proteínas diminuem com a duração do jejum. Favero et al. (2020), evidenciaram que em *P. mesopotamicus* ($41,5 \pm 12,9$ g; peso médio $\pm$ DP) também houve redução de gordura, e observando que o jejum prolongado de 30 dias seguido de 30 dias de realimentação controlou a deposição de gordura na carne, com redução do teor de lipídeos ao longo do jejum.

A mais óbvia diferença na dieta de peixes onívoros e carnívoros é a proporção que a proteína ocupa na dieta. Os peixes onívoros tendem a ingerir menos proteínas (abaixo de 40%) que os carnívoros (acima de 40%) (Ellis & Reigh, 1991; NRC, 1993; Williams et al., 1997). Como a composição proteica do corpo das diferentes espécies de peixes não varia notavelmente e como a retenção de proteína líquida também é similar, essa diferença na proporção de proteína ingerida reflete, portanto, a diferença na habilidade de utilizar carboidratos (Wilson & Poe, 1987; Shitaka et al. 1994; Nankervis et al., 2000). Evidentemente, rações para espécies que podem utilizar carboidratos como energia eficientemente, serão mais baratas (baixo conteúdo de proteína) que rações para espécies que obtêm energia de proteína e lipídios. Portanto, o conhecimento da habilidade das

espécies em utilizar carboidratos, adquirido através do teste de tolerância a glicose é uma parte crítica da exigência nutricional das espécies. Quanto mais rápida for a absorção de glicose da corrente sanguínea para os tecidos, preferencialmente o peixe usará esse nutriente como fonte energética. A diferença na tolerância de glicose entre carnívoros e onívoros, além de indicar preferência nutricional, também indica diferença no mecanismo de transporte de glicose e também uma diferença na atividade das enzimas associadas à via glicolítica e à gliconeogênese, entretanto mais pesquisas são necessárias para elucidar tais diferenças específicas (Hardy, 2003).

O jejum impactou o índice hepatossomático e quociente intestinal, reduzindo os valores desses parâmetros, sugerindo uma utilização de fontes energéticas que se encontravam armazenadas nesses tecidos e foram utilizadas especialmente nos períodos de privação de alimento. Após 60 dias, em ambas estratégias alimentares os valores aumentaram e se mantiveram estáveis, sugerindo uma intensa adaptação corporal a partir da mobilização das reservas energéticas a fim de estabelecer novos padrões homeostáticos dos processos vitais (Pérez-Jiménez et al. 2007; Li et al. 2018), como descrito em outras espécies (Miglav e Jobling, 1989; Rios et al., 2011).

Juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidas a três semanas de restrição apresentaram diminuição do IHS em razão do esgotamento das reservas energéticas, reduzindo consequentemente também o peso do fígado (Nebo et al. 2018) e em *Prochilodus lineatus* a perda do peso corporal associou-se à redução do tecido hepático e da mobilização da gordura perivisceral (Rios et al. 2011). Mesmos relatos foram verificados em outros estudos: *Colossoma macropomum* (Assis et al., 2020), *Lophiosilurus alexandri* (Favero et al., 2019), *Hoplosternum littorale* (Rossi et al. 2015).

Os efeitos observados na composição corporal e nos índices fisiológicos reforçam a ideia de que a realimentação pode modular o metabolismo, favorecendo maior deposição de lipídios e reservas hepáticas. A realimentação melhorou a conversão alimentar, sugerindo que essa estratégia pode ser viável para reduzir custos, porém não maximiza o desempenho produtivo de peixes criados em RAS.

A protease digestiva apresenta características constitutivas para o pacu, demonstrando sua plasticidade no aproveitamento de diferentes fontes de proteína para a manutenção metabólica, independentemente da estratégia alimentar adotada. Essa adaptabilidade pode estar relacionada à capacidade da espécie de otimizar a digestão proteica em resposta às variações na disponibilidade de alimentos, garantindo seu desenvolvimento e sobrevivência em diferentes condições nutricionais (Lópes et al.,

2013).

Metabolicamente, os peixes CR apresentaram redução na atividade da amilase, indicando uma priorização na digestão de proteínas e lipídios em detrimento de carboidratos para conservar energia. Liu et al. (2022), observaram que o peixe garoupa apresentou diminuição das atividades de tripsina, lipídios e amilase após fome prolongada. Redução da atividade de enzimas digestivas também foi observada em *Acipenser baerii* (30 g) como estratégia metabólica durante período de restrição alimentar (Babaei et al., 2020). Por outro lado, nosso estudo com pacu, a atividade da protease alcalina manteve-se estável, evidenciando que a digestão proteica foi mantida independentemente da estratégia alimentar, o que de acordo com Dorce et al. (2020), pode ser essencial para suprir as demandas proteicas dos peixes durante o período de realimentação.

O CR apresentou valores superiores de colesterol em todos os tempos de coleta, o que pode sugerir uma mobilização de lipídios como fonte de energia sob restrição alimentar. A redução do colesterol aos 15 dias e o aumento aos 60 dias podem indicar um ajuste metabólico inicial seguido de um acúmulo compensatório à medida que os peixes tentam armazenar energia. A glicose apresentou redução no CR aos 15 dias, no entanto, ao longo do tempo, os valores se estabilizaram, indicando que os peixes ajustaram seu metabolismo para manter um equilíbrio glicêmico.

A glicose plasmática, principal fonte de energia metabólica, juntamente com triglicerídeos e colesterol, são elementos fundamentais para ajustes metabólicos durante a privação alimentar (Enes et al., 2009; Favero et al., 2018). Estudos como o de Favero et al. (2019) em juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) e de Liu et al. (2022) em *Trachinotus ovatus* relataram resultados semelhantes, indicando que a mobilização de glicose como fonte energética é uma resposta comum sob privação alimentar. Segundo Xu et al. (2020), essa mobilização glicêmica e lipídica envolve o uso do fígado e de lipídios viscerais como fontes energéticas, com liberação de ácidos graxos livres que podem ser utilizados na síntese de colesterol.

O fígado é um biomarcador importante para estudos nutricionais e metabólicos, refletindo alterações associadas ao manejo alimentar (Honorato et al., 2021) associados a histometria dos tecidos hepático e intestinal fornece dados valiosos sobre as respostas morfológicas dos peixes a diferentes estratégias alimentares e ao crescimento (Souza et al., 2002; Silva et al., 2013; Silva et al., 2021). A restrição alimentar não promoveu alteração na arquitetura hepática e intestinal, que refletisse em disfunção do órgão.

Reflexo da adaptação fisiológica do trato gastrointestinal para otimizar a absorção de nutrientes à medida que os peixes amadurecem (Dorce et al., 2020; Laczynska et al., 2020). Sendo os ajustes metabólicos para economizar energia, mas ressaltam a importância da dieta em promover a manutenção da saúde intestinal. Durante a realimentação, a ativação metabólica favorece o crescimento das vilosidades e aumento no transporte de glicose e aminoácidos, como descrito por Secor e Diamond (1995).

Independentemente do regime alimentar, a morfologia intestinal dos pacus manteve um padrão semelhante, o que pode indicar uma boa plasticidade intestinal para se adaptar às variações no fornecimento de alimento (Ostaszewska et al., 2006). Os parâmetros histométricos intestinais aumentaram ao longo do experimento, com valores significativamente menores aos 15 dias e superiores aos 60 dias para todos os parâmetros avaliados. Esse aumento progressivo pode estar associado ao crescimento do animal e à respostas que indicam ajustes morfofisiológicos do trato digestório para maximizar a eficiência alimentar, independentemente da estratégia nutricional adotada. A plasticidade intestinal observada sugere que o pacu consegue adaptar sua morfologia digestiva em resposta às variações no fornecimento de alimento, garantindo a manutenção da função digestiva e absorção de nutrientes mesmo em condições de restrição alimentar.

No presente estudo a redução da largura da mucosa e largura da vilosidade intestinais sugerem que a alimentação contínua promoveu uma maior capacidade absorptiva no trato intestinal, enquanto a restrição alimentar pode ter gerado ajustes para aumentar a eficiência em absorver nutrientes durante a realimentação. A ausência nutricional reduziu o estímulo metabólico, e consequentemente diminui a função da absorção intestinal, reduzindo provavelmente o tamanho dos enterócitos e a camada da mucosa (Rotta, 2003; Zeng et al., 2012; Wu et al., 2020).

Pode-se inferir que períodos quinzenais de restrição seguidos de realimentação, promove adaptações metabólicas significativas sem comprometer permanentemente a morfologia hepática ou intestinal. A capacidade de recuperação, evidenciada por ajustes na mucosa intestinal e no metabolismo hepático, destaca o potencial de estratégias nutricionais na piscicultura para otimizar o desempenho e preservar a saúde dos peixes.

Grande parte da literatura disponível sobre metabolismo lipídico se concentra em espécies de peixes marinhos ou outras espécies tropicais de água doce, como por exemplo, de tainha, *Mugil cephalus* e camurim, *Centropomus undecimalis* (da Silva Menezes et al., 2008), viola, *Loricariichthys anus* (Brito et al., 2014), carpas (Druzyan et al., 2007); tilápias (de Souza et al., 2005), e um estudo avaliando o perfil lipídico de quatro espécies,

Pseudoplatystoma coruscans, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. mesopotamicus* e *Salminus maxillosus*, nativos da região do Pantanal Sul-Mato-Grossense (Ramos Filho et al., 2008). Estudos com restrição alimentar e realimentação e impactos no perfil de ácidos graxos de peixes, são escassos na literatura, o que ressalta a importância do presente estudo.

A restrição alimentar induziu alterações significativas no perfil de ácidos graxos saturados e insaturados, refletindo a mobilização e redistribuição de reservas energéticas para compensar o déficit nutricional. Essa mobilização é uma estratégia eficiente para manter o metabolismo em equilíbrio, preservando a função dos tecidos essenciais (Houston et al., 2024).

Abbink et al. (2023), observaram que *Dicentrarchus labrax* sob restrição alimentar apresentaram um aumento em ácidos graxos específicos, como 18:3 n-3, que provavelmente serviu como fonte de energia durante períodos de ingestão limitada de alimentos. Enquanto isso, peixes alimentados continuamente apresentaram níveis mais altos de 22:6 n-3, um ácido graxo crucial para a integridade e desenvolvimento da membrana celular.

Por outro lado, os peixes alimentados continuamente apresentaram maiores concentrações de ácidos graxos como o 14:0, 17:0 e 22:6 n-3, o que pode estar associado ao acúmulo e síntese de reservas lipídicas, além de maior disponibilidade de substratos para a manutenção de processos fisiológicos de crescimento (Ashouri et al., 2020; Li et al., 2019).

Os resultados de ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados (MUFA e PUFA) também destacam a influência do manejo alimentar. O maior conteúdo de 18:3 n-3 nos peixes sob restrição alimentar, por exemplo, pode estar relacionado à sua utilização como fonte energética durante períodos críticos, enquanto os níveis mais altos de 22:6 n-3 nos peixes alimentados continuamente indicam maior retenção de ácidos graxos essenciais para o desenvolvimento e manutenção de membranas celulares (Houston et al., 2024).

Durante o período de restrição alimentar, os peixes apresentaram um aumento de ácidos graxos saturados e essenciais como o 18:3 n-3 e o 20:4 n-6, indicando uma possível adaptação metabólica para a manutenção de funções essenciais, mesmo com menor disponibilidade de nutrientes. Contudo, a diminuição do 18:1 n-9 e a redução do DHA (22:6 n-3) aos 60 dias podem sugerir um dano progressivo em termos de função celular e membranas, que pode comprometer a saúde a longo prazo (Oliveira et al., 2020; Barbosa

et al., 2024).

5. Conclusão

A restrição alimentar de 15 dias seguida de 15 dias de realimentação prejudicou o desempenho zootécnico e alterou perfil de ácidos graxos de juvenis de *Piaractus mesopotamicus* cultivados em RAS. Não foram observadas alterações irreversíveis nos aspectos fisiológicos e de morfologia hepática e intestinal. A recuperação desses tecidos após a realimentação reforça a plasticidade fisiológica da espécie, mostrando a resiliência metabólica dos peixes. O sistema de recirculação de água parece ser uma estratégia promissora para o cultivo de pacus na fase inicial principalmente pensando em sustentabilidade ambiental, porém, não é vantajosa quando se emprega a restrição alimentar, visando ganho compensatório de pacus nessa fase, com essa estratégia avaliada.

Financiamento

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT): Chamada FUNDECT/UEMS 09/2022, Proc. nº 71/051.289/2022, Termo de Outorga 660/2022 SIAFEM 32606.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados que dão suporte às descobertas deste estudo estão incluídos no texto e nas tabelas. Dados brutos para todas as figuras estão disponíveis com os autores correspondentes mediante solicitação razoável.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa da autora Acunha, RMG.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências bibliográficas

Abbink, W. et al. Effects of short-term intermittent fasting on growth performance, fatty acids profile, glycolysis and cholesterol synthesis gene expression in European seabass

- Dicentrarchus labrax*. Fishes, v. 8, n. 12, p. 582, 2023. DOI: 10.3390/fishes8120582.
- Adamczewski, J. Z., & Atkinson, D. B. (1984) - Functional significance of the hepatosomatic index in fish.
- Al-Ashouri, A., Köhnen, E., Li, B., Magomedov, A., Hempel, H., Caprioglio, P., ... & Albrecht, S. Monolithic perovskite/silicon tandem solar cell with > 29% efficiency by enhanced hole extraction. Science, 370(6522), 1300-1309. 2020.
- Assis, Y.P.A.S., Porto, L.A., Melo, N.F.A.C., Palheta, G.D.A., Luz, R.K., Favero, G. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS), Aquaculture, Volume 529, 2020, 735689, 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689>.
- Babaei, S., Abedian-Kenari, A., Naseri, M., Yazdani-Sadati, M. A., Metón, I. Impact of starvation on digestive enzymes activities and plasma metabolites in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Aquaculture Research, 51, 2020. <https://doi.org/10.1111/are.14515>.
- Barbosa, A. P. D., Kosten, S., Muniz, C. C., Oliveira-Junior, E. S. From feed to fish—Nutrients' fate in aquaculture systems. Applied Sciences, v. 14, n. 14, p. 6056, 2024. DOI: 10.3390/app14146056.
- Bligh, E. G. W. J. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37:911-917, 1957.
- Britto, A.C.P.de et al. Rendimento corporal e composição química do filé da viola (*Loricariichthys anus*). Cienc. anim. bras., Goiânia, v.15, n.1, p. 38-44, jan./mar. 2014
- Burgos-Aceves, M. A., Abo-Al-Ela, H. G., & Faggio, C. Physiological and metabolic approach of plastic additive effects: Immune cells responses. Journal of hazardous materials, 404, 124114. 2021.
- Cotrim, T. S., Fornari, D. C., Araujo, C. V., Magalhães, C. U. B., Aguiar, D. H. The compensatory growth of skeletal muscle cells in Amazonian catfish (*Pseudoplatystoma reticulatum* female x *Leiarius marmoratus* male). Scientific Eletronic Archives, v. 9, n. 2, p. 53-66. 2016.
- Cotrim, T.S. Restrição alimentar parcial em juvenis de Tambaqui (*Colossoma Macropomum*). 2023. 132p. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.
- da Silva França, E., dos Santos Marinho, J., da Silva Cândido, T. R., Lins, U. M. D. B. L., da Silva Andrade, R. F., de Campos-Takaki, G. M., ... & Okada, K. Detecção de esterase e lipase produzidas por fungos filamentosos isolados de solos da Caatinga. Brazilian Journal of Development, 6(11), 91693-91709. 2020.

- da Silva Menezes, M. E., Lira, G. M., de OMENA, C. M. B., de FREITAS, J. D., & Sant'Ana, A. E. G. (2008). Composição centesimal, colesterol e perfil de ácidos graxos dos peixes tainha (*Mugil cephalus*) e camurim (*Centropomus undecimalis*) da Lagoa Mundaú, AL/Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 67(2), 89-95.
- de Souza, N. E., Matsushita, M., Franco, M. R. B., do Prado, I. N., & Visentainer, J. V. (2005). Composição química, perfil de ácidos graxos e quantificação dos ácidos α -linolênico, eicosapentaenóico e docosahexaenóico em vísceras de tilápias (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Technology*, 27(1), 73-76.
- Detmann, E., Queiroz, A. C., Cabral, L. S. Avaliação do nitrogênio total (proteína bruta) pelo método de Kjeldahi. In: Detmann, E. et al. *Métodos para análise de alimentos*. Viscondi do Rio Branco, MG: Suprema, 2012. (51) – (61).
- Dorce, L. S., Mendonça, W. C. B., Siqueira, M. S., Santos, R. F. B., Sousa, R. M., Ziemniczak, H. M., & da Silva, C. A. H. Atividade das enzimas digestivas frente a restrição alimentar de peixes ornamentais. *Agrarian*, 13(47), 107-113, 2020.
- Dobson, S. H.; Holmes, R. M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology*, v. 25, n. 6, p. 649–656, 1984.
- Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S., Oliva-Teles, A. Nutritional regulation of hepatic glucose metabolism in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 35, n. 3, p.519-539, 2009.
- Farias, K. N. N. Efeitos da restrição alimentar e realimentação sobre parâmetros biométricos, bioquímicos e morfológicos em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). 2023. 94 f. *Tese (doutorado)* - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. 2023. Disponível em: < <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/5763>>.
- Favero, G., Gimbo, R.Y., Montoya, L.N.F., Carneiro, D.J., Urbinati, E.C. A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. *Aquaculture*. 524, 735242, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735242>
- Favero, G.C., dos Santos, F.A.C., da Costa Júlio, G.S., Pedras, P.P.C., Ferreira, A.L., de Souza e Silva, W., Ferreira, N.S., do Carmo Neves, L., Luz, R.K. Effects of short feed restriction cycles in *Piaractus brachypomus* juveniles. *Aquaculture*. 536, 2021. 736465. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736465>
- Favero, G.C., Gimbo, R.Y., Franco Montoya, L.N., Zanuzzo, F.S., Urbinati, E.C. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Research*. 49, 359–366, 2018. <https://doi.org/10.1111/are.13466>

- Favero, G. C.; Boaventura, T. P.; Ferreira, A. L.; Silva, A. C. F.; Porto, L. A.; Luz, R. K. 2019. Fasting/re-feeding and water temperature promote the mobilization of body reserves in juvenile freshwater carnivorous catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture*, 734223. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734223>
- Fazio, F., Faggio, C., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Piccione, G. Comparative study of haematological profile on *Gobius niger* in two different habitat sites: Faro Lake and Tyrrhenian Sea [Étude comparative du profil hématologique de *Gobius niger* dans deux habitats différents: Le lac de Faro et la Mer Tyrrhénienne]. *Cahiers de Biologie Marine* 53, 213–219, 2012.
- Frøystad, M. K. et al. Cloning and characterization of α -amylase from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 145, n. 4, p. 479–492, 2006.
- García-Carreño, F. L., & Haard, N. F. Characterization of proteinase classes in langostilla (*Pleuroncodes planipes*) and crayfish (*Pacifastacus astacus*) extracts. *Journal of Food Biochemistry*, 17(2), 97–113. 1993.
- Gallardo-Collí, A. L., González-López, M. R., Ramírez, J. S. Manejo alimentar na piscicultura: estratégias e impactos no desempenho dos peixes. *Aquaculture Research*, v. 51, n. 4, p. 2332–2342. 2020.
- glucose, and lipid metabolism in two strains of gibel carp. *Front. Vet. Sci*, v. 6, p. 165. 2019.
- Hernandez, C. H. et al. Effect of density of harvest on the growth performance and profitability of hatchery-reared spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) cultured in floating net cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 47, n. 5, p. 646–657, 2017.
- Honorato, C.A., De Almeida, L.C., Camilo, R.Y., Moraes, G., Nunes, C.D.S., Carneiro, D.J. Dietary carbohydrate and food processing affect the digestive physiology of *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition* 2016 22; 857–864. doi: 10.1111/anu.12308
- Honorato, C. A. et al. Efeito do processamento de dietas com diferentes níveis de carboidratos e lipídios no perfil de ácidos graxos do filé de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6), 1338–1344.
- Honorato, C. A., Souza, R. M., Santos, R. F. B., Neu, D. H., & Carneiro, D. J. Crescimento e alterações morfológicas no intestino de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): diminuição da farinha de peixe em dietas com níveis de proteína bruta.

Medicina Veterinária, 15(4), 404-412. 2021.

Houston, S.J.S., Karalazos, V., Tinsley, J., Tocher, D.R., Monroig, O. Compositional and metabolic responses of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) to a dietary gradient of long-chain ($\geq$ C20) polyunsaturated fatty acids, *Aquaculture*, v. 580, p. 740304, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740304>.

Kramer, D. L., & Bryant, M. J. (1995) - Intestine length in fishes of the Central Amazon: relationships with diet and life history.

Kubitza, F. A onda da criação de peixes em caixas d'água. *Panorama da Aquicultura*, ed. 167, 2018. Disponível em: A onda da criação de peixes em caixas d'água | Revista Panorama da Aquicultura (panoramadaaquicultura.com.br). Acesso em: 20/05/2023.

Laczynska, B. et al. Early weaning effects on survival, growth, and histopathology of larval sterlet *Acipenser ruthenus*. *North American Journal of Aquaculture*, v. 82, n. 2, p. 181-189, 2020.

Li, H., Xu, W., Jin, J., Zhu, X., Yang, Y., Han, D., Liu, H., Xie, S. Effects of dietary carbohydrate and lipid concentrations on growth performance, feed utilization, starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture*, v. 496, p. 166-175. 2018.

Liu, B., Guo, H.Y., Liu, B.S., Zhang, N., Yang, J.W., Guo, L., Jiang, S.G., Zhang, D.C. A fome e a realimentação influenciam o crescimento, o índice bioquímico, a microbiota intestinal e os perfis transcriptômicos do pampo dourado *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758). *Front. Mar. Sci.* 9:998190. 2022. doi: 10.3389/fmars.2022.998190

Lovell, T. *Nutrition and Feeding of Fish*. Boston, MA: Springer US, 1992.

Maia, E. L., & Rodriguez-Amaya, D. B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 53(1/2), 27-35. 1993.

Mattioli, C.C., Takata, R., Leme, F.O.P., Costa, D.C., Filho, R.M., Silva, W.S., Luz, R.K., 2017. The effects of acute and chronic exposure to water salinity on juveniles of the carnivorous freshwater catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture* 481, 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.016>

Mccue, M. D. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 156, n. 1, p. 1-18, 2010.

Miglavs, I.; Jobling, M. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular respect to

compensatory growth. 1989.

Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M., Portella, M.C. 2018. Depletion of stored nutrientes during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. J. App. Aquaculture, 30, 157-173. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>.

Oliveira, J. L. et al. Uso da restrição alimentar no manejo nutricional de peixes: impactos econômicos e zootécnicos. Revista Brasileira de Aquicultura, v. 12, n. 3, p. 215–228, 2020.

Ostaszewska, T., Korwin-Kossakowski, M., & Wolnicki, J. Morphological changes of digestive structures in starved tench *Tinca tinca* (L.) juveniles. Aquaculture International, 14, 113-126. 2006.

Pérez-Jiménez, A., et al. Nutrient Mobilization and Growth Responses of Fish to Food Restriction and Realimentation. *Aquaculture*, v. 264, n. 1-4, p. 89-98. 2007.

Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., Hiane, P. A., & Souza, E. M. T. D. (2008). Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. Food Science and Technology, 28, 361-365.

Ranzani-Paiva, M. J. T., Tavares-dias, M., Egami, M.I. Métodos para análise hematológica em peixes. EDUEM ed. Maringá, 213 p. ISBN 978-85-7628-653-0. 2013. Available from Scielo Books <https://doi.org/10.7476/9788576286530>

Ranzani-Paiva, M. J. T., Tavares-dias, M., Egami, M.I. Métodos para análise hematológica em peixes. EDUEM ed. Maringá, 213 p. ISBN 978-85-7628-653-0. 2013. Available from Scielo Books <https://doi.org/10.7476/9788576286530>

Rios, F. S. A., Donatti, L., Fernandes, M. N., Kalinin, A. L., Rantin, F. T. Effects of food deprivation in muscle structure and composition of traíra (*Hoplias malabaricus*): potential implications on flesh quality. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, p. 465-471. 2009.

Rodrigues, R.A.; Saturnino, K.C.; Fernandes, C.E. Liver histology and histomorphometry in hybrid surubim (*Pseudoplatystoma reticulatum* × *Pseudoplatystoma corruscans*) reared on intensive fish farming. *Aquaculture Research*, v. 48, n.9, p.5083–5093, 2017.

Rotta, M.A. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. Corumbá: Embrapa Pantanal, 49 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 53, 2003.

Rossi, A., Cazenave, J., Bacchetta, C., Campana, M., Parma, M.J. Physiological and metabolic adjustments of *Hoplosternum littorale* (Teleostei, Callichthyidae) during

- starvation. *Ecological indicators*, v.56, p.161-170, 2015.
- Saita, M. V. Parâmetros produtivos, fisiológicos e imunológicos de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos à restrição alimentar e estresse de manejo. 2011. 49 f. *Dissertação (mestrado)* - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/86745>>.
- Santos, L. D. D., Furuya, W. M., Silva, T. S. D. C., Michelato, M., & Matsushita, M. (2009). Ácido linoléico conjugado em dietas para pacu: tempo de deposição, desempenho e perfil de ácidos graxos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 980-988.
- Secor, S. M., & Diamond, J. Adaptive responses to feeding in *Burmese pythons*: pay before pumping. *Journal of Experimental Biology*, 198(6), 1313-1325. 1995.
- Sehonova, P. et al. Effects of waterborne antidepressants on non-target animals living in the aquatic environment: a review. *Science of the Total Environment*, v. 631, p. 789-794, 2018.
- Siqueira, T. V. Aquicultura: a Nova Fronteira para Aumentar a Produção Mundial de Forma Sustentável. *Revista do BNDES*, v. 25, n. 49, p. 119–170, 2017.
- Souza, M. A., Valadares Filho, S. C., Detmann, E. Avaliação das cinzas ou matéria mineral. In: Detmann, E. et al. Métodos para análise de alimentos. Viscondi do Rio Branco, MG: Suprema, 2012. (41) – (50).
- Souza, V. L. Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no crescimento e metabolismo energético de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotammicus* Holmberg, 1887). 1998.
- Souza, F. R., Ferreira, M. A., & Evangelista-Barreto, N. S. Aplicação de micro-organismos e algas como probióticos, prebióticos e simbióticos na aquicultura. In *Open Science Research IV* (Vol. 4, pp. 140-157). Editora Científica.
- Souza, V. L., Urbinati, E. C., Gonçalves, D. C., Silva, P. C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (*Osteichthyes*, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Acta Scientiarum - Biological and Health Sciences*, v. 24, n. 2, p. 533–540, 2002.
- Souza, V. L., Urbinati, E. C., Martins, M. I. E. G., Silva, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 1, p. 19–28, fev. 2002b. Digital. 2023.
- Tavares-Dias, M., Bozzo, F. R., Silva Sandrin, E. F., Campos-Filho, D., & De Moraes, F. R. Células sanguíneas, eletrólitos séricos, relação hepato e esplenosomática de carpa-

comum, *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) na primeira maturação gonadal. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 73-80. 2004.

Tokunaga, K. et al. Economic viability of alternative feed strategies in aquaculture: a case study from Hawaii. *Aquaculture Economics & Management*, v. 19, n. 4, p. 465–482, 2015.

Torfi Mozanzadeh, M., Yavari, V., Marammazi, J. G., Agh, N., & Gisbert, E. Optimal dietary carbohydrate-to-lipid ratios for silvery-black porgy (*Sparidentex hasta*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 23(3), 470-483. 2017.

Valladão, G.M.R., Gallani, S.U., Pilarski, F. South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, v.10, p.351-369, 2018.

Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., Cai, F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. *Aquaculture*, v. 189, p. 101-108. 2000.

Wu, B. J.; Hulbert, A. J.; Storlien, L. H.; Else, P. L. Membrane lipids and sodium pumps of cattle and crocodiles: an experimental test of the membrane pacemaker theory of metabolism. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 287, n. 3, p. R633–R641, 2000.

Xu, H., et al. Lipid and fatty acid composition in juvenile rainbow trout fed diets supplemented with different lipid sources. *Aquaculture Research*. 2011.

Zeng, W. C., Zhang, Z., Gao, H., Jia, L. R., & Chen, W. Y. Characterization of antioxidant polysaccharides from *Auricularia auricular* using microwave-assisted extraction. *Carbohydrate polymers*, 89(2), 694-700. 2012.

CAPÍTULO 3

Ganho compensatório do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) após restrição alimentar e realimentação na fase de terminação em tanques-rede: efeitos fisiológicos, nutricionais e na composição centesimal de filés

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico Aquaculture.

Ganho compensatório do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) após restrição alimentar e realimentação na fase de terminação em tanques-rede: efeitos fisiológicos, nutricionais e na composição centesimal de filés

Resumo

A estratégia de jejum e realimentação é promissora para reduzir custos e atender ao mercado, promovendo sustentabilidade e competitividade, contudo, avaliar impactos no crescimento e no metabolismo na fase final do cultivo é crucial para validar sua aplicação a campo. Este experimento foi conduzido em tanques-rede em propriedade rural, com o objetivo de avaliar pacus (*Piaractus mesopotamicus*) na fase de terminação, submetidos a ciclos de restrição alimentar/realimentação comparados com alimentação contínua, avaliando o desempenho zootécnico, composição centesimal de filés, enzimas digestivas, parâmetros hematológicos, bioquímicos e perfil lipídico. O experimento teve duração de 60 dias. Os peixes ($n = 800$; $642,91 \pm 15,36$ g e $31,59 \pm 2,29$ cm) foram distribuídos aleatoriamente em dois tratamentos, sendo eles: 15A/15R –peixes que passaram por dois ciclos de restrição alimentar de 15 dias seguido por 15 dias de realimentação; e o controle –alimentados continuamente. Os peixes foram alimentados com 2,5% da biomassa duas vezes ao dia. Cada tratamento teve quatro repetições. Os parâmetros da qualidade de água foram mensurados semanalmente, sendo eles: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, amônia e nitrito. As coletas para avaliação de desempenho zootécnico, índice hepatossomático e quociente intestinal, composição centesimal, enzimas digestivas, parâmetros hematológicos, bioquímicos e ácidos graxos foram realizadas a cada 15 dias. Todos os dados foram avaliados quanto a normalidade e homoscedasticidade de variâncias. Os resultados foram submetidos a ANOVA, e em seguida, teste Tukey. Houve maior ganho de peso e consumo de ração no grupo controle, mas sem diferenças significativas nos demais índices zootécnicos, indicando ganho compensatório parcial. O índice hepatossomático e quociente intestinal, refletiram adaptações fisiológicas e desenvolvimento digestório. A atividade da amilase apresentou interação entre tratamento (estratégias alimentares) e tempos de coletas, aos 45 dias, houve aumento de 66,06% nos peixes do tratamento 15R/15A. Não houve interação significativa para os parâmetros de composição centesimal de filés. O teor de proteína bruta e umidade foram significativamente maiores para os peixes 15R/15A. Não houve interação entre tratamento e tempos de coleta para os parâmetros de hemograma avaliados. A análise metabólica revelou estabilidade nos níveis de glicose e colesterol entre os grupos. Apesar do aumento (68,36%) de triglicerídeos no grupo 15A/15R, os resultados destacam a capacidade do pacu em manter reservas energéticas e responder adequadamente ao manejo alimentar. Os ácidos graxos essenciais, como o ácido eicosatrienoico ômega-3 e ácido dihomo-gama-linolênico foram observados em maiores valores no 15A/15R. A restrição alimentar e realimentação de 15 dias, não afeta o desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* na fase de terminação no cultivado em tanque-rede, bem como, não causa danos a saúde dos peixes. A espécie demonstra adaptação metabólica para ajustar-se nos períodos de jejum. Este estudo propõe práticas eficientes e sustentáveis, contribuindo e fortalecendo a piscicultura, além de valorizar o *P. mesopotamicus* como um pescado saudável e de alta qualidade.

Palavras-chave: Jejum, pescado de qualidade, peixes nativos, tecnologias sustentáveis.

Compensatory growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) after dietary restriction and refeeding during the finishing phase in net cages: physiological, nutritional effects, and fillet proximate composition.

Abstract

The fasting and refeeding strategy is a promising approach to reducing costs and meeting market demands while promoting sustainability and competitiveness. However, assessing its impacts on growth and metabolism during the final phase of cultivation is crucial to validating its field application. This experiment was conducted in net cages on a rural property to evaluate pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during the finishing phase, subjected to cycles of feed restriction and refeeding, compared to continuous feeding. The study assessed zootechnical performance, centesimal composition of fillets, digestive enzymes, hematological and biochemical parameters, and lipid profile. The experiment lasted 60 days. The fish ($n = 800$; 642.91 ± 15.36 g and 31.59 ± 2.29 cm) were randomly assigned to two treatments: 15A/15R – fish subjected to two cycles of 15-day feed restriction followed by 15 days of refeeding. Control – fish continuously fed. The fish were fed at 2.5% of their biomass twice daily. Each treatment had four replicates. Water quality parameters, including temperature, dissolved oxygen, pH, ammonia, and nitrite, were measured weekly. Sampling for the evaluation of zootechnical performance, hepatosomatic index, intestinal quotient, centesimal composition, digestive enzymes, hematological and biochemical parameters, and fatty acids was conducted every 15 days. All data were assessed for normality and homoscedasticity of variances. The results were subjected to ANOVA, followed by Tukey's test. The control group showed greater weight gain and feed intake, but there were no significant differences in other zootechnical indices, indicating partial compensatory growth. The hepatosomatic index and intestinal quotient reflected physiological adaptations and digestive development. Amylase activity showed an interaction between treatment (feeding strategies) and sampling times, with a 66.06% increase at 45 days in the 15A/15R group. There was no significant interaction for the centesimal composition of fillets. However, crude protein and moisture content were significantly higher in the 15A/15R group. No interaction was observed between treatment and sampling times for hematological parameters. Metabolic analysis revealed stable glucose and cholesterol levels between groups. Despite a 68.36% increase in triglycerides in the 15A/15R group, the results highlight the pacu's ability to maintain energy reserves and respond effectively to feeding management. Essential fatty acids, such as omega-3 eicosatrienoic acid and dihomo-gamma-linolenic acid, were found in higher concentrations in the 15A/15R group. A 15-day feed restriction and refeeding cycle does not affect the zootechnical performance of *P. mesopotamicus* during the finishing phase in net-cage farming, nor does it cause harm to fish health. The species demonstrates metabolic adaptation to fasting periods. This study proposes efficient and sustainable practices, contributing to and strengthening aquaculture while enhancing the value of *P. mesopotamicus* as a healthy and high-quality fish product.

Keywords: Fasting, quality fish, native fish, sustainable technologies.

1. Introdução

O estudo do ganho compensatório em peixes tem despertado crescente interesse na aquicultura, pois oferece uma estratégia eficaz que otimiza o uso de recursos naturais, melhora o desempenho zootécnico e reduz custos de produção (Litaiff et al., 2023; Garcez et al., 2023; Leal et al., 2024). O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma das espécies de maior relevância na piscicultura brasileira, devido sua grande utilização em piscicultura, rusticidade e ampla aceitação no mercado (Boscolo et al., 2011). Nesse contexto, a prática de ciclos de jejum seguidos de realimentação surge como uma abordagem promissora, capaz de explorar respostas nutricionais e fisiológicas adaptativas dos peixes.

A estratégia de restrição alimentar e realimentação tem sido amplamente utilizada na piscicultura para modular o crescimento dos peixes e reduzir os custos de produção. Em algumas espécies, esse manejo resulta em crescimento compensatório, um fenômeno em que os peixes submetidos a jejum parcial conseguem recuperar o crescimento quando realimentados. Contudo, a magnitude desse efeito pode variar conforme o sistema de cultivo, a espécie e as condições ambientais (Palma et al., 2010; Santos et al., 2010; Oliveira et al., 2020).

No sistema de tanques-rede, utilizado comercialmente para a engorda do pacu, a dinâmica da restrição alimentar pode ser diferente devido às variações ambientais, como temperatura, oxigenação e interações sociais entre os peixes. Assim, compreender os efeitos da restrição alimentar sobre o desempenho zootécnico, a composição centesimal e os parâmetros metabólicos em peixes cultivados nesse sistema é essencial para validar essa estratégia como uma alternativa viável na produção comercial.

Do ponto de vista comercial, a restrição alimentar pode oferecer uma vantagem significativa, já que pode reduzir a deposição de gordura na carcaça, ajustando o produto às crescentes demandas dos consumidores por alimentos saudáveis e com menor teor lipídico. Essa prática não só melhora a qualidade nutricional do peixe, mas também pode agregar valor ao produto final, ampliando sua aceitação no mercado (Jobling, 2014; Acunha, 2021). A redução da gordura corporal, promovida pela restrição alimentar e realimentação, é especialmente vantajosa na fase de terminação, quando os peixes estão próximos do abate.

Estratégias que controlam a deposição de gordura sem comprometer o crescimento ou o rendimento da carcaça são altamente desejáveis, pois contribuem para a produção de um peixe mais magro, com características sensoriais e nutricionais aprimoradas (Ali et al., 2003; Favero et al., 2018; Ahmad Dar et al., 2018).

Apesar dos avanços, há lacunas significativas no entendimento dos efeitos da restrição alimentar e do ganho compensatório no pacu, particularmente na fase de engorda. Assim, este estudo investiga os efeitos da restrição alimentar e realimentação sobre o crescimento compensatório e a composição corporal do pacu cultivado em tanques-rede. A hipótese central é que os peixes serão capazes de recuperar o peso corporal e apresentar um perfil metabólico favorável, sem impactos negativos na qualidade dos filés.

2. Material e Métodos

Aprovação ética

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul- UEMS/Aquidauana, MS, Brasil, sob o protocolo nº 015/2019.

Animais e aclimação

Durante um período de avaliação de desempenho zootécnico de 60 dias, foram utilizados 800 exemplares de *Piaractus mesopotamicus* com peso médio inicial de $642,91 \pm 15,36$ g e comprimento de $31,59 \pm 2,29$ cm. Os animais eram provenientes da piscicultura da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), localizada no município de Aquidauana, MS, Brasil.

O experimento foi conduzido em uma propriedade particular no município de Nioaque, MS, Brasil (20° 29' 01" S, 55° 48' 25" O). A represa, com 0,5 ha de lâmina d'água, possuía renovação constante de água proveniente de uma nascente natural. Os peixes foram alocados em oito tanques-rede de 4 m³ (2,0 x 2,0 x 1,5 m), instalados linearmente com um espaçamento de um metro entre eles e a uma altura de três metros acima do fundo da represa. Cada tanque-rede foi povoado com 100 peixes (densidade de 25 peixes m⁻³). Antes do início da avaliação experimental, foi realizado um período de aclimação de 15 dias.

Os peixes receberam ração comercial extrusada (granulometria de 8 mm) com 28% de proteína bruta, 6,5% de extrato etéreo, 7% de fibra bruta e 10% de matéria mineral (Supra, Acqualine, Rio Claro, SP, Brasil). A alimentação foi realizada duas vezes ao dia (9h e 16h), com uma taxa de 2,5% da biomassa. A mesma ração foi utilizada durante a aclimação e o experimento, e a quantidade foi reajustada quinzenalmente após o manejo biométrico.

Os parâmetros de qualidade da água foram medidos semanalmente utilizando um medidor multiparâmetro (Hanna HI98194). Os valores obtidos foram: temperatura ($28,39 \pm 2,27$ °C); pH ($6,36 \pm 0,64$ mg L⁻¹); oxigênio dissolvido ($6,14 \pm 1,21$ mg L⁻¹), e amônia tóxica e nitrito em $0,00 \pm 0,00$ mg L⁻¹ (determinados usando um kit colorimétrico Alfakit Labcon Test).

Grupos experimentais

Os peixes foram distribuídos aleatoriamente em dois tratamentos: 15R/15A (15 dias de restrição seguidos por 15 dias de realimentação) e controle (alimentação diária). Cada tratamento foi conduzido com quatro repetições cada, sendo cada tanque-rede considerado uma repetição (unidade experimental = UE). Os peixes do 15R/15A passaram por dois ciclos consecutivos de restrição alimentar e realimentação (totalizando 60 dias), já o controle, recebeu alimentação contínua.

Ao término do período de aclimação, os peixes foram submetidos a um jejum prévio de 24 horas, seguidos de anestesia com eugenol (50 mg L⁻¹) para a realização da biometria inicial. O peso corporal foi determinado com o auxílio de uma balança digital de alta precisão (Toledo Pnix® 3 Plus), enquanto o comprimento total foi medido utilizando um ictiômetro (Rotta et al., 2003). Esses dados foram utilizados para o cálculo da densidade estocada em cada UE e para a determinação da quantidade de ração a ser fornecida diariamente durante o experimento. Os ajustes na oferta de ração foram realizados quinzenalmente após o manejo biométrico.

Nos dias 15, 30 e 45, todos os peixes foram contados, e 50% de cada UE foram pesados e medidos, 16 peixes por tratamento foram anestesiados e foi realizado a colheita sanguínea para análises hematológicas e bioquímicas. Posteriormente esses peixes amostrados foram eutanasiados com sobredose de eugenol (285 mg L⁻¹, seguindo a recomendação de Mattioli et al., 2017), necropsiados (n=8/tratamento) para coleta de fígado e intestino para avaliar índice hepatossomático e quociente intestinal e para coleta do trato digestivo (n=8/tratamento) (estômago e intestino) para análise de enzimas digestivas. Desses mesmos peixes (16/tratamento) que foram utilizados para coleta de tecidos, foram também, coletados filés de 12 peixes de cada tratamento para análises de ácidos graxos (filé do lado direito) e composição centesimal (filé do lado esquerdo).

Ao final do experimento (60 dias), todos os peixes foram contados, pesados e medidos para avaliar o desempenho zootécnico. Além da amostragem dos peixes para análises citadas anteriormente, coletou-se a gordura visceral de oito peixes por tratamento

para calcular o índice de gordura visceral. O diagrama esquemático da amostragem experimental está representado na Figura 1.

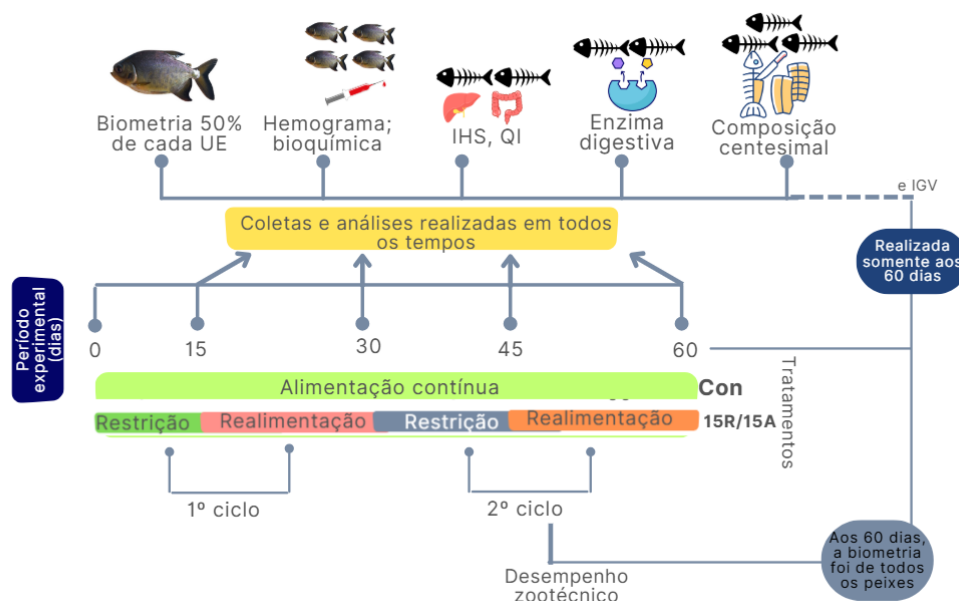


Figura 1. Diagrama experimental, composto de tempos de amostragem e coletas para análises. Fonte: A autora.

Parâmetros de desempenho zootécnico

Após obtenção dos dados biométricos, foram determinados os seguintes índices zootécnicos: ganho de peso (GP) (g) = peso médio final – peso médio inicial; consumo de ração (C) (g) = ração fornecida dia^{-1} (g) x nº total de dias referente ao período experimental; conversão alimentar aparente (CA) = ração fornecida (g) / GP (g); taxa de crescimento específico (TCE) (%) = $[100 \times (\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) \text{ dias de experimento}^{-1}]$; taxa de eficiência proteica (TEP) (%) = $\text{GP} / (\text{C} \times \% \text{ de proteína da ração}) \times 100$; taxa de sobrevivência (TS) (%) = $(\text{número final de peixes} / \text{número inicial de peixes}) \times 100$; fator de condição alométrico de Fulton (K) = $100 \times \{\text{peso final (g)} / \text{comprimento total final (cm)}^3\}$.

Índices hepatossomático e quociente intestinal

Após a eutanásia, amostras de fígado, intestino e gordura visceral foram removidos, pesados com mini balança digital de alta precisão portátil (Pocker Scale, Mh-series) e medidos com régua, para a determinação do índice hepatossomático e quociente intestinal, respectivamente, utilizando as seguintes fórmulas: índice hepatossomático (IHS) (%) = $(\text{peso do fígado (g)} / \text{peso corporal do peixe (g)}) \times 100$; quociente intestinal

(QI) = comprimento do intestino / comprimento padrão do peixe; índice de gordura visceral (IGV) = (peso da gordura visceral (g) / peso corporal do peixe (g)) x 100.

Composição centesimal de filés

As amostras de filé foram inicialmente moídas por 5 segundos em processador (Philips Walita, RI7625/71), em seguida, cerca de 100 g de amostra foram pesadas de forma individual em balança semi analítica (Marte, UX620H) em bandejas retangulares (alumínio, capacidade 100 ml) devidamente taradas, e, em seguida, submetidas a secagem em estufa com ventilação forçada a 105 °C por 72 h (Nova instruments, NL1514). Após a secagem, foram novamente pesadas para determinação da amostra seca em estufa (ASE) e obtenção do teor de umidade (U). Posteriormente, foram congeladas, trituradas em moinho (Splabor, SP-35) por cinco minutos, para padronização do tamanho das partículas, e armazenadas a -25 °C até o momento do processamento das análises bromatológicas.

A determinação do nitrogênio total foi realizada utilizando o método de Kjeldahl, conforme descrito por Detmann et al. (2012). O teor de cinzas ou matéria mineral (MM) foi determinado por incineração das amostras (1,00 g) em forno mufla a 550 °C (Novus, N1040), até obtenção de peso constante. O procedimento seguiu o protocolo descrito por Souza et al. (2012).

Análises enzimáticas

O trato digestivo (estômago e intestino) foi extraído por meio de uma incisão longitudinal na região ventral dos peixes e imediatamente congelado a -80 °C até o momento das análises. Durante o processamento, o trato digestivo foi pesado em balança analítica (Shimadzu, ATY 224R), seccionado, com auxílio de bisturi, em pequenos fragmentos em placas de Petri, e depois foi transferido para béquer de volume útil de 500 ml, sendo diluído em água destilada resfriada na proporção de 1:6 (p/v). A homogeneização foi realizada em banho ultrassônico (Unique, Maxiclean 1400), com cinco ciclos de um minuto de sonicação intercalados com um minuto de resfriamento em banho de gelo, para romper as células do tecido digestivo e liberar as enzimas digestivas.

O material foi centrifugado a 4.000 rpm por 15 minutos (Quimis, Q222TM2), e o sobrenadante resultante foi utilizado para determinar a atividade enzimática digestiva. Todas as análises foram realizadas em triplicata, conforme descrito por García-Carreño e Haard (1993).

A atividade da protease alcalina foi determinada utilizando caseína (0,5% p/v) como substrato, preparada em tampão Tris-HCl (50 mM, pH 8.0). O extrato enzimático foi incubado com o substrato por 30 minutos a 25 °C, e a reação foi interrompida com adição de ácido tricloroacético (TCA, 20% p/v). Após centrifugação (4.000 rpm, 20 minutos), a absorbância do sobrenadante foi medida a 280 nm em temperatura ambiente. Uma unidade de atividade de protease (U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de hidrolisar um μ mol de caseína por minuto por mililitro de extrato enzimático (García-Carreño e Haard, 1993).

A atividade da amilase foi determinada utilizando amido solúvel (0,3% p/v) como substrato, dissolvido em solução tampão de Na_2HPO_4 (pH 7,4). O extrato enzimático foi incubado com o substrato por 5 minutos a 37 °C, e a reação foi avaliada pela medição da absorbância a 580 nm. Uma unidade de atividade da amilase (U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de hidrolisar um mg de amido em 10 minutos por mililitro de extrato enzimático, conforme descrito por Métais e Bieth (1968).

Análises sanguíneas e bioquímicas

Alíquotas de sangue foram utilizadas na determinação da porcentagem de hematócrito (Ht) (Nova, SG120) pelo método do microhematócrito (Goldenfarb et al., 1971); e para concentração de hemoglobina (Hb), quantificada pelo método de cianometahemoglobina com kit comercial (Latest, São Paulo, Brasil; código 43). O número de hemácias (RBCs) foi contado em uma câmara de Neubauer sob um microscópio óptico (Axio Scope.A1 Zeiss®; 40 x) usando uma diluição de 1:200 em solução de formaldeído-citrato. Os seguintes índices hematimétricos foram então calculados: volume corpuscular médio (VCM) = $\text{Ht} \times (10/\text{RBC's})$, concentração média de hemoglobina corpuscular (CHCM) = $\text{Hb} \times (100/\text{Ht})$ e hemoglobina corpuscular média (HCM) = $10 \times (\text{Hb}/\text{RBC's})$.

Após a colheita sanguínea, foi imediatamente quantificada a glicemia (mg dL^{-1}), utilizando alíquotas de sangue com auxílio de glicosímetro digital (G-tech, Lite); e em laboratório, foi quantificado o colesterol (mg dL^{-1}), triglicerídeos (mg dL^{-1}) e lactato (mmol dL^{-1}), utilizando alíquotas de sangue em tiras específicas para cada parâmetro medidos no equipamento digital (Accu-trend plus, Roche).

Análise de lipídeos totais e perfil de ácidos graxos

As análises de ácidos graxos foram conduzidas com base na fração lipídica obtida

do filé dos peixes. Para a extração dos lipídios totais, empregou-se o método de Bligh e Dyer (1959), utilizando solventes metanol e clorofórmio em proporções padronizadas, conforme descrito no protocolo original.

Após a extração, a fração lipídica foi submetida ao processo de metilação para a conversão dos ácidos graxos em seus respectivos ésteres metílicos. Este procedimento incluiu etapas de saponificação em solução de KOH metanólico, seguidas pela metilação com H_2SO_4 e NH_4Cl em metanol. A fase lipídica metilada foi, então, extraída em hexano para posterior análise, seguindo o método descrito por Maia e Rodriguez-Amaya (1993).

A identificação e quantificação dos ésteres metílicos de ácidos graxos foram realizadas utilizando cromatografia gasosa. As análises foram conduzidas em um cromatógrafo a gás equipado com detector de ionização de chama (FID) e uma coluna capilar de sílica fundida revestida com polietilenoglicol como fase estacionária (DB-Wax, $30\text{ m} \times 0,25\text{ mm}$, J&W Scientific). As condições cromatográficas foram ajustadas para otimizar a separação e identificação dos compostos: temperatura do injetor à $250\text{ }^\circ\text{C}$; temperatura inicial da coluna de $180\text{ }^\circ\text{C}$, mantida por 20 minutos; gradiente de temperatura com incremento de $2\text{ }^\circ\text{C}$ por minuto até atingir $220\text{ }^\circ\text{C}$; temperatura do detector de $260\text{ }^\circ\text{C}$; gás de arraste hidrogênio, com fluxo de $1,1\text{ mL min}^{-1}$; gás de make-up nitrogênio, com fluxo de 22 mL min^{-1} ; volume de injeção de $1\text{ }\mu\text{L}$.

Os ácidos graxos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção das amostras com padrões comerciais de ésteres metílicos (Sigma-Aldrich). A quantificação foi realizada pelo método de normalização de área, expressando os resultados como a porcentagem relativa de cada ácido graxo em relação à área total de todos os ácidos graxos detectados.

Análise estatística

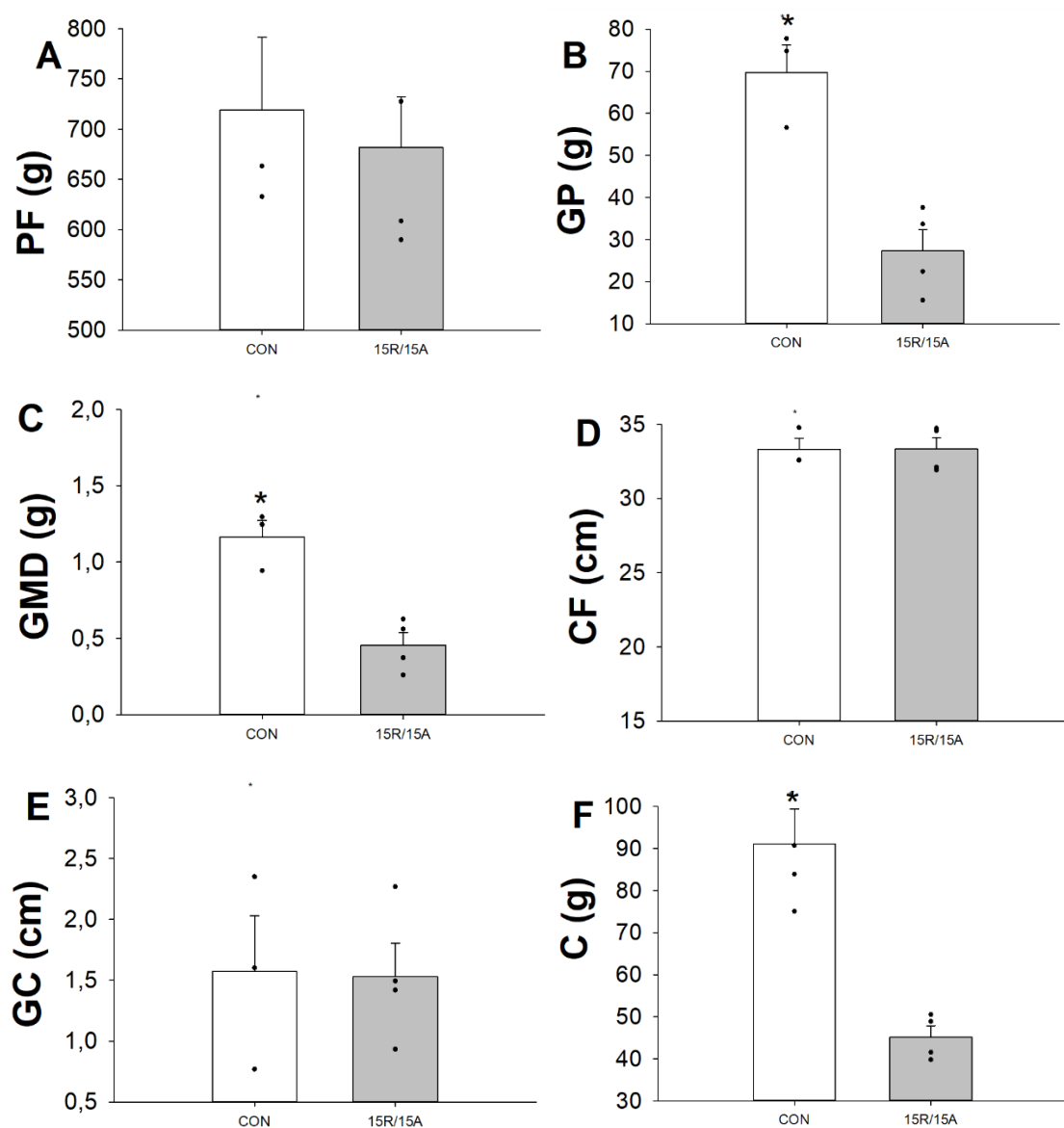
A homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Levene e pelo teste de Shapiro-Wilk, respectivamente. ANOVA bidirecional seguida pelo teste Tukey ($P < 0,05$) foram realizadas para variáveis de índice hepatossomático, quociente intestinal, enzimas digestivas, composição centesimal, hematologia e bioquímica, em esquema fatorial 2×4 , sendo dois tratamentos (15R/15A e controle) e quatro tempos de coleta (15, 30, 45 e 60 dias). Houve uma exceção para os parâmetros de eritrócitos e VCM, que foram em três tempos (30, 45 e 60 dias). ANOVA unidirecional seguida por teste Tukey ($P < 0,05$) foram realizadas para desempenho zootécnico, índice de gordura visceral e perfil de ácidos graxos e lipídeos totais ($P < 0,05$).

A análise de dados foi realizada usando R versão 4.3.1 - "Beagle scouts" Copyright©.

3. Resultados

Desempenho zootécnico, índice hepático e quociente intestinal

Os parâmetros de peso final, comprimento final, ganho em comprimento, conversão alimentar aparente, fator de condição, taxa de eficiência proteica e taxa de crescimento específico não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$). O ganho de peso, ganho de peso médio diário e consumo de ração foram 45 g, 0,8 g e 45 g superiores respectivamente, nos peixes do tratamento controle (Figura 2).



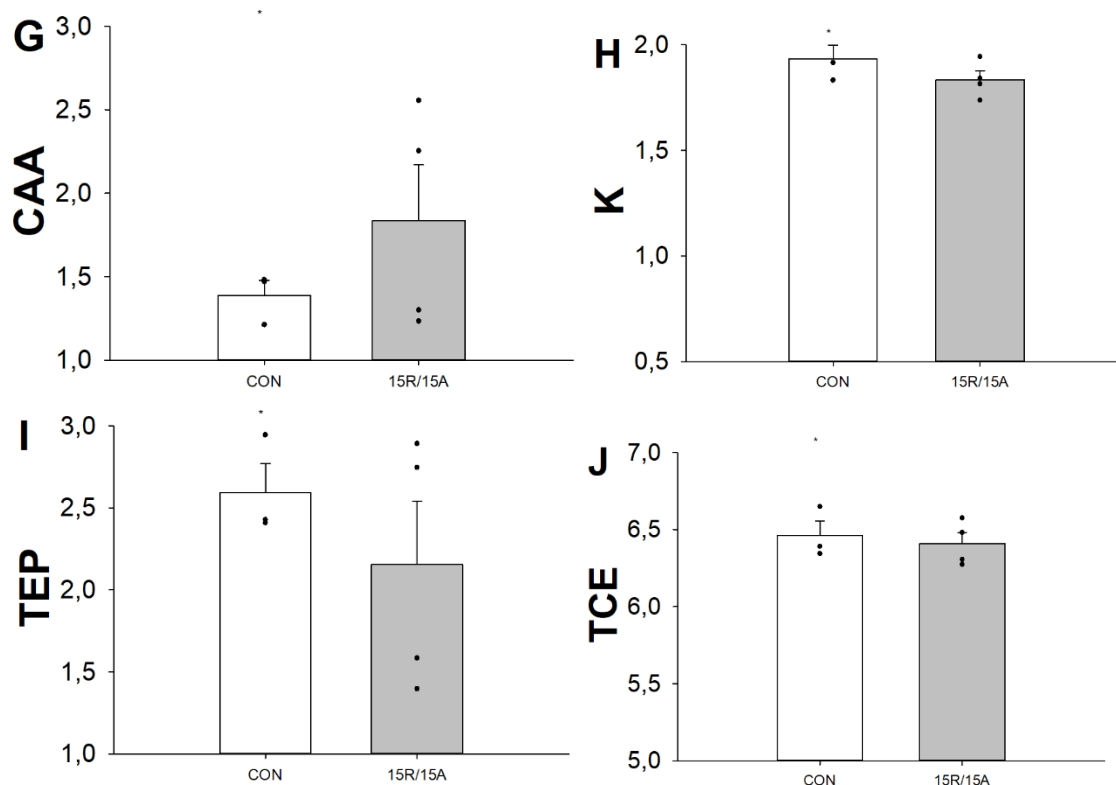


Figura 2. Desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua.

PF: peso final; GP: ganho de peso; GMD: ganho médio diário; CF: Comprimento final; GC: ganho em comprimento; C: consumo de ração; CAA: conversão alimentar aparente; K: fator de condição; TEP: taxa de eficiência proteica; TCE: taxa de crescimento específico. Médias seguidas por* diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

O índice hepatossomático apresentou aumento de 15,32% para peixes controle ($P < 0,05$). Para quociente intestinal, não houve diferença entre os tratamentos avaliados. Nos tempos, ambos parâmetros aumentaram ao longo do tempo, sendo que aos 60 dias esse aumento foi de 84,60% e 20,55%, para IHS e QI, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Médias e desvio padrão da interação significativa de índice IHS e QI de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

Tratamentos		IHS (%)		QI	
		Con	15R/15A	Con	15R/15A
Tempo de coleta (dias)	15	1,15±0,16b	0,96±0,12c	1,79±0,23	1,81±0,15b
	30	1,57±0,19a	1,49±0,24b	1,83±0,15	2,01±0,14ab
	45	1,75±0,36Aa	1,03±0,19Bc	2,05±0,27A	1,11±0,66Bc
	60	1,88±0,34a	2,00±0,34a	2,11±0,26	2,24±0,35a
Média geral		1,58±0,26	1,37±0,22	1,94±0,22	1,79±0,32
<i>P</i> do tratamento (A)		0,0012		0,0660	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		<0,0001		<0,0001	
<i>P</i> da interação (A x B)		<0,0001		<0,0001	
Coeficiente de variação (%)		17,37		17,05	

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15R/15A: tratamento com restrição alimentar e realimentação; IHS: índice hepatossomático; QI: quociente intestinal. N amostral: oito peixes/tratamento. Médias seguidas de letras maiúsculas nas linhas diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

O índice de gordura visceral (IGV) apresentou superioridade significativa de 28% para o tratamento controle (Figura 3).

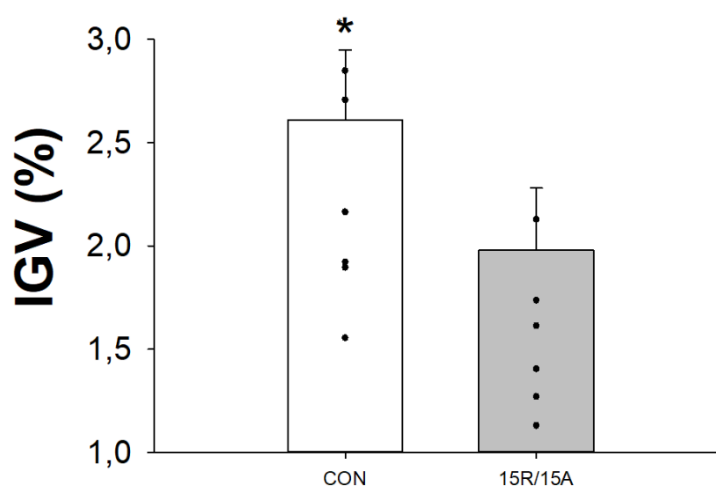


Figura 3. Médias e desvio padrão do índice de gordura visceral (IGV) de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede. Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15R/15A: tratamento com restrição alimentar e realimentação. N amostral: oito peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes diferem-se pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Composição centesimal de filés

Não houve interação significativa na composição centesimal de filés. A PB% e U% foram significativamente maiores para peixes 15R/15A. A MM% foi o único parâmetro que não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, mas, em relação aos tempos, foi observado diferença significativa, e aumento aos 15 e 45 dias.

Tabela 2. Médias e desvio padrão da composição centesimal de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

		PB%	MM%	U%
Estratégia alimentar	Con	71,43±6,93b	4,25±0,54	69,82±2,87b
	15R/15A	74,73±6,39a	4,38±0,44	71,42±1,15a
Tempo de coleta (dias)	15	76,04±7,34	4,46±0,56ab	71,45±2,42
	30	73,14±6,01	4,06±0,53c	71,10±1,97
	45	72,56±4,96	4,62±0,42a	70,36±1,98
	60	70,73±8,34	4,12±0,45bc	69,59±3,08
Média geral		73,10±6,66	4,31±0,49	70,62±2,36
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,0218	0,2124	0,0019
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0768	0,0002	0,0516
<i>P</i> da interação (A x B)		0,5780	0,6276	0,8066
Coeficiente de variação (%)		9,37	11,55	3,49

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15R/15A: tratamento com restrição alimentar e realimentação; PB: proteína bruta; MM: matéria mineral; U: umidade. N amostral: 12 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Atividade enzimática

Houve interação significativa na atividade da amilase. Aos 45 dias, houve aumento de 66,06% nos peixes do tratamento 15R/15A. Nos peixes do tratamento controle, houve redução de 54,50% aos 45 dias em relação aos tempos 15 e 30 dias, mas no tempo de 60 dias, os valores aumentaram 37,05%. Nos peixes 15R/15A, os valores reduziram aos 60 dias ($P < 0,05$) (Tabela 3).

Os valores de protease alcalina para os peixes controle foram de $6,68 \pm 4,51 \text{ U g}^{-1}$ e para os peixes 15R/15A foram de $6,66 \pm 4,63 \text{ U g}^{-1}$, e não diferiram entre tratamentos e tempos de coleta ($P > 0,05$).

Tabela 3. Médias e desvio padrão da interação significativa de amilase de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

Estratégia alimentar	Amilase (U mg ⁻¹)	
	Con	15R/15A
Tempo de coleta (dias)	15 7,88±1,75a	8,73±2,37a
	30 7,94±2,87a	7,85±1,30a
	45 3,55±2,30Bb	10,46±4,14Aa
	60 5,64±2,11ab	3,20±1,61b
Média geral	6,30±2,31	7,53±2,75
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)	0,0581	
<i>P</i> do tempo de coleta (B)	0,0001	
<i>P</i> da interação (A x B)	<0,0001	
Coeficiente de variação (%)	35,59	

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15R/15A: tratamento com restrição alimentar e realimentação. N amostral: oito peixes/tratamento. Médias seguidas de letras maiúsculas nas linhas diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Hemograma e bioquímica

Não houve interação significativa para os parâmetros de hemograma ($P > 0,005$) e não houve diferença entre os tratamentos ($P > 0,005$). Em relação aos tempos, a Hb não diferiu e o Ht e CHCM, apresentaram valores superiores aos 15 e 30 dias. O HCM em 45 e 60 dias ($P = 0,0001$) foram maiores em relação aos 15 e 30 dias. Os valores de Er reduziram 15,18% de 45 dias para 60 dias, enquanto que o VCM apresentou menores (51,05 fL) aos 45 dias em relação aos 30 e 60 dias (Tabela 4).

Não houve interação significativa para colesterol, glicose e lactato ($P > 0,05$), entre os tratamentos não apresentaram diferença significativa. Nos tempos de coleta, os níveis de colesterol foram mais altos aos 15 dias e 60 dias, enquanto o menor valor foi observado aos 30 dias. A glicose não apresentou diferença entre os tempos avaliados. Para lactato, os níveis foram mais elevados aos 15 dias ($5,68 \pm 1,21$ mmol L⁻¹), e reduziram progressivamente ao longo do tempo ($2,49 \pm 1,20$ mmol L⁻¹ aos 60 dias) (Tabela 5).

Houve interação significativa para triglicerídeos. Os valores foram superiores (68,36%) para os peixes 15R/15A ($P < 0,005$). Os valores aumentaram ao longo do tempo, e estabilizaram na faixa de $341,50 \text{ mg dL}^{-1}$ aos 45 e 60 dias (Tabela 6).

Tabela 4. Médias e desvio padrão de parâmetros hematológicos de *P. mesopotamicus*, na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

		Hb (g dL ⁻¹)	Ht (%)	Er (g dL ⁻¹)	HCM (pg)	CHCM (g dL ⁻¹)	VCM (fL)
Estratégia alimentar	Con	12,22±3,83	32,20±2,97	3,82±0,78	4,41±1,72	298,67±150,67	86,39±29,01
	15A/15R	12,33±2,97	36,56±6,18	3,94±0,98	4,10±1,24	302,10±96,62	80,72±29,00
Tempo de coleta (dias)	15	13,62±1,96	39,78±9,39a	-	3,64±0,97bc	307,04±114,18ab	-
	30	11,25±7,99	40,93±5,31a	3,96±0,79ab	3,22±2,11c	439,22±225,99a	104,60±37,57a
	45	10,61±4,47	21,32±6,65c	4,15±1,06a	5,43±2,48a	236,44±140,36b	53,55±26,65b
	60	13,62±1,89	29,48±4,91b	3,53±0,80b	4,74±0,37ab	218,83±14,05b	88,80±22,80a
Média geral		12,27±3,85	33,37±5,90	3,88±0,80	4,25±1,48	300,38± 123,64	82,81±29,00
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,8994	0,4076	0,5387	0,4432	0,9231	0,3871
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		0,0329	<0,0001	0,0366	0,0008	0,0001	<0,0001
<i>P</i> da interação (A x B)		0,4324	0,1975	0,6303	0,9773	0,8311	0,8390
Coeficiente de variação (%)		29,07	19,83	23,30	37,51	47,05	36,31

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15A/15R: tratamento com restrição alimentar e realimentação; Hb: hemoglobina; Ht: hematócrito; HCM: hemoglobina corpuscular média; CHCM: concentração de hemoglobina corpuscular média. N amostral: 16 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes em uma coluna diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 5. Médias e desvio padrão de parâmetros bioquímicos de *P. mesopotamicus*, na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

		Colesterol (mg dL ⁻¹)	Glicose (mg dL ⁻¹)	Lactato (mmol L ⁻¹)
Estratégia alimentar	Con	201,53 ± 14,68	109,82 ± 20,95	3,22 ± 0,77
	15R/15A	200,48 ± 14,90	103,04 ± 37,41	3,58 ± 1,70
Tempo de coleta (dias)	15	202,75 ± 13,49a	103,81 ± 27,19	5,68 ± 1,21a
	30	183,56 ± 8,64b	89,93 ± 11,38	2,94 ± 1,34b
	45	208,65 ± 18,70a	116,00 ± 39,09	2,49 ± 1,20b
	60	209,07 ± 18,62a	116,00 ± 39,00	2,49 ± 1,20b
Média geral		201,00 ± 14,79	106,43 ± 29,18	3,40 ± 1,24
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)		0,7783	0,3997	0,2865
<i>P</i> do tempo de coleta (B)		<0,0001	0,0763	<0,0001
<i>P</i> da interação (A x B)		0,2100	0,7564	0,4404
Coeficiente de variação (%)		7,40	30,03	39,05

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15A/15R: tratamento com restrição alimentar e realimentação. N amostral: 16 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras diferentes em uma coluna diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 6. Médias e desvio padrão da interação significativa de triglicerídeos de *P. mesopotamicus* na fase de terminação, submetidos a restrição alimentar/realimentação e alimentação contínua, em tanques-rede.

Estratégia alimentar	Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)		
	Con	15R/15 ^a	
Tempo de coleta (dias)	15	142,43±14,99	139,37±20,71b
	30	146,25±24,45	171,12±76,90b
	45	135,16±30,47B	341,56±137,10Aa
	60	166,33±70,35B	341,50±137,10Aa
Média geral		147,54±35,06	248,38±92,95
<i>P</i> da estratégia alimentar (A)			<0,0001
<i>P</i> do tempo de coleta (B)			0,0001
<i>P</i> da interação (A x B)			0,0003
Coeficiente de variação (%)			39,51

Con: tratamento controle/alimentação contínua; 15R/15A: tratamento com restrição alimentar e realimentação. N amostral: 16 peixes/tratamento. Médias seguidas de letras maiúsculas nas linhas diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Lípídeos totais e perfil de ácidos graxos

O perfil de ácidos graxos dos filés de *P. mesopotamicus*, aos 15 dias de cultivo estava constituído pelos seguintes ácidos graxos: ácido mirístico (C14:0); ácido palmítico (C16:0); ácido esteárico (C18:0); ácido palmitoleico (C16:1); ácido oleico (C18:1w9c); ácido linoleico (C18:2w6c); ácido alfa-linolênico (C18:3w3c); ácido gama-linolênico (C18:3w6c); ácido eicosatrienoico ômega-3 (C20:3w3); ácido dihomogama-linolênico (C20:3w6); ácido araquidônico (C20:4w6); ácido eicosapentaenoico – EPA (C20:5w3); ácido docosa-hexaenoico – DHA (C22:6w3).

A restrição alimentar de 15 dias influenciou significativamente o perfil de ácidos graxos nos filés de pacus durante a fase de engorda, os valores dos ácidos mirístico, palmitoleico, oleico, linoleico; alfa-linolênico, eicosatrienoico ômega-3 e dihomogama-linolênico foram superiores nos peixes 15R/15A. Os ácidos palmítico e esteárico foram superiores nos peixes controle ($P < 0,05$).

Os valores médios de lípídeos totais representam aumento de 0,66% no grupo controle ($P < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Médias e desvio padrão do perfil de ácidos graxos e lipídeos totais (%) do filé de *P. mesopotamicus* submetidos a restrição alimentar de 15 dias e alimentação contínua (controle).

Ácido graxo (%)	15A/15R	Controle	Valor de P	cv (%)
Ácido mirístico	1,91 ± 0,03a	1,68 ± 0,02b	<0,0001	1,89
Ácido palmítico	26,62 ± 0,15b	28,32 ± 0,49a	<0,0001	1,33
Ácido esteárico	12,55 ± 0,55b	13,08 ± 0,36a	0,0018	3,67
Ácido palmitoleico	1,41 ± 0,06a	1,30 ± 0,04b	<0,0001	4,19
Ácido oleico	23,18 ± 0,41a	22,67 ± 0,43b	0,0071	1,86
Ácido alfa-linolênico	17,84 ± 0,12a	16,73 ± 0,47b	<0,0001	2,00
Ácido alfa-linolênico	4,26 ± 0,10a	4,07 ± 0,17b	0,0035	3,45
Ácido gama-linolênico	1,48 ± 0,16	1,55 ± 0,03	0,1143	7,76
Ácido eicosatrienoico ômega-3	5,36 ± 0,15a	5,09 ± 0,24b	0,0034	3,88
Ácido dihomogama-linolênico	0,14 ± 0,00a	0,12 ± 0,00b	<0,0001	6,01
Ácido araquidônico	0,84 ± 0,03	0,86 ± 0,02	0,1574	3,26
Ácido eicosapentaenoico - EPA	1,54 ± 0,03	1,54 ± 0,04	0,9111	2,33
Ácido docosa-hexaenoico - DHA	2,88 ± 0,14	2,92 ± 0,07	0,4043	3,97
Lipídeos totais (%)	13,37 ± 0,30b	14,03 ± 0,13a	<0,0001	1,7

15A/15R: tratamento com restrição alimentar/realimentação; controle/tratamento sem restrição alimentar (controle); cv: coeficiente de variação. N amostral: 12 peixes/tratamento. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença pelo Teste Tukey ($P < 0,05$).

4. Discussão

A alimentação constante favorece o desempenho produtivo de peixes (Borges et al., 2022). Neste estudo, as respostas similares entre as estratégias alimentares demonstram ganho compensatório parcial, caracterizado quando os peixes submetidos ao jejum possuem crescimento semelhante comparados aos peixes que se alimentaram continuamente (Ali et al., 2016).

O jejum prolongado e a realimentação já demonstraram causar crescimento compensatório, em 30 dias de jejum seguidos por 36 dias de realimentação levaram ao crescimento compensatório parcial na truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* (Rescan et al., 2017). No pacu, o crescimento compensatório ocorreu com ganhos financeiros quando períodos prolongados de jejum e realimentação foram usados no inverno (Souza et al., 2003) e 30 dias de jejum seguidos por 60 dias de realimentação promoveram atrofia muscular e crescimento compensatório total (Kuniyoshi et al., 2019). No entanto, períodos prolongados de jejum e realimentação durante a estação quente (Souza et al.,

2003) e ciclos curtos repetidos (Takahashi et al., 2011) não conseguiram promover o crescimento compensatório no pacu, demonstrando que essa resposta varia de fase, condição de cultivo e tipo de estratégia a se utilizar, no presente estudo, os peixes 15R/15A consumiram cerca de 50% a menos de ração comparado ao controle, tornando possível redução de custos operacionais e menos alimento lançado ao meio aquático sem causar danos no crescimento de pacus na fase de terminação.

A interação significativa entre a estratégia alimentar e o tempo de coleta para o IHS e o QI reflete a influência conjunta do manejo alimentar e do estágio de crescimento sobre a fisiologia dos peixes. O maior IHS observado no grupo controle sugere um maior acúmulo de reservas hepáticas, como lipídeos e glicogênio, devido à disponibilidade contínua de nutrientes. Por outro lado, o aumento do IHS e do QI ao longo do tempo evidencia a adaptação metabólica, especialmente durante o período de realimentação de 15 dias, que é suficiente para compensar o crescimento dos órgãos e aumentar a relação entre os índices. Esse desenvolvimento do trato digestório é essencial para otimizar o desempenho produtivo, conforme discutido por Santos et al. (2018).

Adicionalmente, os índices IHS e QI aumentaram em ambos os tratamentos, mostrando que esses parâmetros refletem não apenas a adaptação metabólica, mas também o progresso natural no desenvolvimento fisiológico dos peixes ao longo do experimento. O IGV apresentou menores resultados nos peixes 15R/15A, este resultado reforça a ideia de que a estratégia auxilia a deposição de energia na forma de gordura, e que os pacus utilizaram a primeira fonte de energia, consumindo a gordura visceral.

A restrição alimentar seguida de realimentação no nosso estudo, favoreceu a deposição proteica nos tecidos, indicando um maior direcionamento de nutrientes para a síntese muscular durante a fase de compensação. Esse efeito melhora a eficiência da conversão alimentar, reduzindo a deposição de gordura e aumentando a retenção proteica (Ali et al., 2003).

A MM não diferiu entre os tratamentos, mas variou ao longo do tempo, com um pico aos 45 dias (4,62%) e queda aos 60 dias (4,12%), possivelmente devido à mobilização de minerais para ajustes metabólicos. O tratamento 15R/15A apresentou maior teor de umidade (71,42%), o que pode estar associado ao aumento de proteína, já que tecidos mais proteicos retêm mais água. Esses resultados indicam que a restrição alimentar melhora a deposição proteica sem afetar a mineralização dos tecidos, além de favorecer maior retenção de água dos filés de pacus. O aumento de PB% e redução de U% na composição centesimal do filé, podem ser fatores que influenciam as

características sensoriais da carne, como textura e maciez, e ainda que os resultados não foram apresentados em todos os tempos de coletas, espera-se que o teor de lipídeos tende a reduzir nos filés de pacu, tornando sua carne mais magra.

A alta da atividade da amilase aos 45 dias no grupo 15R/15A sugere uma adaptação fisiológica à restrição alimentar, favorecendo a digestão e absorção de carboidratos. Durante a restrição, a menor disponibilidade de nutrientes pode estimular a produção dessa enzima, tornando a digestão mais eficiente quando o alimento se torna disponível (Dorce et al., 2020).

A estabilidade dos parâmetros hematológicos entre as estratégias sugere que ambas proporcionaram condições adequadas para a saúde fisiológica dos peixes (Gomes et al., 2022). Os níveis de colesterol permaneceram inalterados, e os valores elevados aos 15 e 60 dias, com uma queda significativa aos 30 dias, indicam adaptações metabólicas temporárias relacionadas à disponibilidade de nutrientes e ao balanço energético dos peixes, como notado por outros parâmetros discutidos anteriormente, já o aumento aos 60 dias pode estar relacionado à maturidade metabólica e ao aumento de reservas lipídicas no organismo.

Nossos resultados indicam que o colesterol não foi utilizado como fonte de energia por *Piaractus mesopotamicus*, possivelmente devido ao seu papel estrutural e funcional no organismo, sendo prioritariamente mantido para a integridade das membranas celulares e a síntese de hormônios esteroides, em vez de ser mobilizado para suprir demandas energéticas. A resposta ao colesterol variou entre diferentes espécies submetidas a estratégias de jejum e realimentação. Em *P. mesopotamicus* (Favero et al., 2020) e *Lophiosilurus alexandri* (Silva et al., 2019), observou-se um aumento nos níveis de colesterol, enquanto em *Oncorhynchus mykiss* (Furné et al., 2012) e *Dentex dentex* (Pérez-Jiménez et al., 2012), houve uma redução. Por outro lado, em *Acipenser baerii* (Jafari et al., 2019), *Oreochromis niloticus* (Nebo et al., 2018) e *P. brachypomus* (Assis et al., 2023), os níveis de colesterol permaneceram inalterados, resultado consistente com o observado no presente estudo.

A restrição alimentar pode afetar os níveis de glicose em peixes (Gomes et al., 2001). Estudos sobre jejum com outras espécies mostram que a glicose pode permanecer inalterada (Barcellos et al., 2010; Costas et al., 2011; Nebo et al., 2018, Silva et al., 2019; Assis et al., 2020), como foi observado no presente estudo, enquanto outros aumentam (Caruso et al., 2010) ou mesmo diminuir (Favero et al., 2018; Favero et al., 2020).

Os níveis de glicose permaneceram estáveis nesse estudo, e ao longo dos tempos

avaliados, indicando que ambas as estratégias alimentares forneceram energia suficiente para a manutenção das funções metabólicas. A glicose é um parâmetro sensível a estressores nutricionais e ambientais, mas a estabilidade dos valores reflete a eficiência metabólica de *P. mesopotamicus* em utilizar reservas energéticas, mesmo em períodos de restrição.

Como o lactato é um dos substratos mais utilizados pelo fígado, acredita-se que o ciclo de Cori hepático também seja extremamente importante para a reciclagem do lactato muscular, podendo-se afirmar que o lactato produzido é oxidado mantendo seu balanço entre produção e consumo (Jobling, 1994; Moon & Foster, 1995; Moyes & West, 1995; Weber & Haman, 1996; Richards et al, 2002). A redução progressiva ao longo do experimento enfatiza que os pacus ajustaram seu metabolismo para padrões mais estáveis, especialmente devido ao aumento das reservas energéticas e à adaptação ao manejo alimentar.

Nesse estudo, os valores de triglicerídeos apresentaram uma interação significativa entre a estratégia alimentar e o tempo de coleta, destacando-se como um parâmetro sensível às condições nutricionais. O aumento expressivo nos triglicerídeos do 15A/15R em relação ao controle, sugere um acúmulo lipídico de triglicéris mais acentuado durante os períodos de realimentação. Essa resposta metabólica pode ser atribuída à compensação após períodos de restrição, favorecendo o armazenamento de energia como lipídios no fígado.

O aumento contínuo desse parâmetro ao decorrer do período experimental, mostra que os pacus mantiveram um balanço energético positivo, direcionando nutrientes para reservas energéticas. Esses resultados são consistentes com os de Borges et al. (2022), que observaram um aumento gradual nos triglicerídeos em peixes submetidos a restrição alimentar, porém Assis et al. (2023), avaliando a restrição alimentar de 30 dias de jejum e 15 dias de realimentação em *P. brachypomus*, observaram que a concentração plasmática de triglicerídeos diminuiu significativamente no grupo em jejum, nesse caso, o jejum pode ter inibido a lipogênese e induzido a mobilização de estoques lipídicos por meio da lipólise e da β -oxidação de ácidos graxos (Li et al., 2018).

Assis et al. (2023), observaram mobilização das reservas lipídicas do tecido adiposo, evidenciado pela diminuição do índice de gordura mesentérica em 30 dias de jejum, enquanto o nível de lipídios no músculo não se alterou, lembrando que no presente estudo o IGV reduziu no grupo em jejum, ao fim dos ciclos, com isso, podemos concluir que 15 dias são suficientes para mobilização energética da gordura visceral de pacus. No

entanto, a mobilização dessa reserva foi insuficiente para manter o nível de triglicerídeos durante o período de jejum, já 15 dias de realimentação foram suficientes para a recuperação do nível de triglicerídeos no sangue para aproximadamente o do grupo controle.

A restrição alimentar levou os peixes a mobilizarem mais suas reservas lipídicas internas, o que favorece a oxidação de ácidos graxos saturados, como o palmítico e esteárico, e a preservação de ácidos graxos insaturados, como o oleico, linoleico e alfa-linolênico. O aumento dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAS), especialmente os ômega 3 e 6 (C18:3w3c e C18:2w6c), é um ponto positivo do ponto de vista nutricional, pois são benéficos para a saúde humana, mas também desempenham papéis cruciais na saúde dos peixes, influenciando o desenvolvimento e a qualidade nutricional (Khan et al., 2024), sugerindo que a restrição alimentar pode ser uma estratégia para melhorar a qualidade nutricional da carne de pacus.

A oferta contínua de alimento no grupo controle resultou em um aumento dos ácidos graxos saturados, como o palmítico e o esteárico, indicando uma maior deposição de gordura estrutural e menor mobilização dessas reservas. Além disso, observou-se um maior acúmulo de lipídios totais (0,66%) em comparação aos peixes 15R/15A. Esse efeito ocorre porque a disponibilidade constante de nutrientes favorece o armazenamento de energia na forma de gordura, enquanto os peixes submetidos à restrição alimentar precisam mobilizar suas reservas lipídicas para suprir suas demandas energéticas.

Os resultados obtidos, demonstra que a estratégia de 15 dias de restrição alimentar seguida de 15 dias de realimentação, pode ser uma alternativa eficaz para reduzir custos com ração sem comprometer a saúde ou o desempenho dos peixes. Isso é especialmente relevante em sistemas de produção intensiva, onde o custo da alimentação representa uma parte significativa dos gastos operacionais e relativamente importante para os piscicultores, especialmente aos que desejam otimizar áreas alagadas em sua propriedade.

5. Conclusão

A restrição alimentar e realimentação de 15 dias, não afeta o desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* na fase de terminação no cultivo de tanques-rede, bem como, não causa danos a saúde dos animais e a espécie demonstra adaptação metabólica para ajustar-se nos períodos de jejum. Portanto, pode ser uma ferramenta eficaz para melhorar a eficiência alimentar e reduzir os custos na produção de pacus, com benefícios tanto no desempenho produtivo quanto na sustentabilidade econômica da atividade,

contribuindo para o aumento da sustentabilidade econômica e ambiental da produção aquícola, favorecendo a rentabilidade e a eficiência nos sistemas de cultivo intensivo.

Financiamento

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT): Chamada FUNDECT/UEMS 09/2022, Proc. nº 71/051.289/2022, Termo de Outorga 660/2022 SIAFEM 32606.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados que dão suporte às descobertas deste estudo estão incluídos no texto e nas tabelas. Dados brutos para todas as figuras estão disponíveis com os autores correspondentes mediante solicitação razoável.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa da autora Acunha, RMG e ao proprietário Rafael Guerra, pela disposição em ceder a piscicultura para execução desse experimento.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- Acunha, R. M. G. (2021). Restrição alimentar e viabilidade econômica do híbrido (*Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*) em sistema de tanques-rede. 2021. 97 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS. 2021.
- Ali, M., Wootton, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and fisheries*, v. 4, n. 2, p. 147-190. 2003.
- Ali, T. E. S., et al. Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 42, p. 357-363. 2016.
- Assis, L. P., Assis, Y. P. A. S., Amorim, M. P. S., Luz, R. K., & Favero, G. C. (2023). Physiological responses to long fasting followed by refeeding in juveniles of pirapitinga, *Piaractus brachypomus*. *Acta Amazonica*, v. 53, n. 3, p. 187-195.

- Assis, Y.P.A.S., Porto, L.A., Melo, N.F.A.C., Palheta, G.D.A., Luz, R.K., Favero, G. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS), *Aquaculture*, v. 529, 2020, 735689, 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689>.
- Bligh, E. G., Dyer, W. J. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37:911-917, 1959.
- Boscolo, W. R., Signor, A., Freitas, J. D., Bittencourt, F., & Feiden, A. (2011). Nutrição de peixes nativos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(supl. especial), 145-154.
- Favero, G., Gimbo, R.Y., Montoya, L.N.F., Carneiro, D.J., Urbinati, E.C. A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. *Aquaculture*. v. 524, p. 735242, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735242>
- Garcez, J. R., Ferreira, R. C., dos Santos, G. F. D., de Oliveira, J. B., & Freire, G. M. (2023). Efeito da restrição alimentar no crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) em sistema semi-intensivo. *Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 8, p. e483759-e483759.
- Gomes, L. C., et al. (2022). "Hematological responses of pacu under different feeding strategies." *Journal of Fish Biology*.
- Jobling, M. (2014). *Fish nutrition and aquaculture: Research advances and applications*. Springer.
- Khan, A. K., Zahid, M., Rehman, A. U., & Khan, R. A. (2024). Avaliação da composição de ácidos graxos e perfis de aminoácidos de três importantes espécies de peixes de água doce nativas do rio Indo, Paquistão. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e286429.
- Kuniyoshi, M. L. G., Da Silva-Gomes, R. N., Vieira, J. C. S., Hessel, M. C., Mareco, E. A., Carvalho, R. F., ... & Dal-Pai-Silva, M. (2019). Proteomic analysis of the fast-twitch muscle of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) after prolonged fasting and compensatory growth. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 30, 321-332.
- Leal, R. M., Maquiné, A. B., Júnior, P. A., da Silva Farias, C. T., da Cunha Ferreira, A., da Silva, G. M., ... & Cavero, B. A. S. (2024). Impacto da restrição alimentar e da frequência alimentar na criação do tambaqui em sistema de recirculação para aquicultura "RAS". *Observatório de la economía latinoamericana*, v. 22, n. 6, p. e5356-e5356.
- Li, H., Xu, W., Jin, J., Zhu, X., Yang, Y., Han, D., Liu, H., Xie, S. Effects of dietary carbohydrate and lipid concentrations on growth performance, feed utilization, starvation

- on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture*, v. 496, p. 166-175. 2018.
- Litaiff, I., Moesch, S., Sado, R. Y., & Bicudo, Á. J. D. A. (2023). Efeitos de estratégias de alimentação mista com diferentes relações de energia: proteína para juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência Animal Brasileira*, 24, e-74420E.
- Maia, E. L., & Rodriguez-Amaya, D. B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 53, n. 1/2, p. 27-35. 1993.
- Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M., Portella, M.C. 2018. Depletion of stored nutrientes during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *J. App. Aquaculture*, v. 30, n. 157-173. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>.
- Oliveira, G. R., Gemaque, T. C., Melo, K. D. M., da Silva, S. R., de Oliveira, A. V., Freato, T. A., & da Costa, D. P. (2020). Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 28224-28244.
- Palma, E. H. D., Takahashi, L. S., Dias, L. T. S., Gimbo, R. Y., Kojima, J. T., & Nicodemo, D. (2010). Estratégia alimentar com ciclos de restrição e realimentação no desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT. *Ciência Rural*, v. 40, p. 391-396.
- Pérez-Jiménez, A., et al. Nutrient Mobilization and Growth Responses of Fish to Food Restriction and Realimentation. *Aquaculture*, v. 264, n. 1-4, p. 89-98. 2012.
- Santos, E. L., Soares, A. C. L., Tenório, O. L. D., Soares, E. C., Silva, T. J., & Gusmão Júnior, L. F. (2018). Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, p. 931-938.
- Santos, L., Pereira Filho, M., Sobreira, C., Ituassú, D., & Fonseca, F. A. L. D. (2010). Exigência protéica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. *Acta Amazonica*, v. 40, p. 597-604.
- Silva, J. C., et al. (2019). "Effects of feed restriction on energy reserves and metabolic adaptations in *P. mesopotamicus*." *Aquaculture Research*.
- Souza, V. L., Urbinati, E. C., Martins, M. I. E. G., Silva, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira*

de Zootecnia, v. 32, n. 1, p. 19–28, fev. 2002b. Digital. 2023.

Takahashi, L. S., Biller, J. D., Criscuolo-Urbinati, E., & Urbinati, E. C. (2011). Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 95, n. 2, p. 259-266.

CAPÍTULO 4

Viabilidade econômica da restrição alimentar e realimentação de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) na fase inicial em sistema de recirculação de água e na fase de terminação em tanques-rede

**Artigo redigido nas normas do periódico científico
Boletim do Instituto de Pesca**

Viabilidade econômica da restrição alimentar e realimentação de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) na fase inicial em sistema de recirculação de água e na fase de terminação em tanques-rede

Resumo

A busca por estratégias alimentares que reduzam os custos com ração tem se intensificado na aquicultura. A restrição alimentar surge como uma alternativa promissora para mitigar esse problema, impulsionando o desempenho produtivo sem comprometer a saúde e o bem-estar dos peixes. A análise da viabilidade econômica é essencial para avaliar projetos aquícolas, considerando tanto as premissas produtivas quanto o desempenho zootécnico das espécies cultivadas. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica do cultivo de pacus submetidos à restrição alimentar e realimentação na fase jovem, em sistema de recirculação de água (RAS), e na fase de terminação, em tanques-rede, com foco nos custos operacionais e no retorno econômico. Foram avaliados dois tratamentos: peixes submetidos a dois ciclos de restrição alimentar de 15 dias, seguidos por 15 dias de realimentação (CR), e peixes alimentados continuamente (SR). O estudo foi dividido em duas etapas, ambas comparando a viabilidade econômica entre os tratamentos. A Etapa I avaliou juvenis de *Piaractus mesopotamicus* ($n = 200$) em sistema RAS, enquanto a Etapa II analisou a engorda de pacus ($n = 800$) em tanques-rede. O período experimental foi de 60 dias para ambas as etapas. Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados continuamente e permaneceram dentro dos padrões ideais para o cultivo da espécie nos dois sistemas. O desempenho zootécnico foi avaliado ao final do experimento, e a análise econômica baseou-se na metodologia de custos operacionais totais. Os indicadores de viabilidade econômica considerados foram Margem Bruta (MB), Margem Líquida (ML), Lucro (L). Na Etapa I, foi realizada uma simulação de produção considerando uma densidade de 100 peixes por metro cúbico (peixes m^{-3}). Para a análise do desempenho zootécnico, utilizou-se ANOVA seguida do teste de Tukey, enquanto a análise econômica foi conduzida por estatística descritiva. Os resultados indicaram que, no sistema RAS, o desempenho dos pacus no tratamento CR foi inferior ao dos peixes SR. No entanto, no cultivo em tanques-rede, o desempenho foi semelhante entre os dois tratamentos. A produção de pacus em RAS mostrou-se economicamente inviável com uma biomassa de 50 peixes m^{-3} em ambos os tratamentos. Com 100 peixes m^{-3} , a atividade tornou-se economicamente viável a curto prazo no tratamento CR, mas a longo prazo, ambos os tratamentos apresentaram resultados negativos ($L < 0$). Por outro lado, a produção em tanques-rede demonstrou viabilidade econômica para ambos os tratamentos, sendo que, no CR, o lucro líquido foi superior a R\$ 716,82. Conclui-se que a restrição alimentar de 15 dias, seguida de 15 dias de realimentação, não é economicamente viável para o cultivo de juvenis de *P. mesopotamicus* em RAS. No entanto, na fase de engorda, em tanques-rede, essa estratégia mostrou-se viável, proporcionando uma redução significativa nos custos operacionais sem comprometer consideravelmente o desempenho zootécnico dos peixes.

Palavras-chave: Custos operacionais, economia, ganho compensatório, jejum, sistemas sustentáveis.

Economic viability of dietary restriction and refeeding of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during the early phase in a recirculating aquaculture system and the finishing phase in net cages.

Abstract

The search for feeding strategies that reduce feed costs has intensified in aquaculture. Feed restriction emerges as a promising alternative to mitigate this issue, enhancing productive performance without compromising fish health and welfare. Economic feasibility analysis is essential for evaluating aquaculture projects, considering both productive assumptions and the zootechnical performance of the cultivated species. Thus, this study aimed to evaluate the economic feasibility of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) farming under feed restriction and refeeding during the juvenile stage in a recirculating aquaculture system (RAS) and during the finishing phase in net cages, focusing on operational costs and economic returns. Two treatments were evaluated: fish subjected to two cycles of 15-day feed restriction followed by 15 days of refeeding (CR) and fish fed continuously (SR). The study was divided into two phases, both comparing the economic feasibility between treatments. Phase I evaluated juvenile *P. mesopotamicus* (n = 200) in an RAS system, while Phase II analyzed the fattening of pacu (n = 800) in net cages. The experimental period was 60 days for both phases. Water quality parameters were continuously monitored and remained within the ideal standards for the species' cultivation in both systems. Zootechnical performance was evaluated at the end of the experiment, and the economic analysis was based on the total operational cost methodology. The economic feasibility indicators considered were Gross Margin (GM), Net Margin (NM), Profit (P). In Phase I, a production simulation was conducted considering a density of 100 fish per cubic meter (fish m⁻³). For the zootechnical performance analysis, ANOVA followed by Tukey's test was used, while the economic analysis was conducted through descriptive statistics. The results indicated that, in the RAS system, the performance of pacu in the CR treatment was inferior to that of SR fish. However, in net cage farming, performance was similar between the two treatments. Pacu production in RAS was economically unviable with a biomass of 50 fish m⁻³ in both treatments. With 100 fish m⁻³, the activity became economically viable in the short term for the CR treatment, but in the long term, both treatments showed negative results (P < 0). On the other hand, net cage production demonstrated economic viability for both treatments, with the CR treatment yielding a net profit exceeding R\$ 716.82. It is concluded that a 15-day feed restriction followed by 15 days of refeeding is not economically viable for juvenile *P. mesopotamicus* farming in RAS. However, in the fattening phase in net cages, this strategy proved to be viable, significantly reducing operational costs without considerably compromising the zootechnical performance of the fish.

Keywords: Compensatory gain, economy, fasting, operational costs, sustainable systems.

1. Introdução

A aquicultura tem se consolidado como uma atividade estratégica para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável, impulsionando pesquisas que buscam maximizar a produtividade e a rentabilidade dos cultivos (Tardim et al., 2024). No Brasil, o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) destaca-se como uma espécie de grande importância econômica, especialmente na região do Mato Grosso do Sul (MS), devido à sua adaptabilidade ao clima e às condições ambientais locais, além de ser nativo da Bacia do Paraguai (Kubitza, 2011; Valladão et al., 2018).

Dentre as estratégias nutricionais para otimização do desempenho produtivo e econômico, a restrição alimentar seguida de realimentação tem se mostrado uma alternativa viável, permitindo o aproveitamento do crescimento compensatório dos peixes sem comprometer seu desenvolvimento (Furuya et al., 2014). Além de um possível ganho compensatório e da redução da gordura excessiva (Oliveira et al., 2021), a restrição alimentar pode trazer grande economia com a ração que é, em geral, um dos itens de maior participação no custo de produção de peixe (Pereira et al., 2019).

O sistema de recirculação de água (RAS – Recirculating Aquaculture System) tem sido amplamente estudado como uma alternativa sustentável para a piscicultura, pois permite o uso eficiente dos recursos hídricos, reduzindo o impacto ambiental e garantindo um ambiente mais estável para os peixes (Sousa et al., 2020; Santos et al., 2021; Medina et al., 2022). Estudos demonstram que a criação de peixes em RAS pode ser economicamente viável, principalmente quando aliada a estratégias que reduzam os custos operacionais, como a restrição alimentar (Silva et al., 2022). Além disso, a redução da carga orgânica associada a essa estratégia pode contribuir para a manutenção da qualidade da água, diminuindo a necessidade de trocas frequentes e reforçando a sustentabilidade do cultivo (Arana et al., 2018).

O cultivo em tanques-rede já se mostrou uma opção viável para a criação intensiva de pacus, apresentando bons índices de desempenho produtivo e conversão alimentar (Bittencourt et al., 2010; Santos et al., 2018; Pellegrin et al., 2020). No entanto, a implementação da restrição alimentar nesse sistema ainda precisa ser melhor investigada, pois, se o crescimento compensatório for expressivo, essa estratégia pode aumentar a atratividade econômica da atividade. Além disso, a redução da deposição lipídica no pacu pode agregar valor ao produto final, oferecendo ao mercado uma carne com menor teor de gordura, o que pode ampliar sua aceitação pelos consumidores preocupados com a saúde. Para produtores que já possuem áreas alagadas aptas para a instalação de tanques-

rede, essa abordagem pode ser uma estratégia promissora para aumentar a eficiência produtiva e a competitividade da piscicultura regional.

Os estudos de viabilidade econômica são ferramentas essenciais para avaliar projetos de aquicultura comercial, considerando a inserção no mercado, premissas produtivas e o desempenho zootécnico das espécies (Castilho-Barros et al., 2018). Esses estudos analisam as entradas e saídas de capital ao longo do tempo, especialmente em cultivos de espécies de interesse comercial já consolidadas (Castilho-Barros et al., 2014). Produtores buscam alternativas para otimizar os sistemas de produção, reduzindo custos e garantindo um produto de alta qualidade. Nesse contexto, justifica-se a aplicação da restrição alimentar em sistema de recirculação para pacus na fase juvenil e na fase de terminação em tanques-rede em áreas alagadas já existentes na propriedade, como proposto no presente estudo.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica do cultivo de pacus submetidos à restrição alimentar e realimentação na fase jovem, em sistema de recirculação de água, e na fase de terminação, em tanques-rede, com foco nos custos operacionais e retorno econômico. A pesquisa busca contribuir para a otimização da produção aquícola, reduzindo custos operacionais, minimizando impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade do setor aquícola.

2. Material e Métodos

Todos os protocolos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UEMS, protocolo 015/2019.

Este estudo foi composto de duas etapas experimentais distintas para avaliação do cultivo de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação, avaliados em duas fases de cultivo em dois diferentes sistemas, a saber:

- Etapa I: cultivo de juvenis de *P. mesopotamicus* em sistema de recirculação de água;
- Etapa II: terminação de *P. mesopotamicus* em tanques-rede, em propriedade rural

Em ambas etapas, os peixes foram distribuídos aleatoriamente em dois tratamentos, sendo: CR: 15 dias de restrição seguidos por 15 dias de realimentação e SR: alimentação diária. Cada 15 dias de restrição alimentar/realimentação constituiu um ciclo alimentar. Assim, os peixes foram submetidos a dois ciclos alimentares, que começavam

com restrição alimentar e terminavam com realimentação.

2.1 Estudo I

O experimento foi realizado no setor de Piscicultura do Centro em Excelência em Ciência Animal do Cerrado e Pantanal (CECA), da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), localizada no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil (20° 28' 30''S; 55° 47' 11'' W).

Foram utilizados 200 juvenis de *P. mesopotamicus* com peso inicial médio de $45,00 \pm 8,36$ g e comprimento total médio de $15,01 \pm 1,29$ cm, estocados em caixas de polietileno com volume útil de 500 L, operando em um sistema de recirculação de água fechado, com utilização de filtros físico e biológico, com aeração contínua, com uma densidade de 50 peixes m⁻³. Cada tratamento (CR e SR) foi conduzida com cinco repetições, totalizando 10 unidades experimentais (tanque) (Figura 1). O experimento foi conduzido entre os meses de outubro a dezembro de 2023, totalizando 60 dias de experimento.

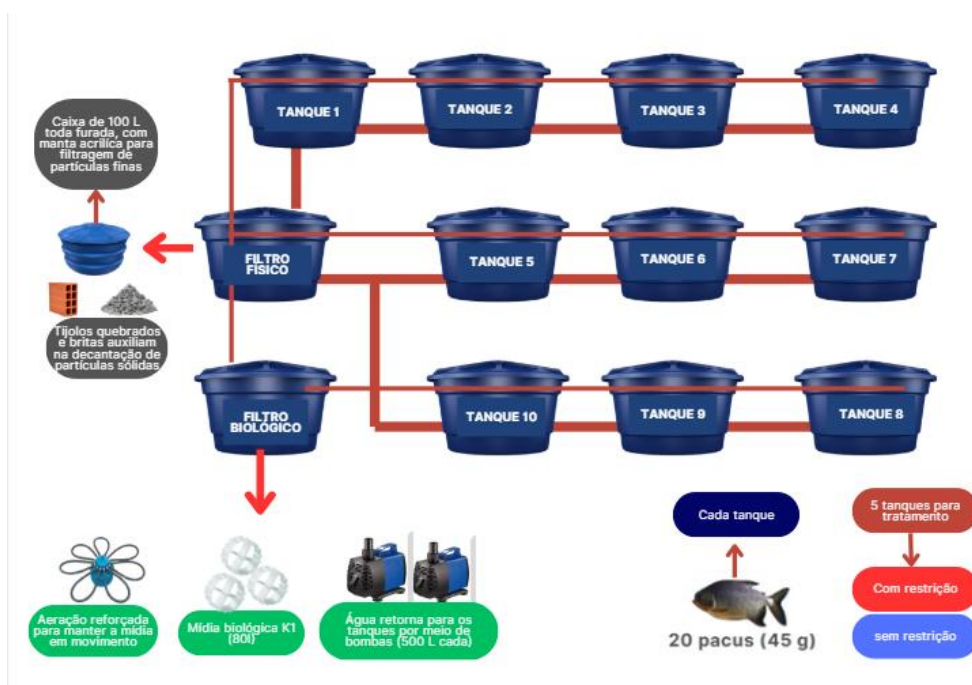


Figura 1. Representação esquemática do sistema de recirculação de água instalado no setor de piscicultura da UEMS, Aquidauana, MS. Elaborado pela autora.

Durante a aclimação (10 dias), os peixes foram alimentados manualmente duas vezes ao dia (às 8h e às 16h), até aparente saciedade, com ração comercial (Supra, Acqualine, Rio Claro, SP, Brasil) de granulometria 4-6 mm, contendo 42% de proteína

bruta, 6,5% de extrato etéreo, 7% de fibra bruta e 10% de matéria mineral, conforme as especificações fornecidas pelo fabricante. A ração comercial utilizada no período de aclimação foi a mesma utilizada durante o período experimental. No período experimental, os peixes foram alimentados, manualmente, duas vezes ao dia com uma quantidade equivalente a 3% da biomassa total. Os ajustes na oferta de ração foram realizados quinzenalmente após o manejo biométrico.

2.2 Estudo II

O experimento foi conduzido em uma propriedade particular no município de Nioaque, MS, Brasil (20° 57' 05" S, 55° 48' 25" O).

Os animais foram provenientes da piscicultura da UEMS e foram aclimatados nas suas respectivas unidades experimentais durante 15 dias. Para tanto, foram utilizados 800 peixes (*P. mesopotamicus*) com peso médio inicial de $560 \pm 0,30$ g estocados em oito tanques-rede com malha de arame galvanizado recoberto de polietileno e estrutura de sustentação de alumínio, com dimensões de 2,0 x 2,0 x 1,5 m, perfazendo um total de quatro metros de volume útil, instalados linearmente com um espaçamento de um metro entre eles e a uma altura de três metros acima do fundo da represa e a densidade utilizada foi de 25 peixes/m³.

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado cujo tratamentos foram as estratégias alimentares e as repetições foram os tanques-rede (n = quatro/tratamento). O experimento foi conduzido entre os meses de outubro a dezembro de 2024, totalizando 60 dias de experimento.

A represa, com 0,5 ha de lâmina d'água, possuía renovação constante de água proveniente de uma nascente natural (Figura 2).



Figura 2. Lâmina d'água (represa) onde foram instalados os tanques-rede.

Durante a aclimação os animais receberam ração comercial extrusada (granulometria de 8 mm) com 28% de proteína bruta, 6,5% de extrato etéreo, 7% de fibra bruta e 10% de matéria mineral (Supra, Acqualine, Rio Claro, SP, Brasil). A ração no período experimental foi a mesma utilizada durante a aclimação, e alimentação foi realizada duas vezes ao dia (9h e 16h), com uma taxa de 2,5% da biomassa. A quantidade foi reajustada quinzenalmente após o manejo biométrico. O arraçoamento foi realizado com um barco (Martinelli) que serviu de locomoção para o manejador realizar as atividades rotineiras dos tanques-rede.

2.3 Qualidade da água

A qualidade da água foi monitorada duas vezes ao dia (08h e 15h30), utilizando um medidor multiparâmetro (Hanna, HI98194) para a quantificação dos parâmetros: temperatura, pH e oxigênio dissolvido. Além destes, semanalmente foram mensurados amônia tóxica e nitrito (determinados usando um kit colorimétrico Alfakit Labcon Test). Os valores médios dos parâmetros de qualidade de água para o cultivo em RAS e em tanques-rede estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias e desvio padrão da qualidade da água para o cultivo de *P. mesopotamicus* em sistema de recirculação de água (RAS) e em tanques-rede.

Parâmetro	Sistema de cultivo	
	RAS	Tanque-rede
Temperatura (°C)	28,63 ± 3,29	28,39 ± 2,27
Potencial hidrogeniônico (mg L ⁻¹)	5,72 ± 0,86	6,36 ± 0,64
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	4,95 ± 1,15	6,14 ± 1,21
Amônia tóxica (mg L ⁻¹)	2,36 ± 0,85	0,00 ± 0,00
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,10 ± 0,01	0,00 ± 0,00

RAS: Recirculating Aquaculture System/sistema de recirculação de água.

2.4 Parâmetros de desempenho zootécnico

O desempenho zootécnico foi avaliado no final do ciclo produtivo para ambas etapas. Para isso, os peixes foram submetidos a um jejum prévio de 24 horas, seguidos de anestesia com eugenol (0,5 mg L⁻¹) para a realização das biometrias. O peso corporal foi determinado com o auxílio de uma balança digital de alta precisão (Toledo Prix® 3 Plus), enquanto o comprimento total foi medido utilizando um ictiômetro (Rotta et al., 2003). Esses dados foram utilizados para o cálculo da biomassa estocada e para a determinação da quantidade de ração a ser fornecida diariamente durante o experimento.

Ao final dos experimentos, todos os peixes foram contados, pesados e medidos para avaliar o desempenho zootécnico. Após obtenção dos dados biométricos, foram determinados os seguintes índices zootécnicos: ganho de peso (GP) (g) = peso médio final – peso médio inicial; consumo de ração (C) (g) = ração fornecida dia⁻¹ (g) x n° total de dias referente ao período experimental; conversão alimentar aparente (CA) = ração fornecida (g) / GP (g); taxa de sobrevivência (TS) (%) = (número final de peixes / número inicial de peixes) x 100.

2.5 Análise econômica

A viabilidade econômica do sistema de produção de pacus em caixas d'água com circulação e em tanques-rede foi avaliada por meio dos dados zootécnicos obtidos experimentalmente e na estrutura física da área de produção de cada sistema, sendo que para o RAS, considerou-se o galpão já existente no setor da piscicultura da UEMS e para o cultivo em tanques-rede, considerou-se a área alagada já existente na propriedade rural.

Na etapa I, foi realizada uma simulação de produção considerando uma densidade

de 100 peixes por metro cúbico (peixes m⁻³), com os custos ajustados conforme o aumento na quantidade de peixes produzida.

2.5.1 Metodologia de custo operacional

O cálculo foi realizado utilizando a metodologia de avaliação econômica de Custo Operacional, conforme proposta pelo Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (Matsunaga et al., 1979).

O Custo Operacional Efetivo (COE) foi composto pelas despesas diretas (desembolsos). O Custo Operacional Total (COT) incluiu o COE acrescido dos custos de mão de obra familiar e depreciação, enquanto o Custo Total (CT) incorporou o custo de oportunidade do capital fixo empregado.

Para o cálculo, considerou-se a mão de obra contratada já existente na piscicultura da UEMS e na propriedade rural, composta por um funcionário responsável pelo arraçoamento e cuidados diários com o cultivo de pacus em ambas as fases e sistemas de cultivo. Estimou-se que o funcionário dedicava 1 hora/dia ao cultivo dos pacus, sendo calculado com base em 20% do salário-mínimo mensal acrescido de encargos trabalhistas (42%). A mão de obra familiar não foi incluída. O rateio das despesas entre os tratamentos foi proporcional: 25% para CR e 75% para o SR.

As despesas contabilizadas incluíram ração e aquisição de peixes, além de um acréscimo de 2,0% ao COE para cobrir despesas eventuais (Martin et al., 1995). A depreciação de benfeitorias, máquinas e equipamentos foi calculada pelo método linear, assumindo valor residual igual a zero. O custo de oportunidade do capital fixo foi determinado aplicando-se uma taxa de juros de 6% ao ano, ajustada proporcionalmente ao período experimental.

2.5.2 Indicadores econômicos

A Receita Total (RT) foi obtida pela multiplicação da quantidade de peixes comercializados pelo preço de venda unitário, calculado com base no peso médio final individual dos animais ao término do experimento. Os valores comerciais do pacu foram simulados com base nos preços praticados na região do Mato Grosso do Sul (MS). Para a etapa I, considerou-se a venda unitária dos juvenis de pacus e não a venda por quilo de peixe produzido. Na etapa II, considerou-se a venda comercial em kg.

Os indicadores de viabilidade econômica considerados foram a Margem Bruta (MB), calculada como a diferença entre a Receita Total (RT) e o Custo Operacional

Efetivo (COE); a Margem Líquida (ML), obtida pela diferença entre a RT e o Custo Operacional Total (COT); o Lucro (L), determinado pela diferença entre a RT e o Custo Total (CT); a Lucratividade, representada pela relação entre o Lucro e a RT; e a Taxa de Retorno do Capital Empatado, definida como a relação entre a ML e o capital médio investido em benfeitorias, maquinários e equipamentos.

2.6 Análise estatística

Para a análise de desempenho zootécnico, todos os dados foram avaliados quanto à normalidade, utilizando o Teste de Shapiro-Wilk, e à homoscedasticidade das variâncias, por meio do Teste de Levene. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey. Para análise econômica foi utilizado estatística descritiva.

3. Resultados

Etapa I: Viabilidade econômica do cultivo de juvenis de pacus em RAS

Desempenho zootécnico

O peso final, ganho de peso e consumo de ração foram superiores nos peixes alimentados continuamente (SR) ($P < 0,05$), enquanto a conversão alimentar não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) (Figura 3). A sobrevivência foi de 100% no período experimental.

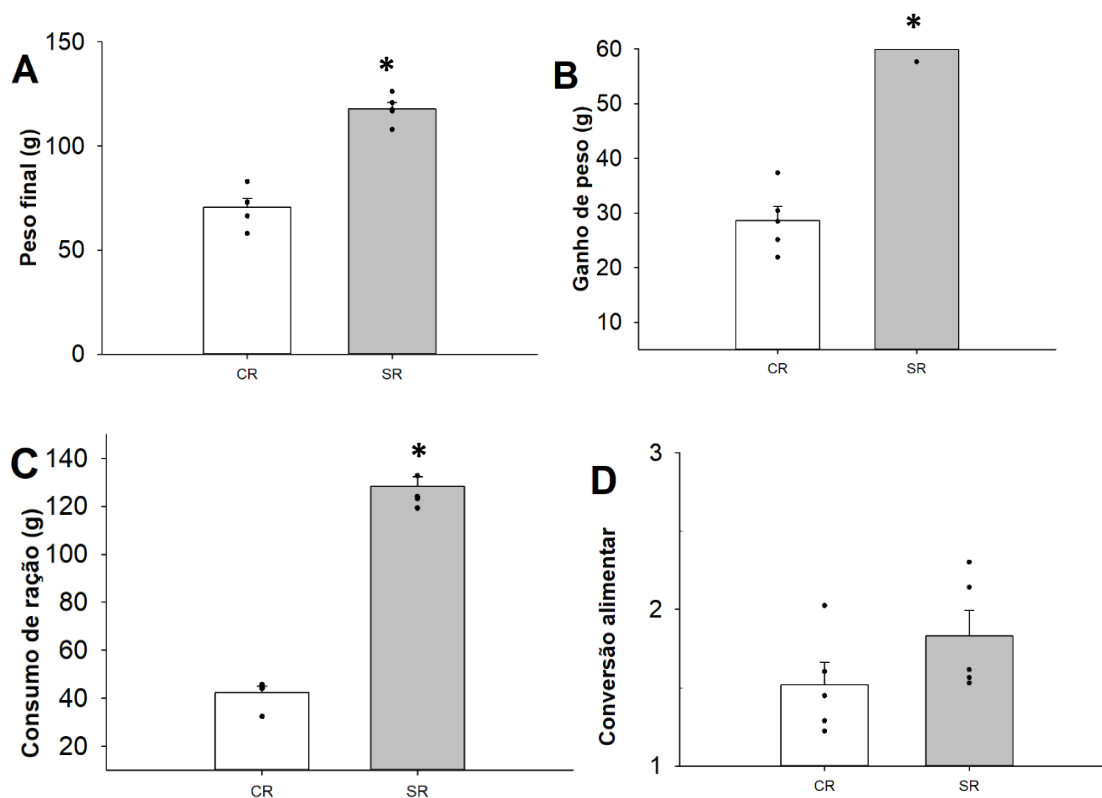


Figura 3. Médias e desvio padrão de desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* submetidos a 15 dias de restrição alimentar e 15 dias de realimentação e alimentação contínua (controle) em sistema de recirculação de água.

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; peso final (A); ganho de peso (B); consumo de ração (C); conversão alimentar (D). Médias seguidas * diferem-se pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Custo da implantação do sistema

O custo total para a produção de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em um sistema de recirculação de água (RAS), realizado em 2023, foi de R\$ 10.742,10. Esse valor incluiu a implantação do sistema, abrangendo a aquisição de benfeitorias, maquinário e equipamentos necessários. Os valores de investimento foram atualizados para o mês de dezembro de 2024. Os itens de maior impacto financeiro foram tubos, canos e conexões (R\$ 3.258,32), tanques circulares de polietileno (R\$ 3.022,80) e mídia biológica (R\$ 1.680,00) (Figura 4).

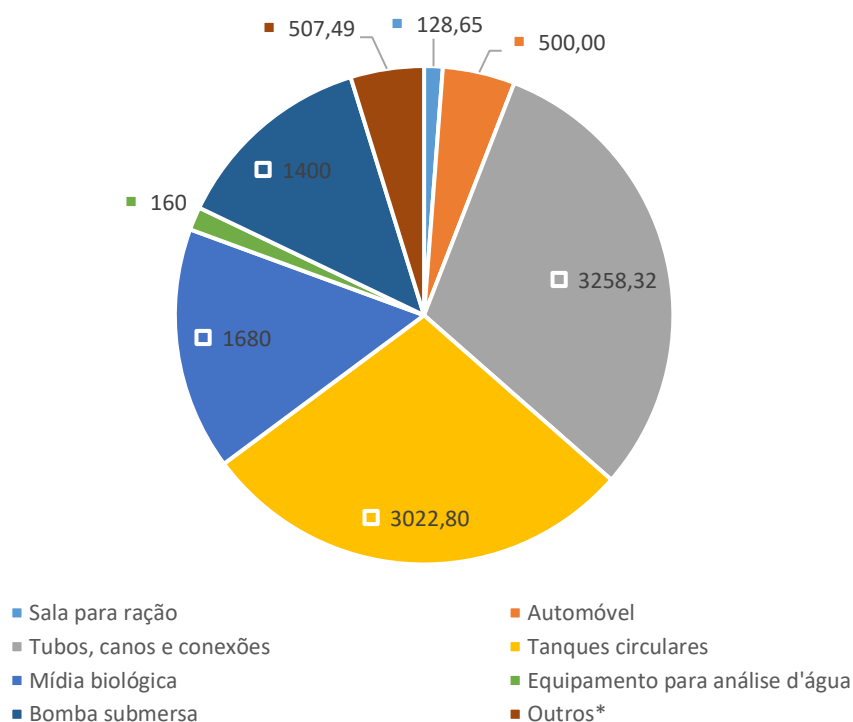


Figura 4. Itens para custo de implantação de um sistema de recirculação de água, em caixas d'água, na Piscicultura da UEMS/Aquidauana, MS. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 1 = R\$ 6,47).

Custos da produção

Para a produção com biomassa de 50 peixes m^{-3} , os principais itens de custo no CR foram: energia elétrica (39,13%), depreciação (20,43%) e mão de obra (13,17%). No SR, destacaram-se mão de obra (23,61%), energia elétrica (23,38%) e ração (22,03%). Com biomassa de 100 peixes m^{-3} , no CR, a energia elétrica permaneceu como o principal custo, seguida pela depreciação e pelos alevinos. No SR, a ração foi o item mais representativo, respondendo por 37,95% do custo total de produção (CTP), seguida pela mão de obra (20,33%) e pela energia elétrica (20,13%) (Tabela 2).

Tabela 2. Custo da produção e indicadores econômicos de juvenis de *P. mesopotamicus* em RAS em dois meses de cultivo, submetidos a restrição alimentar e realimentação, em duas biomassas de estocagens. Os valores são referentes ao mês de dezembro de 2024 (US\$ 1 = R\$ 6,47).

Itens	Biomassa de 50 peixes m ⁻³		Biomassa de 100 peixes m ⁻³	
	CR	SR	CR	SR
Mão de obra (Funcionário assalariado)	130,00	390,00	130,00	390,00
Combustível (42 L de gasolina)	65,83	197,50	65,83	197,50
Energia elétrica (223,2 kw h)	386,14	386,14	386,14	386,14
Alevinos de pacus (15 cm)	100,00	100,00	200,00	200,00
Ração (42% PB, 2,5 mm)	97,57	363,90	195,14	727,80
Despesas eventuais (2%)	3,26	3,26	3,26	3,26
Manutenção de equipamentos	2,13	2,13	2,13	2,13
Sub total – COE	784,93	1.442,93	928,50	1.709,33
Depreciação	201,64	201,64	201,64	201,64
Total COT	986,57	1.644,57	1.130,14	1.910,97
Custo de oportunidade	6,65	6,65	6,65	6,65
Total CTP	993,22	1.651,22	1.136,79	1.917,62
Produção (unidades)	100	100	200	200
COE médio	7,85	14,43	4,64	8,54
COT médio	9,86	16,44	5,65	9,55
CT médio	9,93	16,51	5,68	9,58
Preço médio recebido	5,00	5,00	5,00	5,00
Receita Bruta	500,00	500,00	1.000,00	1.000,00
Margem bruta	-284,93	-942,93	71,50	-709,33
Margem líquida	-486,57	-1.644,57	-130,14	-910,97
Lucro líquido	-493,22	-1.151,22	-136,79	-917,62
Índice de lucratividade	-0,98	-2,30	-0,13	-0,91
Ponto de nivelamento COE	1,57	2,88	0,92	1,70
Retorno do capital investido	-0,04	-0,15	-0,01	-0,08

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição; COE: custo operacional efetivo; COT: custo operacional total; CTP: custo total de produção. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 6,47).

Etapa II: Viabilidade econômica de pacus na em terminação em tanques-rede

Desemepnho zootécnico

O ganho de peso e consumo de ração foram superiores nos Peixes alimentados continuamente (SR) ($P < 0,05$) (Tabela 3). A sobrevivência foi de 100% no período experimental.

Tabela 3. Parâmetros de desempenho zootécnico de *P. mesopotamicus* submetidos ou não a restrição alimentar e realimentação, em tanques-rede.

Parâmetros	Tratamentos		Valor de P	cv (%)
	CR	SR		
Peso final (g)	680,05	710,47	0,6193	14,43
Ganho de peso (g)	27,31b	69,71a	0,0008	20,09
Consumo de ração (g)	45,20b	91,00a	0,0020	18,33
Conversão alimentar aparente	1,84	1,39	0,2359	29,81

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste Tukey (P 0,05).

Investimento da instalação dos tanques-rede

O valor do investimento para a implantação de oito tanques-rede na propriedade foi de R\$ 19.506,06. Os tanques-rede foram os itens de maior custo do investimento desse projeto (59,80%). O automóvel e o barco somam juntos 23,4% do total (Figura 5).

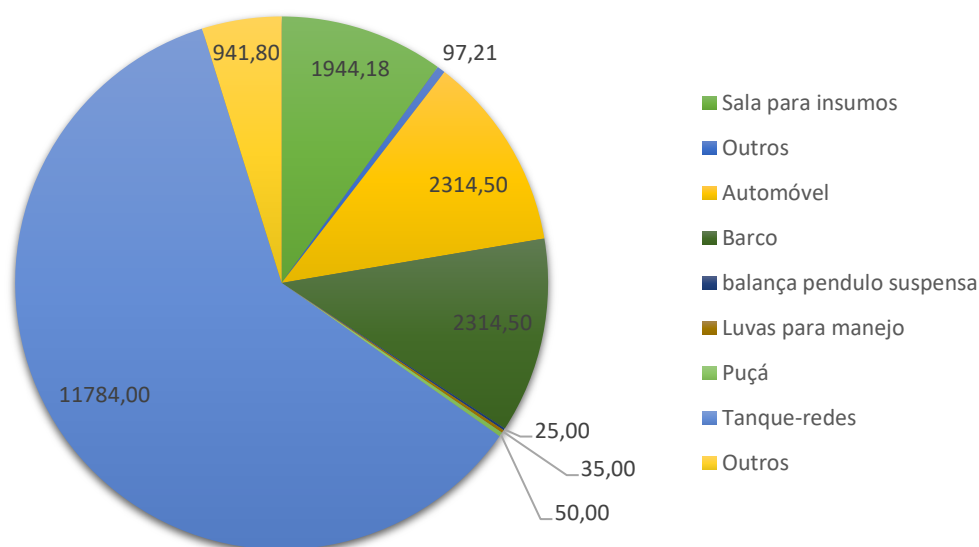


Figura 5. Itens de investimento para implantação de oito tanques-rede em uma área alagada de 0,5 ha, no município de Nioaque, MS, Brasil. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 1 = R\$ 6,18).

Custos da produção

A ração, seguida de aquisição de juvenis e mão de obra foram os itens que mais oneraram nos custos operacionais. Houve uma redução de 49,99% e 50,25% nos custos

com a mão de obra contratada e ração no CR, respectivamente.

Ambas estratégias alimentares (CR e SR) mostraram viabilidade a curto e longo prazo para o cultivo de pacus na fase de terminação em tanques-rede ($L>0$). A alimentação contínua demandou maior quantidade de ração e mão de obra, o que tornou o COE superior aos dos peixes CR. A ML e LL foram positivos no CR e apresentou IL igual à 0. O ponto de nivelamento demonstrou que o tratamento CR precisou de menos produção para cobrir os seus custos operacionais (0,49%).

O tratamento com restrição alimentar (CR) gerou custos operacionais mais baixos e uma maior lucratividade em comparação com o tratamento sem restrição (SR). O SR, embora tenha produzido maior biomassa de pacus, resultou em maiores custos, o que levou a uma margem líquida inferior e um desempenho financeiro reduzido. O CR, com menor consumo de ração e menor custo de mão de obra, apresentaram melhores resultados econômicos, mesmo com a produção ligeiramente inferior (Tabela 4).

Tabela 4. Custo da produção e indicadores econômicos da engorda de *P. mesopotamicus* em dois meses de cultivo, submetidos a restrição alimentar e realimentação. Os valores são referentes ao mês de dezembro de 2024 (US\$ 1 = R\$ 6,18).

	Tratamentos	
	CR	SR
Mão de obra contratada (funcionário assalariado)	135,54	271,07
Combustível (L)	140,00	140,00
Juvenil (800 pacus)	400,00	400,00
Ração (28% PB, 8 mm)	731,03	1.469,48
Despesas eventuais (2%)	6,90	6,90
Manutenção (5%)	2,59	2,59
Custo operacional efetivo (A)	1.416,05	2.290,04
Depreciação (B)	162,60	162,60
Mão de obra familiar (C)	0,00	0,00
Custo operacional total (D=A+B+C)	1.578,25	2.452,63
Custo de oportunidade (E)	11,77	11,77
Custo total de produção (D+E)	1.590,02	2.464,41
Produção (kg)	273	288
Custo operacional efetivo (COE)	5,00	7,98
Custo Operacional Total Médio (COT)	5,79	8,52

Custo Total Médio (CT)	5,83	8,56
Preço médio recebido	10,50	10,50
Receita Bruta (RB)	2.864,61	3.021,77
Margem bruta (RB-COE)	1.448,56	731,74
Margem Líquida (RB-COT)	1.285,96	569,14
Lucro Líquido (RB-CTP)	1.274,19	557,37
Índice de lucratividade (IL)	0,00	0,18
Ponto de nivelamento COE	0,49	0,76
Lucratividade	0,44	0,18
Retorno do capital investido	0,06	0,03

CR: tratamento com restrição; SR: tratamento sem restrição. Valores em R\$ para o mês de dezembro do ano de 2024 (EUA US\$ 6,18).

4. Discussão

Viabilidade da produção de pacus em RAS

Os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro dos níveis ideais para o cultivo de juvenis de *Piaractus mesopotamicus*, sem registro de mortalidade durante o período experimental. Isso reforça a viabilidade do sistema de recirculação de água (RAS) para a espécie, garantindo condições ambientais adequadas ao seu desenvolvimento.

O tratamento CR apresentou desempenho inferior ao SR, sem evidências de ganho compensatório. Esse resultado está em consonância com Nebo et al. (2018), que avaliaram juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidos a jejum por um a três semanas e observaram um desempenho produtivo inferior em relação ao grupo controle. No entanto, os peixes SR ganharam, em média, 50% a mais de peso que os peixes CR, indicando que o RAS em si não prejudicou o crescimento do pacu nessa fase. Resultados semelhantes foram relatados por Santos et al. (2021), que observaram crescimento satisfatório em juvenis de jundiá mesmo durante períodos de menor disponibilidade alimentar.

A duração da realimentação pode ter sido insuficiente para um ganho compensatório expressivo. Em estudo conduzido por Farias et al. (2024), juvenis de pacu submetidos a 30 dias de restrição alimentar seguidos de 50 dias de realimentação demonstraram capacidade de compensar o crescimento. Assim, um período maior de realimentação pode ser necessário para que os peixes sob restrição alcancem um desempenho produtivo similar ao dos alimentados continuamente.

Apesar do desempenho inferior do CR, a criação de juvenis de pacu em sistemas RAS se mostra uma alternativa promissora. Castanedo e Espinosa et al. (2012) testaram diferentes teores de proteína bruta (18% e 28%) na dieta de juvenis de pacu durante 60 dias e observaram crescimento satisfatório em sistema de recirculação. Da mesma forma, Júnior et al. (2016) relataram boas taxas de crescimento para pacus cultivados em diferentes densidades de estocagem (50, 100 e 150 peixes m⁻³) por 69 dias.

A viabilidade econômica dos sistemas RAS tem sido confirmada em diferentes espécies. Castilho-Barros et al. (2014) demonstraram que a produção em pequena escala de camarões marinhos nativos (*Litopenaeus schmitti*) pode suprir o mercado de iscas-vivas destinadas à pesca esportiva estuarina e costeira. Henriques et al. (2022), ao aplicarem modelos de RAS de baixo custo, comprovaram a viabilidade técnica e econômica do cultivo do lambari-da-mata-atlântica (*Deuterodon iguape*) para atender à demanda de iscas-vivas utilizadas na captura do robalo (*Centropomus parallelus*) na pesca esportiva em estuários brasileiros. Esses estudos reforçam que espécies comercializadas de forma unitária, seja para o mercado de iscas-vivas ou para a aquarofilia, apresentam viabilidade econômica quando cultivadas em sistemas RAS.

Os principais custos na implementação do RAS foram a aquisição de materiais de encanamento (30,34%), tanques de cultivo (28,14%) e mídia biológica (15,64%). Para atender às duas estratégias alimentares testadas, o sistema foi projetado com 10 tanques circulares e biofiltros adequados, capazes de melhorar significativamente as concentrações de compostos nitrogenados na água (Pedreira et al., 2009; Otoni, 2015). No presente estudo, o biofiltro demonstrou eficiência na degradação da amônia, mantendo as concentrações de nitrito e amônia total sob controle, sem impacto negativo no desempenho dos peixes.

A análise econômica indicou que a alimentação contínua (SR) gerou custos mais elevados, principalmente devido aos gastos com ração e mão de obra. No entanto, a estratégia de restrição alimentar reduziu esses custos significativamente, alcançando uma economia de aproximadamente 73,2% na ração e 66,6% na mão de obra. Apesar dessa economia, o desempenho produtivo inferior dos peixes sob restrição comprometeu a rentabilidade final, resultando em um prejuízo de R\$ 493,22 no CR. No entanto, o prejuízo no SR foi ainda maior, atingindo R\$ 1.151,22, o que sugere que os altos custos operacionais da alimentação contínua não foram compensados pelo aumento na biomassa dos peixes.

Esses resultados reforçam a importância de equilibrar custos e desempenho

produtivo ao adotar estratégias de manejo alimentar em sistemas RAS. Embora a restrição alimentar reduza despesas diretas, sua aplicação deve ser cuidadosamente planejada para evitar perdas excessivas no crescimento dos peixes. Alternativamente, ajustes no período de realimentação ou no balanceamento nutricional da ração podem melhorar a relação custo-benefício e garantir maior viabilidade econômica ao cultivo.

O aumento da biomassa estocada pode ser uma estratégia viável para reduzir custos fixos por unidade produzida e melhorar a eficiência econômica do sistema. No entanto, é fundamental definir uma biomassa adequada para evitar sobrecarga do filtro e impactos negativos no desempenho zootécnico dos peixes. Estudos indicam que, em algumas espécies, períodos curtos de restrição alimentar e ajustes na densidade de estocagem podem trazer benefícios produtivos sem comprometer a qualidade da água ou a sobrevivência dos animais (Fonseca, 2022). Entretanto, densidades inadequadas podem retardar o crescimento, reduzir a imunidade e afetar negativamente a qualidade da carne e os retornos econômicos (Ellis, 2002; Lin et al., 2018). Assim, a determinação da densidade de estocagem é um fator essencial na aquicultura intensiva (Upadhyay et al., 2022).

Tokunaga et al. (2015) destacaram que a restrição alimentar pode ser vantajosa em sistemas semi-intensivos, desde que adaptada às condições locais para evitar perdas produtivas. Esses resultados indicam que a adoção da restrição alimentar deve ser analisada estrategicamente, levando em consideração a relação custo-benefício e o manejo adequado da biomassa estocada.

O cultivo de pacus em RAS é viável, mas otimizações no manejo alimentar e na densidade de estocagem podem ser necessárias para melhorar a rentabilidade do sistema. Pesquisas futuras devem explorar diferentes períodos de realimentação e estratégias nutricionais que maximizem o crescimento e a eficiência econômica desse modelo de cultivo.

Viabilidade da produção de pacus em tanques-rede

A criação de peixes em tanques-rede exige que a qualidade da água seja adequada ao cultivo, considerando parâmetros físicos, químicos e biológicos do ambiente. Fatores como temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, pH, turbidez e grau de eutrofização desempenham um papel crucial na manutenção do bem-estar dos peixes. No presente estudo, os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro dos níveis ideais para o cultivo de peixes em tanques-rede (Garcez et al., 2021).

Os índices zootécnicos avaliados indicam que pacus na fase de terminação, submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação, apresentaram peso médio final e conversão alimentar semelhantes aos peixes alimentados continuamente, evidenciando um ganho compensatório parcial (Ali et al., 2006).

A instalação dos tanques-rede na área alagada existente na propriedade demandou um investimento de R\$ 19.506,06. O sucesso da implantação de tanques-rede nesse tipo de ambiente depende, em grande parte, do custo inicial. No presente estudo, os tanques-rede representaram o maior componente do investimento. De acordo com Cavalcanti e Barbosa (2025), um dos principais desafios na implementação de sistemas de cultivo em tanques-rede, como no açude de Coremas, é a necessidade de um investimento significativo em infraestrutura, incluindo os próprios tanques, equipamentos de monitoramento e sistemas de alimentação. Esses autores também destacam a importância da mão de obra especializada para o manejo alimentar e o monitoramento da qualidade da água.

A restrição alimentar demonstrou ser uma estratégia economicamente viável para a engorda de *Piaractus mesopotamicus* na fase de terminação em tanques-rede. Os resultados deste estudo corroboram os achados de Silva et al. (2008), que avaliaram a viabilidade econômica do cultivo de diferentes espécies nativas em tanques-rede na usina de Itaipu e identificaram que o pacu apresentou melhor adaptabilidade ao sistema de produção e às condições climáticas, além de demonstrar indicadores econômicos positivos.

Embora a alimentação contínua tenha proporcionado um maior ganho de peso, esse desempenho superior veio acompanhado de um aumento expressivo nos custos operacionais, principalmente no consumo de ração e nos gastos com mão de obra, impactando a sustentabilidade financeira do cultivo. Por outro lado, a viabilidade econômica do tratamento com restrição alimentar (CR) foi mais evidente, pois resultou em custos operacionais mais baixos. A ração representou o maior custo em ambos os tratamentos, mas no CR houve uma redução de 50,25% nesse gasto devido ao menor consumo alimentar. Além disso, a redução de 49,99% nos custos com mão de obra foi um fator determinante para a diminuição dos custos operacionais totais.

Freitas (2009) analisou o investimento necessário para a implementação de um módulo de produção familiar com 12 tanques de 6 m³, constatando que os custos com ração e alevinos representavam entre 48% e 55% do total, dependendo da densidade de estocagem (50 ou 90 peixes m⁻³). Da mesma forma, Furlaneto et al. (2006), ao avaliarem

os fatores econômicos do cultivo de tilápia em tanques-rede, observaram que a ração correspondia a 70% do custo operacional total. Segundo Campos et al. (2007), a criação de peixes em tanques-rede oferece vantagens como a redução dos custos de produção, maior produtividade sem necessidade de expansão da área cultivada e menor investimento inicial (70% inferior ao dos viveiros convencionais), tornando a atividade mais competitiva e sustentável.

A restrição alimentar pode facilitar a gestão de pessoal e suprimentos, reduzindo a necessidade de mão de obra e o uso de equipamentos no sistema produtivo, o que contribui para uma maior viabilidade econômica do cultivo (Acunha, 2021). No entanto, a eficácia dessa estratégia pode variar conforme a espécie e as condições de cultivo. Liu (2016) observou prejuízos econômicos na produção de tilápias do Nilo submetidas a diferentes estratégias de restrição alimentar, principalmente devido ao menor desempenho dos peixes em comparação com a alimentação contínua, resultando em uma redução de 35,97% no lucro.

Neste estudo, a margem líquida (ML) e o lucro líquido (LL) foram maiores no CR. Esse padrão de rentabilidade reforça a conclusão de que a restrição alimentar pode oferecer vantagens econômicas a longo prazo, pois a economia em custos operacionais compensa a leve redução no ganho de peso. O ponto de nivelamento, métrica que avalia a quantidade mínima de produção necessária para cobrir os custos operacionais, também foi mais baixo no CR, tornando-o mais eficiente em termos de custos fixos e variáveis (Miao et al., 2015).

A viabilidade econômica do CR em pacus é corroborada por outros estudos envolvendo diferentes espécies de peixes. Souza et al. (2003) avaliaram o efeito de ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação no crescimento do pacu e constataram que seis semanas de jejum seguidas por sete semanas de realimentação resultaram em maior crescimento, menor custo com ração, melhor conversão alimentar e maior receita líquida parcial. De forma similar, Acunha (2021) verificou um ganho compensatório parcial e reduções de custos de 50% e 30% na ração e mão de obra, respectivamente, ao aplicar a restrição alimentar em híbridos de jundia cultivados em tanques-rede.

Zhang et al. (2022) destacam que a aquicultura em tanques-rede representa uma alternativa viável para a produção de alimentos em corpos d'água já existentes, minimizando a necessidade de novas áreas de cultivo. Diante dos resultados, a restrição alimentar se mostra não apenas uma estratégia economicamente viável, mas também uma solução sustentável para a aquicultura. A redução do consumo de ração diminui a pressão

sobre os recursos naturais utilizados na fabricação dos insumos, como soja e milho, além de mitigar o impacto ambiental associado ao excesso de nutrientes liberados no ambiente aquático. Assim, a adoção de estratégias bem planejadas de restrição alimentar pode garantir a viabilidade econômica do cultivo de peixes, ao mesmo tempo em que promove uma produção aquícola mais sustentável.

5. Conclusão

A restrição alimentar de 15 dias seguida de realimentação de 15 dias não apresenta viabilidade econômica no cultivo juvenis de *P. mesopotamicus* em RAS. Na fase de engorda, em tanques-rede, a estratégia demonstrou ser economicamente viável, oferecendo uma redução significativa nos custos operacionais sem prejudicar consideravelmente o desempenho zootécnico, proporcionando maior lucratividade e menor ponto de nivelamento, o que o torna uma opção mais sustentável e rentável, especialmente quando se considera a viabilidade econômica a longo prazo.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados que dão suporte às descobertas deste estudo estão incluídos no texto e nas tabelas. Dados brutos para todas as figuras estão disponíveis com os autores correspondentes mediante solicitação razoável.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa da autora Acunha, RMG e ao proprietário Rafael Guerra, pela disposição em ceder a piscicultura para execução desse experimento.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- Acunha, R. M. G. (2021). Restrição alimentar e viabilidade econômica do híbrido (*Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*) em sistema de tanques-rede. 2021. 97 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS. 2021.
- Arana, V. L.; Malpartida, J.; Carbó, R.; Karl, B.; Gisbert, A. E.; Estévez, A. A comparison

- of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of *Tinca tinca* (Cyprinidae) and fry of grey *Mugil cephalus* (Mugilidae). *Aquaculture*, 482, 155-161, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.041>.
- Bittencourt, F.; Feiden, A.; Signor, A. A.; Boscolo, W. R.; Lorenz, E. K.; Maluf, M. L. F. Stocking density and erythrocytic parameters of pacu raised in cages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39 (11), 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100002>
- Campos, C . M . C., Ganeco, L .N., Castellani, D . & Martins, M . I . E . G. (2007). Avaliação econômica da criação de tilápias em tanque - rede, município de Zacarias, SP. *Boletim do Instituto de Pesca* , v.33 (2), 225 - 261.
- Castanedo, O. D.; Espinosa, D.A.M. Desempeño de los sistemas acuícolas de recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* “RAS”. *Observatório de la economía latinoamericana*, v. 22, n. 6, p. e5356-e5356, 2012.
- CASTILHO-BARROS, L; ALMEIDA, F.H.; HENRIQUES, M.B.; SEIFFERT, W.Q. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. *Aquaculture International*, 26: 1187-1206, (2018).
- Castilho-Barros, L.; Barreto, O.J.S.; Henriques, M.B. The economic viability for the production of live baits of white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) in recirculation culture system. *Aquaculture International*, 22(6), 1925-1935, (2014).
- Cavalcanti, R. S.; Barbosa, J. E. de L. Caracterização limnológica em sistema de cultivo de tilápia em tanques-rede no açude estevam marinho em CoremaS-PB. *ARACÊ* , [S. l.], v. 7, n. 2, p. 4641–4658, 2025. DOI: 10.56238/arev7n2-008. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3111>. Acesso em: 12 feb. 2025.
- Conte, L ., Sonoda, D . Y ., Shiota, R . & Cyrino, J . E . P. (2008). Productivity and economics of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cage culture in South - east Brazil. *Journal of Applied Aquaculture* , 20, 18 - 37
- Duran, J. E.; Ferraz, J. M. G. Sustentabilidade na piscicultura em tanques rede: fatores econômicos, sociais e ambientais na microrregião de Jales/SP. *Unifunec científica multidisciplinar*, Santa Fé do Sul, São Paulo, v. 10, n. 12, p. 1–18, 2021. DOI: 10.24980/ucm.v10i12.5190.
- ELLIS, T. et al. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, v. 61, n. 3, p. 493–531, 2002.
- Farias, K. N. N.; Silva, A. L. N.; Silva, T. V.; Gonçalves, S. F.; Kuibrida, K. V.; Honorato,

- C. A.; Rodrigues, R. A.; Owatarie, M. S.; Campos, C. F. M.; Belussi, A. F.; Fernandes, C. E. Effects of days-fasting and refeeding on growth, biochemical and histometric liver parameters in pacu *Piaractus mesopotamicus*. Brazilian Journal of Biology, 84, 2024. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.287072>
- FONSECA, R. H. G. D. (2022). Efeito da restrição alimentar sobre o desempenho zootécnico e composição centesimal de juvenis de lambaris *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875) cultivados em diferentes densidades de estocagem.
- Freitas, R. A. (2011). Desempenho produtivo e avaliação econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques - rede, sob diferentes densidades de estocagem no lago Tupé. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós - Graduação em Ciências Pesqueiras nos trópicos. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. 61p.
- Furlaneto, F. P. B., Ayroza, D. M. M. R. & Ayroza, L. M. S. (2006). Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanque - rede no médio Paranapanema, estado de São Paulo, safra 2004/05. Informações econômicas, São Paulo, 36(3), 63 - 69
- Furuya, W. M., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2014). Restrição alimentar e crescimento compensatório em peixes de cultivo. Boletim Técnico de Nutrição Animal, 5(2), 89-102.
- GARCEZ, J. R. .; NÓBREGA, V. S. L. da .; TORRES, T. P. .; SIGNOR, A. A. Cultivation of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in net tanks: Technical aspects. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e45810817560, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17560. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17560>. Acesso em: 12 feb. 2025.
- Henriques, M.B.; Castilho-Barros, L.; Souza, M.R; Barbieri, E.; Silva, N.J.R.; Nunes, F.A.A.; SANCHES, E.G. Is the small-scale aquaculture of lambari *Deuterodon iguape* (Eigenmann 1907) for live bait in recirculating systems economically profitable? Aquaculture, 546: 737335, (2022).
- Júnior, A. H. et al. Efeito da densidade de estocagem na pré-engorda do pacu, *Piaractus mesopotamicus*, em sistemas de recirculação. Florianópolis, SC. Anais... 26º Seminário de Iniciação Científica- SIC UDESC, 2016.
- Kubitza, F. (2011). Tecnologia e manejo na produção de peixes em tanque-rede. Editora Kubitza, 1ª ed., 320 p.
- LIN, W. et al. Long-term crowding stress causes compromised nonspecific immunity and increases apoptosis of spleen in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Fish and Shellfish

Immunology, v. 80, n. 1, p. 540–545, 2018

Liu, A. T. Restrição alimentar para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo. Toledo, PR, 2016.

Martin, N. B., Serra, R., Oliveira, M. D. M., Ângelo, J. A., Okawa, H., 1995. Sistema integrado de custos agropecuários - CUSTAGRI. Informações Econômicas, 28(1): 7-28.

Matsunaga, M., Bemelmans, P. F., Toledo, P. E. N., Duley, R. D., Okawa, H., Pedroso, I. A., 1979. Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA. Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola, 23(1): 123-139.

Medina, L. de S.; Emerenciano, M. G. C.; Bittencourt, F.; Brum, A.; Souza, H. B. de; Mello, G. L. de. Recirculating aquaculture system: Length-weight relationships and condition factors of four tropical fish species. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e52811427368, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27368.

Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M. and Portella, M.C., 2018. Depletion of stored nutrients during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. Journal of Applied Aquaculture, vol. 30, no. 2, pp. 157-173. <http://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>.

Oliveira, M. A., Souza, R. S., & Lima, F. J. (2021). Características da carne de pacus cultivados em diferentes sistemas de produção. Pesquisa em Produção Animal, 16(4), 34-50.

Otoni, C.J. I. Linhagens de tilápia do Nilo sob diferentes densidades de estocagem. 2015. 51f. Dissertação (Curso de Pós- Graduação em Zootecnia)- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2015.

Pedreira, M. M. et al. Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura de peixes em tanques-redes. Corumbá: Embrapa Pantanal. Série Documentos, 47, pacamã. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 511-518, 2009.

Pellegrin, L., Nitz, L.F., Maltez, L. C., Copatti, C. E., & Garcia, L. (2020). Alkaline water improves the growth and antioxidant responses of pacu juveniles (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture, 519, 734713. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734713>.

Pereira, T. S., Lopes, C. A., & Almeida, M. V. (2019). Impactos ambientais da piscicultura intensiva e estratégias para mitigação. Ambiente Sustentável, 8(2), 77-92.

ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. Boas práticas de manejo (BPMs) para a produção de (Characiformes: Characidae). Revista de Biologia Tropical, v. 60, n. 1, p. 381-391,

2003.

Santos, E. L., Soares, A. C. L., Tenório, O. L. D., Soares, E. C., Silva, T. J., & Gusmão Júnior, L. F. (2018). Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, p. 931-938.

Santos, F. A. C., Boaventura, T. P., Julio, G. S. C., Cortezzi, P. P., Figueiredo, L. G., Favero, G. C., Palheta, G. D. A., Melo, N. F. A. C., & Luz, R. K. (2021). Growth performance and physiological parameters of *Colossoma macropomum* in a recirculating aquaculture system (RAS): Importance of stocking density and classification. *Aquaculture*, 534, 736274. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736274>

Santos, H. K.; Dias, P. S.; Balen, R. E.; Zadinelo, I. V.; Bombardelli, R. A.; Meurer, F. Growth and biology of Jundia fingerlings (*Rhamdia quelen*) in water recirculation system farming. *Brazilian Journal of Development*, 7 (3), 32827-32848, 2018. DOI:10.34117/bjdv7n3-821

Silva, D. F., Martins, E. G., & Rocha, J. C. (2022). Viabilidade econômica do sistema de recirculação na piscicultura intensiva. *Revista de Aquicultura Sustentável*, 10(1), 50-65.

Silva, R. Análise da viabilidade econômica da produção de peixes em tanques-rede no reservatório de ITAIPU. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

Sousa, R. M., Silva, R. R. S., Santos, A. S., Silva, C. V., Magalhães, J. A., & Fogaça, F. H. S. (2020). Tambatinga juveniles performance in a recirculation aquaculture system with diferente stocking densities. *Research, Society and Development*, 9 (5), 178953317. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3317>

Souza, V. L., Urbinati, E. C., Martins, M. I. E. G., Silva, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 1, p. 19–28, fev. 2003b.

Tardim, J. V.; Falqueto, J.; Rambaldi, R.; Gomes, S.; Preto, B. Contribution of the Aquaculture Sector at the Ifes campus in Alegre to achieve the goals set out in the 2030 Agenda. v. 19 n. 1 (2024): *Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia*, Rio de Janeiro, RJ.

Tokunaga, K.; Tamaru, C.; Ako, H.; Leung, P. Economics of Small-Scale Commercial Aquaponics in Hawai'i. *Journal of the World Aquaculture Society*, 46, 20-32. <https://doi.org/10.1111/jwas.12173>

Upadhyay, A. et al. Stocking density matters in open water cage culture: Influence on growth, digestive enzymes, haemato-immuno and stress responses of *Puntius sarana* (Ham, 1822). *Aquaculture*, v. 547, n. April 2021, p. 737445, 2022.

Valladão, G. M. R., Gallani S. U., & Pilarski, F. (2018). South American fish for continental aquaculture. *Aquaculture*, 10, 351 –369. <https://doi.org/10.1111 / raq.12164>

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a restrição alimentar de 15 dias, seguida por 15 dias de realimentação em juvenis de pacu, resultou em um desempenho inferior em comparação aos peixes alimentados diariamente. No entanto, essa estratégia não comprometeu a saúde dos peixes, indicando que pode ser aplicada sem prejuízos ao bem-estar animal. Além disso, durante a fase de engorda, observou-se a ocorrência de ganho compensatório e uma redução na deposição de lipídios nos filés dos pacus criados em tanques-rede.

A literatura destaca que a aquicultura sustentável depende de sistemas produtivos projetados para minimizar os impactos ambientais. Os sistemas de recirculação de água (RAS) têm sido amplamente apontados como fundamentais nesse contexto, pois permitem maior controle da qualidade da água, reduzem a necessidade de trocas hídricas e mitigam a disseminação de patógenos e espécies exóticas no ambiente natural.

A criação em tanques-rede tem se consolidado como uma alternativa viável para o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos continentais. Esse sistema possibilita maior produção por unidade de área em comparação aos viveiros escavados, tornando-se uma das formas mais intensivas de aquicultura e contribuindo para o aumento da produção de proteína animal de maneira sustentável. Além disso, compartilha princípios ecológicos ao utilizar corpos d'água já existentes em propriedades rurais, reduzindo a necessidade de novas intervenções ambientais.

Além dos benefícios ambientais, a sustentabilidade econômica também deve ser considerada. A restrição alimentar demonstrou ser uma estratégia eficiente para a redução dos custos operacionais, especialmente aqueles relacionados à ração e à mão de obra, sem comprometer significativamente o desempenho zootécnico dos peixes. Essa economia contribui para a viabilidade financeira do cultivo, tornando a atividade mais acessível e competitiva para os produtores.

No contexto da aquicultura moderna, garantir a sustentabilidade da produção vai além da maximização da produtividade. É essencial adotar práticas que equilibrem viabilidade econômica, responsabilidade ambiental e bem-estar social. Estratégias de manejo alimentar, como a restrição alimentar planejada, representam um passo importante nessa direção, permitindo uma produção mais eficiente e sustentável.

Os achados deste estudo indicam que a restrição alimentar influencia

significativamente a composição lipídica e o metabolismo dos pacus, mas há uma recuperação metabólica após a realimentação. A manutenção de uma dieta equilibrada após o período de restrição é fundamental para garantir o bem-estar e a saúde dos peixes a longo prazo.

A análise dos tempos de coleta foi essencial para compreender as respostas adaptativas dos peixes à restrição alimentar e à realimentação. Embora a restrição alimentar possa ser utilizada para modular o crescimento e a composição corporal dos pacus, é fundamental monitorar a saúde dos peixes a longo prazo para evitar impactos negativos no metabolismo e na função celular. A realimentação desempenha um papel crucial na recuperação e manutenção da saúde, especialmente na regeneração das membranas celulares e na restauração das funções hepáticas e intestinais.