

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

JURANDYR REIS NETO

**MANEJO ALIMENTAR PARA CURIMATÃ-PACU *Prochilodus argenteus*
(SPIX e AGASSIZ, 1829) ENVOLVENDO CICLOS CURTOS DE
RESTRICÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO**

(Volume I)

RIO LARGO – ALAGOAS – BRASIL

2019

JURANDYR REIS NETO

**MANEJO ALIMENTAR PARA CURIMATÃ-PACU *Prochilodus argenteus*
(SPIX e AGASSIZ, 1829) ENVOLVENDO CICLOS CURTOS DE
RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO**

Orientador: Prof. Dr. Elton Lima Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Emerson Carlos Soares

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

(Volume I)

RIO LARGO – ALAGOAS – BRASIL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

R375m Reis Neto, Jurandy.

Manejo alimentar para curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* (SPIX e AGASSIZ, 1829) envolvendo ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação / Jurandy Reis Neto. – 2019.
93f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Elton Lima Santos.
Coorientador: Prof. Dr. Emerson Carlos Soares.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2019.

Inclui bibliografia

1. Adaptação Fisiológica. 2. Desempenho Zootécnico. 3. Espécie Nativa. 4. Jejum. I. Título.

CDU: 639.3

TERMO DE APROVAÇÃO

JURANDYR REIS NETO

MANEJO ALIMENTAR PARA CURIMATÃ – PACU *PROCHILODUS ARGENTEUS* (SPIX E AGASSIZ, 1829) ENVOLVENDO CICLOS CURTOS DE RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zootecnia, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

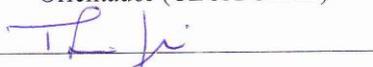
A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 04/10/2019



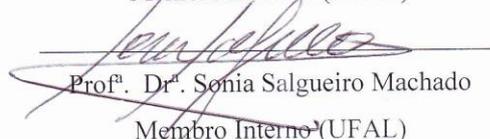
Prof. Dr. Elton Lima Santos

Orientador (CECA/UFAL)



Profª. Drª. Themis de Jesus da Silva

Membro Externo (UFAL)



Profª. Drª. Sonia Salgueiro Machado

Membro Interno (UFAL)

Rio Largo – AL

2019

Dedicatória

A meu pai, José George “*in memoriam*”, por me ensinar o essencial da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo discernimento, direcionamento, proteção e força para superar as adversidades e continuar buscando meus objetivos, traçando novas metas;

A minha mãe, Maria de Lourdes, pelo apoio, força e todo carinho que é essencial para minha carreira profissional;

A meu irmão, Geuan Reis, pelo suporte intelectual na elaboração de vários trabalhos e por todo apoio ao decorrer da minha jornada;

A meu padrinho, Eduardo Reis, pelo importante apoio no período inicial;

A todos familiares e amigos pelas vibrações positivas;

A meu orientador Prof. Dr. Elton Lima Santos, pela parceria, confiança em meu trabalho e por nortear a elaboração desse estudo;

Ao Prof. Dr. Emerson Carlos Soares por sua contribuição no aperfeiçoamento desta pesquisa;

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelo repasse de conhecimento;

Aos discentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela interação e apoio;

A secretaria e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de ingressar e concluir a pós-graduação;

Aos membros da banca de qualificação, Prof^a. Dr^a Jerusa Maria de Oliveira e Prof. Dr. Irã Menezes Guimarães, pelas considerações e recomendações acerca desse trabalho;

A Prof^a. Dr^a. Themis de Jesus da Silva e Prof^a. Dr^a. Sonia Salgueiro Machado, membros da banca de defesa de dissertação, pelo apoio e reconhecimento e também por suas contribuições acerca do aprimoramento deste estudo.

A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba pela doação dos peixes;

Ao acordo CAPES/FAPEAL sob número 88887.159829/2017-00 pela concessão da bolsa que possibilitou minha permanência e término do mestrado.

A Wilson, pelo apoio e parceria durante sua estadia em Maceió;

Aos estagiários do Laqua: Ricardo, Ceilda, Emilly, Elâne, Wictor, Lucas, Charles, Lineker e mestranda Vivian pelo suporte ao longo de todo período experimental e por todo carinho e reconhecimento. Muito grato a vocês!

Aos membros dos laboratórios de Enzimologia, Fitopatologia, Nutrição Animal e Fitossanitária por todo apoio e suporte técnico e material para realização das análises experimentais;

A Prof^a. Dr^a. Priscylla Costa Dantas, por todo apoio na execução da parte histológica;

Aos discentes do Centro de Ciências Agrárias pela amizade, apoio e força;

A todos que, de algum modo, possibilitaram a elaboração desta pesquisa. Meu muito obrigado!

MANEJO ALIMENTAR PARA CURIMATÃ-PACU *Prochilodus argenteus* (SPIX e AGASSIZ, 1829) ENVOLVENDO CICLOS CURTOS DE RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO

RESUMO - Objetivou-se avaliar os efeitos dos regimes de restrição e realimentação no desempenho produtivo e aspectos fisiológicos em formas jovens do curimatã-pacu. Utilizou-se 140 peixes, com $2,85 \pm 0,04$ g, distribuídos em 20 caixas (130L) em sistema de recirculação de água, inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, durante 64 dias. Os tratamentos foram: T1 – alimentação ininterrupta (7A:0R), T2 – alimentação seis dias e um dia de restrição (6A:1R), T3 – alimentação cinco dias e dois dias de restrição (5A:2R) e T4 – alimentação quatro dias e três dias de privação (4A:3R). A alimentação foi ofertada três vezes ao dia (08:00, 12:00 e 16:00) até aparente saciedade com ração de 45%PB, obedecendo os dias de alimentação de cada tratamento. Os parâmetros físico-químicos da água foram mensurados diariamente. As variáveis de desempenho avaliadas foram: peso final (PF), ganho de peso (GP), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), largura do corpo (LC), altura do corpo (AC), comprimento da cabeça (Ccab), taxa de crescimento específico (TCE), consumo médio de ração (CMR), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP), índice de perfil (IPERF), índice de cabeça (ICAB), sobrevivência (Sobrev) e crescimento heterogêneo (CHet). Os dados morfofisiológicos analisados foram: índices hepatossomático e viscerossomático (IHS e IVS), composição corpórea, histologia do intestino, glicose sanguínea e células de defesa, capacidade antioxidante (SOD, CAT e GST), malondialdeído (MDA) e atividade de colinesterases (AChE e BuChE). Os resultados foram submetidos a análise de variância e, havendo diferenças significativas entre médias, utilizou-se teste de Tukey a 5%. 6A:1R e 5A:2R exibiram valores de PF, GP, CT, CP e Ccab semelhantes ao 7A:0R, diferindo ($p < 0,05$) de 4A:3R que revelou os piores resultados, indicando baixa adaptabilidade do organismo a períodos mais prolongados de jejum nessa fase de vida. A inexistência de hiperfagia resultou em menor CMR ($p = 0,0000$) nos grupos em restrição. A TCE do 5A:2R foi similar a 7A:0R, que diferiu ($p = 0,0116$) dos demais. O CHet foi amenizado em 4A:3R. Os grupos 5A:2R e 4A:3R exibiram menores níveis lipídicos e de matéria seca ($p < 0,01$) e maiores concentrações proteicas ($p < 0,01$), revelando baixa agressividade e boa adaptação a esses regimes. A restrição proferiu alterações histomorfológicas no intestino anterior como maneira de adaptação. Glicose, linfócitos e monócitos não diferiram entre os distintos regimes alimentares. A SOD hepática foi maior ($p = 0,0332$) nos grupos sob restrição. A BuChE revelou maior atividade ($p < 0,05$) no cérebro e músculo em 7A:0R. A adoção de até dois dias de restrição semanal pode ser aplicada no manejo alimentar dessa espécie nessa fase de vida sem que haja interferências significativas no desempenho e severas consequências fisiológicas.

Palavras-chave: adaptação fisiológica, desempenho zootécnico, espécie nativa, jejum

FOOD MANAGEMENT FOR CURIMATÃ-PACU *Prochilodus argenteus* (SPIX and AGASSIZ, 1829) INVOLVING SHORT CYCLE OF FOOD RESTRICTION AND FEEDBACK

SUMMARY - The objective of this study was to evaluate the effects of restriction and feedback regimes on productive performance and physiological aspects in curimatã-pacu fingerlings. A total of 140 fish were used, with 2.85 ± 0.04 g, and 20 boxes (130L) were distributed in a completely randomized water recirculation system with four treatments and five replicates for 64 days. The treatments were: T1 - uninterrupted feed (7F:0R), T2 - feeding six days and one day of fasting (6F:1R), T3 - feeding five days and two days of restriction (5F:2R) and T4 - feeding four days and three days of deprivation (4F:3R). Feeding was provided three times a day (08:00, 12:00 and 16:00) to apparent satiety with 45% CP feed, obeying the feeding days of each treatment. The physical-chemical parameters of the water were measured daily. The performance variables evaluated were: final weight (FW), weight gain (WG), total length (TL), standard length (SL), body width (BW), body height (BH), length of head (LH), specific growth rate (SGR), average feed intake (AFI), apparent feed conversion (AFC), rate of protein efficiency (PER), profile index (PI), head index (HI), survival (Surv) and heterogeneous growth (HG). The physiological data analyzed were: hepatosomatic and viscerosomatic indexes (HSI and VSI), body composition, bowel histology, blood glucose and defense cells, antioxidant capacity (SOD, CAT and GST), malondialdehyde (MDA) and cholinesterase activity (AChE and BuChE). The results were submitted to analysis of variance and, with significant differences among averages, a Tukey test was used at 5%. 6F:1R and 5F:2R showed values of FW, WG, TL, SL and LH similar the 7F:0R, differing ($p < 0.05$) from 4F:3R that showed worse results indicating low organism adaptability to longer periods in this stage of life. The absence of hyperphagia resulted in lower AFI ($p = 0.0000$) in the fasted groups. The 5F:2R AFC was similar the 7F:0R, which differed ($p = 0.0116$) from the others. HG has been softened to 4A:3R. The 5F:2R and 4F:3R groups had lower lipid levels and dry matter ($p < 0.01$) and higher protein concentrations ($p < 0.01$), showing low aggressiveness and good adaptation to these regimes. Fasting caused histomorphological changes in the anterior intestine as a way of adaptation. Glucose, lymphocytes and monocytes did not differ between different dietary regimes. Hepatic SOD was higher ($p = 0.0332$) in the groups under restriction. BuChE revealed higher activity ($p < 0.05$) in the brain and muscle of the 7F:0R. The adoption of up to two days of fasting per week can be applied to the feeding of this species at this stage of life without significant interference with performance and severe physiological consequences.

Keywords: physiological adaptation, zootechnical performance, native species, fasting

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. Curimatã-pacu (<i>Prochilodus argenteus</i>)	11
2.2. Manejo alimentar	13
2.3. Efeitos da restrição alimentar em peixes	15
2.4. Crescimento compensatório em peixes submetidos à restrição alimentar ...	18
2.5. Crescimento heterogêneo em peixes sob privação alimentar	20
2.6. Composição corpórea em peixes sob jejum	22
2.7. Histologia do trato digestivo de peixes sob privação alimentar.....	25
2.8. Capacidade antioxidante em peixes sob jejum.....	27
2.9. Atividade de colinesterases em peixes	31
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
4. Objetivos.....	44
4.1. Geral.....	44
4.2. Específicos.....	44
5. ARTIGO 1.....	45
Introdução	45
Materiais e Métodos.....	47
Resultados.....	51
Discussão.....	57
Agradecimentos.....	62
Referências	63
6. ARTIGO 2.....	70
Introdução	70
Materiais e Métodos.....	72
Resultados.....	76
Discussão.....	81
Conclusão.....	86
Agradecimentos.....	86
Referências	86
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
8. ANEXOS	93

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas décadas tem crescido exponencialmente a procura e o consumo de produtos do pescado, entretanto, a pesca extrativa que antes supria mais da metade da demanda por pescado encontra-se estagnada e sem perspectivas de crescimento, devido a sobrexploração de vários recursos pesqueiros de importância econômica e ambiental. Desse modo, a tendência é que a atividade aquícola aporte essa crescente demanda, com mais investimentos no setor produtivo associado a aplicação de técnicas e manejo adequado, que resultem em alta produtividade com menores custos.

Os custos com ração margeiam cerca de 70% em sistemas piscícolas (PAZ et al., 2018; SANTOS et al., 2018) e, dessa forma, a criação e aplicação de técnicas que reduzam esses custos são importantes para amortizar os valores direcionados ao consumidor final e tornar o produto mais atrativo economicamente. O uso de períodos curtos de privação de alimentos seguidos de realimentação adequada pode ser uma boa alternativa para mitigar custos e reduzir carga orgânica do sistema, sem afetar o desempenho zootécnico do organismo (ADAKLI e TAŞBOZAN, 2015), evitando desperdícios (BERNARDES e PÚBLIO, 2012).

Protocolos de restrição alimentar seguidos de realimentação são bem difundidos em espécies exóticas de alto valor produtivo, no entanto, pouco se conhece da influência de diferentes regimes alimentares em espécies nativas com potencial produtivo. O curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*), espécie endêmica da bacia do São Francisco (SOARES et al., 2019) e, considerado um dos recursos pesqueiros mais explorados no baixo São Francisco, revela grande potencial produtivo e, desse modo, a adoção de técnicas de privação alimentar por curtos períodos, pode surtir efeitos positivos no seu desempenho zootécnico.

Estudos sobre a restrição alimentar em peixes são importantes para uma melhor compreensão da biologia do crescimento destes no ambiente natural e sob condições de cultivo (PASSINATO et al., 2015). Considerando que as informações relativas à privação alimentar e crescimento compensatório em espécies de peixes tropicais e subtropicais são escassas, especialmente para espécies nativas, e que as respostas compensatórias são espécie-específica, este estudo avaliou a influência de diferentes regimes alimentares sobre o desempenho produtivo e aspectos fisiológicos de formas jovens do curimatã-pacu (*P. argenteus*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*)

As comunidades de peixes presentes nos maiores rios da América do Sul possuem um elevado número de espécies detritívoras das famílias Prochilodontidae e Curimatidae, que se destacam por representarem cerca de 50% da biomassa da ictiofauna dessa região (CASTRO e VARI, 2004; HATANAKA et al., 2006; MELO et al., 2013). Inserida na classe Actinopterygii; ordem Characiformes; família Prochilodontidae; gênero *Prochilodus*, *P. argenteus* é uma espécie endêmica do rio São Francisco (ALMEIDA et al., 2015; SOARES et al., 2019) e representa grande importância na pesca artesanal continental brasileira. Essa família chegou a representar 20% de todo o pescado explorado em águas interiores do Brasil, na década de 1980 (CAMPECHE et al., 2011). Atualmente, no entanto, esta pescaria evidencia sinais de que os estoques estão em depleção. Isso pode ser atribuído a um conjunto de fatores, como o uso incorreto da terra ao redor, a sobrepesca e, principalmente, o represamento dos rios (ARANTES et al., 2011).

A família Prochilodontidae compreende três gêneros: *Ichthyoelephas*, *Prochilodus* e *Semaprochilodus*. Os membros dessa família normalmente apresentam lábios protuberantes, dentes minúsculos e mandíbulas altamente reestruturadas; estas características distinguem esta família externamente de todos os outros characiformes. Curimatã-pacu *P. argenteus*, uma espécie endêmica da bacia do rio São Francisco, hoje introduzida em outras drenagens neotropicais, é o maior membro da família Prochilodontidae atingindo até 15 kg de peso corporal, e está entre as espécies de peixes de maior interesse comercial e de lazer da bacia (SANTOS et al., 2016).

O curimatã-pacu, vulgarmente conhecido pelas comunidades tradicionais por xira, bambá ou zulega, apresenta corpo fusiforme e alongado, de coloração prateada-acinzentada, focinho peculiar e boca subterminal em forma de ventosa e protátil (Figura 1). Estes peixes, geralmente, se alimentam de matéria orgânica particulada depositada no fundo de corpos d'água, são iliófagos e reofílicos, e possuem desova total e elevada prolificidade (LOPES, 2010). Apenas uma pequena porcentagem de espécies de peixes se alimentam como detritívoros (BOWEN, 1983). Mesmo se alimentando de matéria orgânica particulada em ambiente natural, uma dieta balanceada é fundamental para atender às necessidades nutricionais desse peixe em confinamento.



Figura 1. Exemplar de curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*). Foto: Autor (2019).

O ciclo reprodutivo acontece, geralmente, no período de chuvas mais intensas, sendo uma de piracema. O período de desova ocorre de dezembro a março, em situações normais, podendo ocorrer alterações mediante as condições climáticas. Nesse período, acumulam-se em grandes cardumes e, os machos, quando aptos, emitem “roncos”. Não apresenta cuidado parental com a sua prole, devido à grande produção de ovos. As fêmeas desovam uma vez por ano, podendo produzir de 200 mil a 2 milhões de ovos, a depender do tamanho do organismo (CAMPECHE et al., 2011).

Mesmo com notório declínio em suas populações naturais, é uma das espécies de peixe mais exploradas e comercializadas na região do litoral sul de Alagoas, com destaque para os municípios de Penedo e Piaçabuçu (ALMEIDA et al., 2015), sendo importante para o comércio dessas cidades e regiões circunvizinhas, devido à geração de renda, quantidade de pescadores envolvidos na exploração e atravessadores que vivem exclusivamente da distribuição deste recurso (BARBOSA e SOARES, 2009). Atualmente, necessita-se ampliar e aprimorar o manejo e repasse de técnicas a pequenos e médios produtores, com intuito de inserir a espécie no cenário dos peixes mais cultivados na região ribeirinha (ANJOS et al., 2009).

Essa espécie tem enfrentado problemas devido à poluição dos rios e pelas construções de represas hidrelétricas, que afetam o seu ciclo reprodutivo e, conseqüentemente, culmina na redução dos estoques pesqueiros naturais. Com isso, surge a necessidade em incentivar a produção deste organismo, com intuito de suprir possíveis demandas e colaborar com a recomposição do estoque natural com base em peixamentos. A criação dessa espécie é direcionada, principalmente, a cultivos extensivos ou semi-intensivos, para fins de subsistência e alevinagem em centros de piscicultura, para posteriores peixamentos públicos ou distribuição em pesque-pagues (NUNES et al., 2006).

É importante destacar que os fatores de inibição do desenvolvimento de cultivos intensivos em espécies nativas, podem estar atrelados as elevadas taxas de mortalidade durante a fase de desenvolvimento inicial e o manejo de rotina. Desse modo, visando a mitigação de tais problemas, é necessário a aplicação de protocolos alimentares condizentes a espécie e sua fase de vida, requerendo maior sobrevivência e produtividade, sendo importante a aplicação de estudos que avaliem o comportamento e desempenho do organismo com base no manejo da dieta.

2.2. Manejo alimentar

A piscicultura, enquanto atividade zootécnica, teve na última década emergente desenvolvimento, exigindo assim estudos de nutrição e de alimentação das espécies nativas de interesse comercial, para tornar-se uma atividade economicamente viável, e de importância estratégica para o desenvolvimento do país (FRASCA-SCORVO et al., 2007).

Um dos fatores que garantem a ótima produtividade da piscicultura está relacionado à dieta (SANTOS et al., 2010). A determinação do manejo alimentar para as diferentes espécies de peixes é fundamental para a obtenção de produção eficiente, pois a necessidade nutricional é influenciada pela disponibilidade de alimento. Portanto, a escolha do melhor nível de arraçoamento para os peixes, nas diferentes fases, torna-se determinante no sucesso de uma criação (SALARO et al., 2008; CHO, 2014). É importante destacar que além de uma nutrição apropriada, a frequência com que o alimento é ofertado também é imprescindível para um bom desempenho do animal (PASSINATO et al., 2015).

A obtenção de um manejo alimentar adequado de uma espécie, depende de um conjunto de fatores que influenciam a ingestão dos alimentos tais como: quantidade e qualidade do alimento, tamanho, textura, cor, propriedades organolépticas do alimento, temperatura da água, oxigênio dissolvido, horário de arraçoamento, frequência e ritmo de alimentação, sistema de criação, teor de proteína e energia da ração (FRASCA-SCORVO et al., 2007). Gerenciar adequadamente a alimentação é importante, pois, possibilita que o produtor conheça a quantidade de alimentos a serem ofertados para os organismos em cativeiro, almejando melhores resultados produtivos (FUJIMOTO et al., 2016).

A oferta de rações comerciais, principalmente as extrusadas, é uma boa opção para o cultivo de peixes, por facilitar a visualização pelos tratadores, diminuir o tempo de engorda, melhorar a eficiência alimentar e reduzir o problema atrelado a qualidade da água (YOSHIOKA, 2014). A correta administração das dietas é muito importante para o atendimento

das exigências nutricionais, embora existam poucos peixes com todas suas exigências supridas, principalmente para que a proteína não seja destinada a geração de energia, como normalmente ocorre em situações severas de jejum, devido manejo alimentar mal planejado, e sim para a formação e desenvolvimento corporal (URBINATI et al., 2015).

O gasto com ração é um dos empecilhos que mais influenciam na pouca lucratividade da piscicultura intensiva. O emprego de manejo alimentar correto pode proporcionar uma taxa de ingestão que melhore a relação entre a quantidade de alimento fornecida e a produção de biomassa e que, conseqüentemente, diminua o gasto com ração na produção de uma mesma biomassa de peixe, ou reduza o tempo de cultivo (CRESCÊNCIO et al., 2005). Cabe destacar também que o arraçoamento dos peixes com níveis superiores às suas necessidades fisiológicas, pode culminar em baixo desempenho produtivo e, conseqüentemente, prolongar o tempo de cultivo e aumentar o desperdício de alimento, piorando a qualidade da água (SALARO et al., 2008).

A padronização da frequência alimentar e o emprego apropriado da restrição alimentar, pode permitir o uso de menores quantidades de ração e mão de obra direcionada ao manejo nutricional, o que acarreta em diminuição de custos nos cultivos e maior retorno financeiro, podendo originar resultados positivos no crescimento compensatório (GONÇALVES et al., 2014) e conseqüentemente, uma melhor conversão alimentar. Também pode contribuir como estimulante para o peixe procurar o alimento em períodos pré-estabelecidos, o que deve diminuir o desperdício de alimento (MARTINELLI et al., 2013).

O estado nutricional dos peixes determina seu ritmo de desenvolvimento e sua resposta às distintas oscilações ambientais, sendo assim, o manejo alimentar adequado, atentando para quantidade, qualidade, frequência alimentar e porcentagem de proteína bruta, por exemplo, em níveis compatíveis com a fase da vida, pode promover melhor desempenho produtivo e maior resistência a agentes estressores, provenientes do manejo excessivo e oscilações bruscas em parâmetros físico-químicos da água, que ocorrem corriqueiramente na piscicultura (YOSHIOKA, 2014).

O manejo da dieta visa a eficiência alimentar e redução dos custos almejando a expressão do desenvolvimento compensatório do organismo após ser realimentado (HERRERA et al., 2016). No entanto, alguns resultados são divergentes sobre a aplicação desta estratégia, provavelmente pelas distintas metodologias e tratamentos aplicados e espécies trabalhadas (CAMARGO et al., 2008). De acordo com MORSHEDI et al. (2013) a presença de diferenças de desempenho zootécnico entre os diversos estudos com teleósteos pode estar relacionada aos diferentes protocolos ou condições experimentais, variações temporais, condições fisiológicas

e intensidade da restrição alimentar. A técnica de restrição alimentar em termos de alimento ofertado pode ser uma boa ferramenta para ser empregada em campo visando otimizar o sistema produtivo, já que alterações na ração, no ponto de vista econômico, pode determinar um aumento dos custos no ciclo produtivo (RODRÍGUEZ e LANDINES, 2011).

2.3. Efeitos da restrição alimentar em peixes

A privação alimentar é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente no ambiente, devido a escassez alimentar (BOECK et al., 2013), ao decorrer da migração de peixes, durante o inverno ou em períodos reprodutivos, ao longo dos quais os peixes revelam a capacidade de sobreviver sem se alimentar por extensos períodos (NEBO et al., 2017). BLAKE (1935) ao examinar 22 peixes salmonídeos no período de migração, constatou que em 15 destes não havia alimento no tubo digestivo, ratificando a capacidade de espécies migradoras em suportar períodos de restrição alimentar.

Os períodos de jejum antes do transporte e da despesca do salmão do Atlântico, são praticados para obter a evacuação completa do intestino e um trato digestivo limpo, para garantir uma boa qualidade da água, mitigando a excreção de amônia e reduzindo a taxa metabólica, atividade física, hierarquia e estresse durante o transporte. A privação do alimento é praticada também por questões de bem-estar, pois presume-se que os peixes em estado de jejum são mais calmos e mais tolerantes ao estresse (WAAGBØ et al., 2017).

Entretanto, MIDWOOD et al. (2016) revelam que quando expostos à privação de alimentos, particularmente em períodos prolongados, o declínio no estado nutricional, que pode ir além dos macronutrientes para incluir vitaminas e minerais (HALVER e HARDY, 2002) pode ocasionar prejuízos na função imunológica (CARUSO et al., 2011), induzir estresse oxidativo, alterar a saúde animal (WANG et al., 2006) e até mesmo o comportamento. Em casos extremos, a privação de alimentos pode levar à mortalidade (NAMRATA et al., 2011), direta ou indiretamente, próximo de quando ocorre o período de privação alimentar, ou seja, quando há energia insuficiente para manter a homeostase (MCCUE, 2010) ou em um momento futuro.

A privação alimentar pode aumentar o processo de envelhecimento, a lesão por isquemia e perfusão, a toxicidade para produtos químicos e a morbidade em determinadas situações patológicas. Estes efeitos podem ser atribuídos, principalmente, à participação de espécies reativas geradas pela inanição, podendo ocasionar estresse oxidativo (PASCUAL et al., 2003). As reações à privação de alimento são flexíveis e dependentes de fatores como espécie, idade, condição nutricional, estação do ano e temperatura. As taxas de crescimento após um período

de privação de alimento, variam fortemente com a temperatura, mas a dependência da temperatura parece ser diferente para o crescimento normal e de recuperação (VAN DIJK et al., 2005).

A restrição alimentar durante 28 dias em bagre do canal causou um retardo no crescimento corpóreo (PETERSON e SMALL, 2004) , alterando a qualidade física e organoléptica da carne (RIOS et al., 2009). NEBO et al. (2017) destacam que em teleósteos, a manutenção do desenvolvimento e crescimento do músculo esquelético é um processo complexo, e pode sofrer influências de fatores ambientais, e pelos estados nutricionais e fisiológicos do animal. Portanto, entender os mecanismos moleculares que controlam o crescimento muscular em peixes, seria benéfico para melhorar a produção sob diferentes condições que ocorrem, como o jejum de curto prazo. KELLEY et al. (1992) observaram aumentos nos níveis de cortisol, que é o principal hormônio do catabolismo, em *G. mirabilis* após 20 dias de privação do alimento. A inibição da função tireoidiana, também parece ser uma das respostas endócrinas mais consistentes à privação alimentar (ARSLAN et al., 2015).

Aumentar a eficiência alimentar, reduzir os custos metabólicos (SALAM et al., 2000) e diminuir a mobilidade, são alguns dos mecanismos utilizados pelos peixes para reduzir o gasto energético. Curiosamente, essas estratégias, às vezes, são mantidas durante e após o período de realimentação, o que pode contribuir para o aumento no ganho de massa. Conseqüentemente, nenhuma perda de massa corpórea foi observada para *Barbonymus schwanenfeldii*, após uma redução de 11,3% no consumo de ração (PAZ et al., 2018).

Em períodos de escassez alimentar e jejum prolongado, o uso de mecanismos que maximizem o retorno geral de energia e nutrientes da dieta específica que está sendo consumida, associada a redução nos custos ligados à manutenção de um dos sistemas mais caros do corpo, em termos de requisitos energéticos e proteicos, é fundamental para manutenção do organismo (ZALDÚA e NAYA, 2014). Esta adaptação, pode ser observada como redução da perda diária de massa corporal ao longo do tempo.

A resposta inerente à restrição alimentar de peixes é específica e depende da duração e da gravidade do processo, sendo mais eficaz quando o protocolo de restrição é utilizado por curtos períodos (PASSINATO et al., 2015).

Posteriormente ao período de restrição alimentar, os peixes apresentam mecanismos capazes de reverter processos de mobilização das reservas para suprir o catabolismo. Na fase de realimentação, inicialmente, eles utilizam o alimento para prover as necessidades energéticas e sustentação dos processos vitais e para recompor o catabolismo do tecido. Somente após estabilizar essa situação, o destino da dieta será para o crescimento (SANTOS et al., 2010).

Esta técnica limita a quantidade de alimento administrado ao peixe, e tem potencial para reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade da água, diminuindo a carga de efluentes (TAKAHASHI et al., 2010). A manutenção dos processos essenciais e vitais é realizada às custas de reservas energéticas, culminando em sua depleção e perda progressiva dos tecidos, de acordo com a intensidade do tempo de restrição alimentar (OH et al., 2007).

A sobrevivência dos peixes durante privação alimentar é uma habilidade característica em muitas espécies. Em função da escassez temporal e espacial de alimentos, ou ciclo migratório reprodutivo, períodos de jejum são comuns, porém, as respostas metabólicas durante a restrição alimentar oscilam bastante entre os peixes ósseos (SOUZA et al., 2003; AZODI et al., 2015). A maioria dos teleósteos pode suportar apenas alguns dias ou semanas de jejum, porém, alguns peixes como enguia europeia *Anguilla anguilla*, são descritos como de alta resistência a períodos de privação alimentar, tolerando meses (ESLAMLOO et al., 2017).

O aprimoramento de programas alimentares mais eficazes quanto à intensidade e duração da privação, pode ser um método eficiente para mitigar os efeitos do consumo demasiado de alimento, e suas consequências negativas para a eficiência alimentar dos peixes e redução de custos, ao passo que, a maioria das pesquisas sobre restrição alimentar em peixes, tem utilizado como base longos períodos de restrição (semanas e meses), sendo dada pouca atenção ao efeito da privação por períodos mais curtos (alguns dias) (PALMA et al., 2010). Assim, em muitos casos, longos períodos de restrição alimentar, mesmo seguidos de realimentação e aumento de consumo alimentar, não garantem que o pleno crescimento compensatório seja alcançado (PASSINATO et al., 2015).

O emprego de técnicas de restrição alimentar pode ser indicado para pisciculturas com situação econômica desfavorável, visando reduzir custos, poupar mão de obra e melhorar a qualidade da água, caso tenha-se constatado anteriormente a viabilidade do processo. A principal finalidade em se aplicar a estratégia de restrição alimentar é estimular respostas fisiológicas, como a mobilização dos nutrientes e a expressão do crescimento compensatório, o qual é atingido normalmente por organismos submetidos a protocolos de restrição/realimentação (BLANQUET e OLIVA-TELES, 2010).

Pesquisas sobre restrição alimentar e ganho compensatório de peso em peixes nativos ainda são pouco abordadas, com estudos em algumas espécies como *Colossoma macropomum* (SANTOS et al., 2018) e *Hoplias malabaricus* (RIOS et al., 2009). Desse modo, estudos com espécies nativas que potencialmente auxiliem na redução de custos com a mão de obra e atenuem o desperdício de alimentos, são de grande relevância para o desenvolvimento da cadeia produtiva.

2.4. Crescimento compensatório em peixes submetidos à restrição alimentar

O crescimento parcial, total e acima da compensação tem sido observado em teleósteos submetidos a restrição/realimentação (NEBO et al., 2017). Durante tempos difíceis de escassez alimentar, os animais fazem de tudo para obter o maior retorno para seu balanço energético, incluindo o ajuste do metabolismo energético e o bloqueio de processos não essenciais, como crescimento e reprodução (SALIN et al., 2018). Quando a oferta de alimentos aumenta novamente, algumas espécies de peixes apresentam crescimento acelerado, um fenômeno denominado crescimento compensatório (PAZ et al., 2018). O crescimento compensatório é descrito, principalmente, em espécies de água fria, enquanto os dados sobre espécies nativas de ambientes tropicais não são consistentes (VAN DIJK et al., 2005).

O crescimento compensatório refere-se à capacidade do animal para o desenvolvimento mais acelerado do que o normal, após ser submetido a um período de restrição alimentar, recuperando o peso original ou aumentando a taxa de crescimento. Desse modo, a taxa de crescimento dos peixes está condicionada a disponibilidade e qualidade de alimento no meio (GÓMEZ-PEÑARANDA et al., 2016).

De acordo com o modelo lipostático proposto por JOBLING e JOHANSEN (1999), o tecido adiposo tem um papel regulador no controle do apetite. A redução na proporção de gordura, em relação à massa corporal magra, durante a restrição alimentar, induz a hiperfagia e, portanto, o crescimento compensatório mediante a realimentação. No entanto, esse crescimento compensatório tende a cessar quando as reservas de gordura são restabelecidas (FERREIRA e NUÑER, 2015).

A baixa ingestão alimentar e o crescimento prejudicado numa fase precoce, podem resultar em menor desempenho durante os estágios posteriores da vida, uma vez que, as reservas lipídicas são decisivas para a sobrevivência futura e o momento da migração. Durante o jejum (fase catabólica), os níveis de grelina e hormônio de crescimento (GH) estão elevados, o que aumenta o apetite e a lipólise, enquanto os fatores de crescimento semelhantes à insulina (IGFs) cessam (KULLGREN et al., 2010).

A maior taxa no crescimento é proporcionada pelo aumento do consumo de alimentos (hiperfagia), que é mais pronunciada, quanto mais os depósitos de armazenamento do corpo são esgotados, após um período de jejum (VAN DIJK et al., 2005). Os resultados sobre o crescimento compensatório total em peixes sob restrição alimentar durante os períodos de

realimentação, são ratificados pelo ganho de peso corporal e elevado consumo de ração (ADAKLI e TAŞBOZAN, 2015). A maioria dos estudos experimentais em espécies confinadas, foi realizada para avaliar o mecanismo de crescimento compensatório na melhoria da produção e/ou para influenciar a composição final do produto (FERREIRA e NUÑER, 2015).

Espécies migradoras como o matrinxã, podem exibir crescimento compensatório quando submetidas a curtos períodos de restrição, pois, na natureza a adaptação a períodos de escassez alimentar ocorre com frequência. URBINATI et al. (2014) trabalhando com juvenis de matrinxã (*Brycon amazonicus*) constataram o crescimento compensatório completo com uso de ciclos de dois dias de restrição seguidos de três ou quatro dias de realimentação durante um período de 60 dias, o que resultou em uma redução de aproximadamente 40% na oferta de alimento, o que pode ser uma alternativa promissora para melhorar o manejo dessa espécie e a sustentabilidade do sistema produtivo.

As tilápias são espécies altamente resistentes e apresentam boa produtividade, mesmo em condições de manejo inadequado. Com isso, e devido ao hábito alimentar, o uso de ciclos curtos de jejum pode ser uma alternativa viável para produção sustentável deste organismo, visto que, PALMA et al. (2010) em estudo com juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sugerem o uso da estratégia de 5 dias de alimentação seguidos de 2 dias de restrição, como ferramenta para diminuir o alimento ofertado sem causar danos ao desempenho produtivo dos peixes, entretanto, ressaltam que estudos com avaliação econômica dessa estratégia devem ser aplicados.

O interesse da gestão de pisciculturas comerciais está voltado para a compensação total ou sobre-compensação dos organismos após serem submetidos ao processo de privação alimentar e realimentação. Com isso, a geração de informações adequadas é requisito primordial para explicar e direcionar o manejo produtivo para uso de protocolos alimentares que realmente surtam efeitos positivos, visto que, o crescimento compensatório é de extrema importância para o ramo aquícola e a compreensão dos seus efeitos pode permitir a adoção de ciclos alimentares que otimizem a produção, reduzam custos com ração e mão de obra, e minimizem os problemas atrelados a qualidade da água e estresse dos organismos (GABRIEL et al., 2017).

O crescimento compensatório, em alguns casos, pode exigir muito gasto energético do organismo e expressar resultados negativos. AUER et al. (2010) destacam que esta técnica pode aumentar o risco de mortalidade e reduzir o tempo de vida a longo prazo, diminuindo a resistência a doenças e a fome, favorecendo o estresse oxidativo e mortalidade no inverno. Com

isso, a resposta metabólica dos organismos submetidos a privação é um ponto importante a ser avaliado, para constatar se o processo é bioeconomicamente viável.

2.5. Crescimento heterogêneo em peixes sob privação alimentar

O crescimento heterogêneo (CHet) é comum em espécies com taxas de crescimento distintas (FERNANDES e VOLPATO, 1993; KESTEMONT et al., 2003), mesmo em situação onde existem organismos do mesmo lote e homogeneidade no tamanho inicial (BARBOSA et al., 2006). Em atividades aquícolas, similar a outras práticas pecuárias, é preferível produzir um lote homogêneo (SILVA et al., 2017), pois isso proporcionaria otimizar alimentação, despesa, comercialização e processamento, demandando menor mão de obra e tempo (AZAZA et al., 2013). Entretanto, BARRETO (2011) destaca que mesmo que a heterogeneidade do lote não seja benéfica no ramo produtivo, pode mitigar confrontos e duração de brigas em detrimento da maior sobrevivência, ao passo que, a homogeneidade de um grupo de peixes possibilita competirem por igual em busca do recurso alimentar e resulta em brigas mais duradouras em algumas espécies comerciais, o que demanda maior gasto energético e redução do bem-estar animal.

Alimentos pobres nutricionalmente e escassez em determinado período, fatores genéticos e populacionais têm sido relatados, incluindo interações sociais devido elevadas densidades, como estimulantes do CHet (BARBOSA et al., 2006). Habitualmente, quando há notória discrepância no tamanho entre indivíduos de mesmo grupo, os maiores tendem a competir pelo topo hierárquico, gerando estresse social (LIMA, 2009).

BATISTA (2011) em seu estudo com *Rachycentron canadum* destaca que quatro fatores são cruciais para que ocorra heterogeneidade em grupos de peixes: a competição pelo item alimentar, onde peixes maiores revelam maior consumo, em detrimento de sua maior agilidade e força, o estresse social causado pela submissão aos peixes maiores, a necessidade de aumentar a atividade motora nos subordinados para competir por alimentos e situações de fuga, culminando em maior gasto energético e a dominância que interfere no crescimento de peixes até de mesmo tamanho, devido disputas entre os animais.

Alterações nas taxas metabólicas devido estresse social estão entre as outras causas que resultam em desuniformidade em peixes (FERNANDES e VOLPATO, 1993). A heterogeneidade no tamanho também pode ocorrer em decorrência de dimorfismo entre os sexos, comum em várias espécies de peixes (KESTEMONT et al., 2003).

A restrição dietética e o crescimento compensatório têm sido temas de grande interesse por um tempo considerável, principalmente porque dizem respeito a questões relacionadas ao crescimento diferencial de alguns animais em relação aos organismos de mesma espécie (FERREIRA e NUÑER, 2015). O crescimento heterogêneo é um fenômeno corriqueiro na vida de diversos grupos de organismos, podendo ser oriundo da competição por alimentos (VOLPATO et al., 1989).

A alimentação (quantidade/qualidade) parece ser um mecanismo regulador, que garante que os subordinados permaneçam menores que os dominantes dentro da hierarquia. WONG et al. (2008) revelam que a competição pela comida e o conflito sobre a posição social são os responsáveis pela regulação do crescimento no peixe de recife que vive em grupo, *Paragobiodon xanthosomus* (Gobiidae).

As hierarquias funcionam como filas para reprodução. Quando um dominante morre, todos os subordinados abaixo dele crescem e mudam de posição. Somente quando eles alcançam a frente da fila eles podem se reproduzir. Animais com crescimento lento ao longo do desenvolvimento, tendem a ser prejudicados se atingirem a idade adulta com tamanho reduzido (FERREIRA e NUÑER, 2015).

Como a falta de comida é uma condição frequente na vida dos animais, é óbvio que a fome não é apenas uma experiência passivamente suportada, mas envolve uma reorganização rigidamente controlada do metabolismo e do comportamento (MÉNDEZ e WEISER, 1993). Qualquer vínculo entre sociabilidade e taxa metabólica também pode ser exacerbado pelo jejum, se indivíduos com uma taxa metabólica mais alta perdem biomassa mais rapidamente durante a restrição alimentar, amplificando, portanto, sua motivação existente para encontrar e proteger alimentos (KILLEN et al., 2016).

Em peixes territorialistas, a taxa de crescimento é mediada com base na posição social do animal dentro do grupo, onde animais dominantes habitualmente suprimem o crescimento de subordinados (FERNADES e VOLPATO, 1993). O uso de lotes uniformes em tamanho, ameniza efeitos da hierarquia social e possibilita aos peixes menores o crescimento compensatório. Mas, o procedimento de classificação, além de demandar mão de obra e tempo, é uma etapa muito estressante aos peixes (BATISTA, 2011). Desse modo, estratégias de manejo alimentar podem ser uma boa alternativa para amenizar essa discrepância no tamanho dos lotes.

Entender por que e como a classe dominada de muitos animais permanecem consistentemente menores que os dominantes, é importante para determinar os mecanismos subjacentes à estrutura e estabilidade das sociedades hierárquicas. A aplicação de curtos períodos de restrição alimentar pode ser uma maneira de atenuar a discrepância no tamanho

entre determinado grupo de organismos, e obter um produto mais homogêneo que resulte em melhor aproveitamento no processamento (SILVA et al., 2017).

2.6. Composição corpórea em peixes sob jejum

Os peixes estão expostos a períodos de jejum ou de ingestão restrita de alimentos, tanto na natureza como em práticas aquícolas. Nestes períodos, o peixe supre as necessidades energéticas com base no uso de nutrientes das reservas corporais (WAAGBØ et al., 2017). Entre as espécies de peixes, há variações na obtenção, acumulação e alocação de reservas energéticas, considerando distintos habitats, categoria trófica, natureza e origem dos alimentos, bem como a estratégia reprodutiva utilizada pelas espécies em questão. Tais oscilações na destinação de energia, podem levar a modificações do estado fisiológico do peixe, que podem ser observadas pela medição de parâmetros biológicos, como o índice de gordura da cavidade corporal, índice gonadossomático e a densidade energética dos tecidos somáticos e reprodutivos (SANTOS et al., 2010).

O estado nutricional pode ter impactos pronunciados sobre o desempenho e a condição fisiológica dos peixes em vários níveis de organização. É perceptível que durante a fome, as reservas (especialmente as lipídicas) no peixe decrescem. Em muitos estudos, o crescimento de peixes durante a realimentação é mais acelerado, devido ao mecanismo de compensação (ADAKLI e TAŞBOZAN, 2015). O tamanho do peixe também é uma variável importante a ser considerada em futuros estudos de restrição alimentar e realimentação, pois os peixes maiores geralmente têm maiores reservas energéticas (MIDWOOD et al., 2016), taxas metabólicas mais baixas e custos de natação reduzidos do que peixes menores e, portanto, podem estar mais preparados para enfrentar períodos de restrição alimentar (GINGERICH et al., 2009). Durante a realimentação, os nutrientes são direcionados para a restauração de reservas de energia, desacelerando o crescimento (KULLGREN et al., 2010).

Durante a privação de alimento, os dois principais constituintes corporais, lipídio e proteína, têm taxas diferenciais de mobilização, com o lipídio inicialmente sendo explorado como a principal fonte de energia (COOK et al., 2000).

O uso das reservas energéticas em peixes é descrito em três fases por BOECK et al. (2013), onde na fase I, a fase pós-absortiva, o metabolismo é em grande parte alimentado pela depleção de glicogênio das reservas de fígado e ácidos graxos do tecido adiposo. A fase II começa quando os estoques de glicogênio são esgotados e a gliconeogênese se torna necessária para abastecer órgãos que necessitam de glicose, como o cérebro. A princípio, os aminoácidos

da proteína são usados e, posteriormente, o glicerol dos tecidos adiposos começa a desempenhar um papel importante, embora a degradação proteica permaneça lenta em comparação com a fase III. A fase III é prejudicial e começa quando todo o tecido adiposo é esgotado, e a proteína muscular começa a ser degradada, com altos níveis de excreção de nitrogênio como consequência.

A importância quantitativa de cada tecido para armazenamento e, portanto, também para mobilização durante a privação, varia entre as espécies. Os gadídeos, por exemplo, armazenam lipídios, principalmente, no fígado, os salmonídeos acumulam gordura visceral, enquanto os clupeiformes, geralmente, dependem da deposição de lipídios nos músculos (VAN DIJK et al., 2005).

HUISING et al. (2006) destacam que após a restrição alimentar, a carpa muda rapidamente de metabolizar carboidrato para catabolizar lipídeo, evidenciado pelo aumento rápido e profundo nos níveis plasmáticos de ácidos graxos não esterificados, que são característicos da restrição alimentar. Em bagres do canal mantidos em jejum, PETERSON e SMALL (2004) mostraram aumento dos lipídios hepáticos após realimentação e, desse modo, elevando o índice hepatossomático.

Diferentes padrões de variação dos níveis de glicose no plasma também foram relatados em peixes submetidos ao jejum de longo prazo. Assim, a concentração de glicose é mantida, como no salmão coho e carpas, ou reduzida, como acontece no robalo, truta e dorada. Por outro lado, 20 dias de jejum não modificaram os níveis plasmáticos de potássio, cálcio e magnésio nas carpas (SALA-RABANAL et al., 2004). A composição bioquímica, principalmente lipídios, pode alterar a qualidade nutricional e sensorial da carne do peixe (RIOS et al., 2009).

A quantidade de glicogênio armazenada no músculo branco do peixe é relativamente pequena, de modo que, em geral, presume-se que faça apenas uma pequena contribuição para o gasto energético total. Além disso, devido ao seu envolvimento imediato nas reações de fuga e luta, é um substrato instável, e sua mobilização pode estar mais relacionada a um aumento da atividade muscular do que ao processo de restrição alimentar. As reservas de glicogênio no músculo são utilizadas na glicólise anaeróbica durante a atividade de explosão, o que é essencial para os peixes escaparem de predadores ou para capturarem presas. Portanto, é plausível que esses armazenamentos de energia sejam salvos em geral para servir a esse propósito (VAN DIJK et al., 2005).

Uma rápida redução no glicogênio do fígado parece ser uma resposta precoce comum à privação de alimento em vertebrados, mas à medida que o jejum progride, os níveis de glicogênio no fígado podem ser repostos. No salmão coho (*Oncorhynchus kisutch*), o

glicogênio hepático diminui uma semana em jejum, mas volta ao normal após três semanas adicionais de privação de alimento. Em consonância com isso, os níveis de glicose plasmática durante o jejum tendem a ser bastante estáveis, retornando aos níveis normais após uma diminuição inicial. Uma queda no nível de glicogênio indica claramente sua rápida utilização para atender às crescentes demandas de energia nos peixes (NAMRATA et al., 2011).

BOECK et al. (2013) indicam que os oscar seriam capazes de lidar bem com períodos de restrição alimentar, usando lipídios hepáticos e reservas de proteína e, assim, conservando os estoques de glicogênio. A conservação de reservas de glicogênio parece ser uma estratégia geral em peixes hipoxiadores, como já foi observado em carpa e goldfish. Portanto, é geralmente aceito que a proteína do corpo é conservada às custas de lipídeos armazenados (KULLGREN et al., 2010) durante a fase inicial de privação de alimento e, enquanto alguns lipídios são necessários para manter a estrutura e função das membranas celulares, sendo essencialmente uma reserva de energia.

Bioenergeticamente, é mais econômico catabolizar a gordura, pois 1 g libera aproximadamente 9,5 kcal de energia, comparado a apenas 4,5 kcal da proteína (COOK et al., 2000). Essa estratégia pode ser uma maneira rápida e eficiente de armazenar energia durante o primeiro período de realimentação. Essa energia pode ser usada mais tarde para sintetizar novos tecidos corporais (VAN DIJK et al., 2005).

Alguns peixes utilizam a proteína muscular como uma importante fonte de energia, em vez do glicogênio armazenado, que é mantido pela gliconeogênese, mas outros conservam a proteína corporal, em detrimento de suas reservas de gordura e glicogênio. O encolhimento das fibras musculares brancas é um efeito comum da inanição nos peixes, refletindo a utilização intensa de proteína. Um aumento na atividade de protease no tecido muscular foi associado com a utilização de proteína tecidual. Após a privação de alimentos a longo prazo, as proteínas são frequentemente a principal fonte de energia (SALAM et al., 2000).

Em estudo com traíra, a mobilização proteica foi perceptível após 60 dias de restrição alimentar, e se tornou a principal fonte de energia entre 90 e 180 dias de privação alimentar, ocorrendo uma redução gradual na área de superfície das fibras musculares. O aumento do espaçamento entre as fibras musculares está correlacionado com o aumento do conteúdo de água no músculo de peixes em jejum (RIOS et al., 2009), devido à substituição do lipídio catabolizado por um volume igual de água, com intuito de manter o peso corporal e compensar perdas de matéria orgânica.

LOVE (1980) em estudo sobre aspectos químicos e biológicos em peixes, relatou que, embora peixes gordurosos e não gordurosos tenham distribuição diferente de lipídios de

reserva, ambos respondem à inanição de maneira semelhante, na medida em que muito do lipídio, seja no fígado ou no músculo, extraído antes da proteína ser utilizada, qualquer reserva de carboidrato é usada em primeiro lugar. Assim, devido à mudança no componente corporal durante a inanição, a mudança no conteúdo orgânico e no teor seco também é esperada.

O papel dos carboidratos e proteínas como fontes de energia durante o jejum de curto prazo (dias-semanas) ou fome a longo prazo (meses) em diferentes espécies de peixes são pouco esclarecedores (KULLGREN et al., 2010). A principal razão para estudar o efeito dos protocolos de privação de alimento nos parâmetros da composição corporal em peixes é que a resposta é específica (SALAM et al., 2000). Desse modo, é importante conhecer os mecanismos de regulação utilizados por formas jovens do curimatã-pacu durante períodos de restrição alimentar, em detrimento das reservas corporais.

2.7. Histologia do trato digestivo de peixes sob privação alimentar

Conhecer e compreender as preferências alimentares e as variações da estrutura do sistema digestivo dos teleósteos são úteis para as pesquisas de desenvolvimento nutricional, preparação de dietas e o manejo da alimentação (RIBEIRO e FANTA, 2000; HERNÁNDEZ et al., 2009). Pesquisas envolvendo análises anatômicas, histológicas e histoquímicas geram importantes dados para a caracterização do sistema digestório, possibilitando inferir sobre aspectos fisiológicos, hábitos alimentares e manejo dos peixes (SANTOS et al., 2015), além de avaliação de alterações promovidas por restrição do alimento.

A forma estrutural e funcional do tubo digestivo dos teleósteos é complexa (KASOZI et al., 2017) e encontra-se correlacionada com a natureza dos alimentos, as características do meio, o estado nutricional e a fase de vida, expressos, especialmente nesse aparelho, por adaptações (RODRIGUES et al., 2008).

O direcionamento de alimentos específicos para distintas espécies de peixes e o estabelecimento de manejo alimentar adequado, devem considerar não apenas seus hábitos alimentares e comportamentos, mas também as características anatômicas e morfofisiológicas do aparelho digestivo (RODRIGUES e CARGNIN-FERREIRA, 2017). O tubo digestivo sofre adaptações com base na forma corporal, peso e sexo, condições do meio e do comportamento alimentar de cada espécie (PURUSHOTHAMAN et al., 2016; KALHORO et al., 2018).

A estrutura do trato digestivo, especialmente o intestino, pode expressar sinais rápidos e reversíveis a mudanças quantitativas no item alimentar, e é de interesse crítico para os ecologistas e importância para aquicultura (RIOS et al., 2004). A análise histológica do trato

gastrointestinal é considerada um bom indicador do estado nutricional dos peixes (RAŠKOVIĆ et al., 2011).

A aplicação de técnicas de restrição/realimentação tem sido documentada como tendo um efeito importante no tubo digestivo de várias espécies de peixes (PURUSHOTHAMAN et al., 2016). Ao longo do período de restrição alimentar, os dados histológicos e ultraestruturais podem expressar mais informações do que alterações no tamanho do órgão digestivo (CHEN et al., 2017).

Os teleósteos exibem diversas variações de estruturas básicas no trato digestivo, sendo essas relacionadas ao item alimentar consumido e ao ambiente, podendo influenciar na presença, posição e morfometria de um órgão em particular (BARCELLOS et al., 2014). Ao decorrer de períodos de restrição alimentar, o organismo pode alterar sua condição fisiológica, metabolismo e comportamento a fim salvaguardar sua vida (CHEN et al., 2017). As regiões anterior e média do trato digestivo são mais atuantes na absorção de nutrientes (NASCIMENTO et al., 2018).

A redução metabólica decorrente de períodos de privação alimentar, pode ocasionar em menor taxa de renovação celular, podendo interferir na parte estrutural do intestino, gerando uma degeneração gradual do tecido. A degeneração do trato digestório pode estar diretamente relacionada ao desuso em períodos de privação, o que reflete em seu encurtamento, mas não afeta severamente sua funcionalidade. Entretanto, não é possível ratificar que a digestão aconteça em taxas normais (RIOS et al., 2004). O intestino e o fígado são tidos como os órgãos mais importantes na digestão e absorção de nutrientes alimentares e, portanto, o monitoramento desses órgãos é fundamental para diagnosticar alguma anormalidade metabólica (RAŠKOVIĆ et al., 2011).

Mecanismos adaptativos do trato digestivo possibilitam aos animais lidar com alterações nas demandas funcionais impostas ao sistema digestivo (ZALDÚA e NAYA, 2014). Mudanças histopatológicas no intestino podem variar dependendo da espécie e da qualidade do alimento experimental. Até mesmo a aplicação de jejum de curto período pode afetar consideravelmente as funções fisiológicas dos peixes (OSTASZEWSKA et al., 2006).

CHEN et al. (2017) em estudo com juvenis de lagostim, destacam que os organismos submetidos ao jejum apresentaram maior volume e espessura da parede do intestino médio, exibindo atrofia epitelial e muscular que culminou em cristas mais curtas em relação ao grupo controle. Ainda, destacam núcleos mais escuros e menores, com nucléolos de difícil visualização nos organismos privados.

O trato digestório das larvas de esturjão verde desprovidas de alimentos exibiu uma deterioração progressiva, iniciando 5 dias após jejum (GISBERT e DOROSHOV, 2003). O intestino médio de larvas de alguns teleósteos é extremamente sensível à deficiência alimentar, geralmente revelando modificações após 1 dia de jejum. A depleção das reservas lipídicas em larvas desprovidas de alimentos, possivelmente resulta na catálise de tecidos corporais, o que culmina em degeneração progressiva do trato digestório e órgãos acessórios (RIOS et al., 2004).

A flexibilidade do tubo digestivo em teleósteos para se adaptar à disponibilidade de alimentos é uma característica comum nesse grupo (MARKOVIĆ et al., 2012). No manejo de atividades aquícolas, o estudo das características anatômicas e histológicas do trato gastrointestinal de peixes pode auxiliar na interpretação do desenvolvimento de condições patológicas, formulações nutricionais e promover o manejo de estoques naturais (KALHORO et al., 2018).

Pesquisas envolvendo aspectos morfológicos e histológicos do trato gastrointestinal de peixes não são raras, e estão se tornando mais importantes à medida que o interesse pela piscicultura se expande, e mais informações precisam ser levantadas em relação à alimentação e nutrição adequada para cada espécie e fase de vida (RIBEIRO e FANTA, 2000), o que fornece subsídios para a compreensão dos hábitos alimentares e da fisiologia digestiva dos peixes (NASCIMENTO et al., 2018). Assim, é importante compreender os mecanismos de compensação que os peixes adotam quando mantidos em regimes de privação alimentar.

2.8. Capacidade antioxidante em peixes sob jejum

Estudos sobre alterações bioquímicas e fisiológicas com base na restrição alimentar, têm se concentrado principalmente em mamíferos. Os organismos vivos são protegidos de espécies reativas por vários mecanismos de defesa, incluindo enzimas antioxidantes como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx) e glutathione S-transferase (GST). Antioxidantes de baixo peso molecular, como a glutathione reduzida (GSH) e as vitaminas E e C, atuam em conjunto com essas defesas enzimáticas (PASCUAL et al., 2003).

Um potencial efeito resultante das alterações metabólicas durante a restrição alimentar prolongada, é o aumento do estresse oxidativo mediante reduções no quantitativo de mitocôndrias devido redução do tecido hepático. Essas organelas são críticas para o metabolismo, mas também são uma fonte importante de oxidantes potencialmente tóxicos na forma de espécies reativas, subprodutos do movimento de elétrons através da cadeia respiratória que suporta a produção de adenosina trifosfato (ATP). O estresse oxidativo ocorre quando as

defesas antioxidantes são superadas por forças pró-oxidantes, e as espécies reativas não são adequadamente removidas (SALIN et al., 2018).

Quando os peixes são capazes de se alimentar adequadamente, eles podem acumular reservas energéticas, mantendo as taxas de atividades enzimáticas importantes, conservando a capacidade natatória e aumentando comprimento e peso. Além disso, foi demonstrado que os peixes reduzem as atividades de enzimas anaeróbias e aeróbicas, e a capacidade de transporte de oxigênio após períodos prolongados de jejum (GINGERICH et al., 2009), aumentando a geração de radicais livres principalmente no fígado.

As respostas enzimáticas são reguladas por uma série de fatores como temperatura, idade, estado nutricional e disponibilidade de oxigênio (ALMEIDA et al., 2009). A fome pode ser um dos principais efeitos causadores de estresse nos animais. O confinamento, por si só, já é um agente estressor ativo, devido a diminuição da taxa de crescimento específico em todos os peixes. O estresse pode ser prejudicial à saúde dos peixes e reduzir a sua sobrevivência, o que pode ocasionar grandes prejuízos em cultivos comerciais, pois, sob condições de estresse oxidativo, o peixe pode usar o catabolismo protéico como alternativa de fonte energética, assim reduzindo seu desempenho produtivo (TONI et al., 2011).

DIAS et al. (2013) destacam que os peixes confinados em tanques de cultivo estão mais propensos ao estresse oxidativo do que em ambiente natural. Outro fator de estresse no cultivo de peixes é o procedimento de manuseio, que inclui a busca, captura e exposição do peixe ao ar. Este manuseio demasiado ocasionou diminuição na atividade de enzimas antioxidantes (BRAUN et al., 2010).

O estresse oxidativo pode gerar danos nas macromoléculas biológicas, como lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, com consequente perda de sua função de natureza biológica e favorecendo o surgimento e agravamento de doenças (CANABARRO e TOLEDO, 2010; CARVALHO-NETA e ABREU-SILVA, 2010; BALDISSERA et al., 2017) como iniciação e progressão de doenças parasitárias, devido a exposição do sistema de defesa.

Um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio pode causar a inibição de SOD e outras enzimas antioxidantes (TONI et al., 2011). As SODs consistem numa família de metaloenzimas que exercem papel antioxidante central, e sua importância é evidenciada por sua presença em todos os organismos aeróbicos. Essa enzima catalisa a conversão do ânion reativo superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que é reduzido pela CAT. Então, a CAT remove o peróxido de hidrogênio do organismo, convertendo-o em oxigênio e água (ALMEIDA et al., 2009; GARCIA, 2016).

Existem variados tipos de SOD, que podem diferir quanto a sua forma estrutural e localização. Nos peixes, assim como nos demais animais, há duas formas de SOD que contêm cobre e zinco (CuZn-SOD), uma delas corresponde à enzima presente, principalmente, no citoplasma das células, mas que também pode estar presente nos lisossomos, peroxissomos, núcleo e espaço inter membranoso das mitocôndrias; um outro tipo de CuZn-SOD corresponde à SOD extracelular, normalmente associada à superfície das células, especialmente nos vasos sanguíneos. O terceiro tipo de SOD contém manganês, o íon Mn^{+3} , e está localizado na mitocôndria. A Mn-SOD desempenha papel central na regulação dos níveis de O^{2-} intramitocondrial e, portanto, na proteção da mitocôndria contra o estresse oxidativo (MARTINEZ, 2006).

Muitos trabalhos têm destacado elevada correlação entre a atividade de SOD e o metabolismo oxidativo geral, indicando que os níveis de SOD se ajustam aos níveis de fontes endógenas de espécies reativas de oxigênio (ZAMBRANO e LANDINES, 2011).

A CAT está presente em todos os tecidos de vertebrados, com atividade particularmente alta nos eritrócitos e no fígado; em contraste, a atividade catalásica no cérebro é geralmente baixa. O fígado é um órgão vital responsável pela detoxicação de produtos endógenos e exógenos, como distintos tipos de toxinas, drogas, pesticidas ou metais pesados. O aumento da atividade da CAT e outras enzimas são corriqueiros em estudos de peixes submetidos a manejo, má qualidade de água ou contaminantes (TANCREDO, 2015).

As enzimas que atuam como antioxidantes apresentam uma menor atividade quando há presença de retinóides e carotenóides, que agem transferindo elétrons para espécies reativas ao oxigênio, poupando a defesa enzimática em relação ao estresse oxidativo (BATTISTI, 2016). A Glutathione peroxidase (GPx) e glutathione-S-transferase (GST) são da segunda fase, com funções de desintoxicação, sendo fundamentais na desintoxicação celular, catalisando a reação da glutathione reduzida - GSH com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e outros peróxidos orgânicos (TONI et al., 2010; MENEZES et al., 2011).

A maioria das pesquisas determina a atividade da GST total, utilizando o substrato artificial CDNB (1 cloro 2,4 dinitrobenzeno), que é conjugado com a GSH por três das quatro isoformas da GST já descritas para peixes (MARTINEZ, 2006).

A Glutathione atua no bloqueio antioxidante, que age como modulador da multiplicação celular. Glutathione reduzida (GSH) em conjugação com a glutathione peroxidase (GPx), expressa papel central na defesa contra radicais livres, peróxidos e uma gama de agentes xenobióticos e mutagênicos (CANABARRO e TOLEDO, 2010).

O MDA é um dialdeído volátil, com baixo peso molecular ($C_3 H_4 O_2$, P.M. = 72,07), cadeia curta 1,3-dicarbonil e um ácido moderadamente fraco ($pK_a = 4,46$). O MDA é amplamente utilizado na área dos produtos alimentícios, uma vez que é indicado para medir índice de peroxidação lipídica em alimentos e produtos alimentares. Seu surgimento predominante, ocorre durante a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados com três ou mais duplas ligações, podendo ser originado não enzimaticamente como produto da peroxidação lipídica e enzimaticamente como produto da reação da ciclo-oxigenases no metabolismo das prostaglandinas (GARCIA, 2016).

O MDA tem sido amplamente utilizado como indicador de danos oxidativos às membranas e, portanto, do estresse oxidativo. A peroxidação lipídica e a carbonilação de proteínas, que indicam possíveis danos aos lipídios e proteínas, respectivamente, podem ser utilizadas como biomarcadores da exposição a agentes estressores (MENEZES et al., 2011).

Ainda que a avaliação do MDA seja rotineira em estudos ambientais como biomarcador de estresse oxidativo, em quase todos os casos espera-se que caso haja estresse oxidativo os níveis do MDA estejam elevados. No entanto, diversas pesquisas apontam também redução dos níveis de MDA de animais expostos a algum fator estressor. Habitualmente, se atribui essa queda em virtude da ativação de defesas antioxidantes nos animais, de forma a prevenir as lesões oxidativas, ainda que muitas vezes os dados de atividade antioxidante não edifiquem tais explicações (PASCUAL et al., 2003).

A atuação das enzimas antioxidantes previne o aumento da quantidade de MDA, visto que, evita o ataque das espécies reativas nas membranas lipídicas. Assim, é plausível sugerir que reduções nos níveis de MDA em animais expostos a contaminantes em relação a animais controle poderiam estar relacionados a um aumento substancial das defesas antioxidantes, decorrentes da intoxicação de tal forma a causar uma superproteção do tecido, ao ponto dos níveis de MDA estarem mais baixos que animais saudáveis não expostos a poluentes (GARCIA, 2016).

As respostas bioquímicas dos peixes mediante estímulos agressivos ou ameaçadores são controladas por modificações fisiológicas dos sistemas nervoso e endócrino, a fim de manter a homeostase do corpo. Essas respostas exibem um limite de tolerância que dependem da espécie, do tipo de agente estressor e da intensidade e duração do estresse (BRAUN et al., 2010).

2.9. Atividade de colinesterases em peixes

A família das colinesterases inclui a acetilcolinesterase (AChE, EC 3.1.1.7) e butirilcolinesterase (BuChE, EC 3.1.1.8), estas são alvo primário e mais conhecido na ação de organofosforados e carbamatos (STRINGUETTI et al., 2008; ASSIS et al., 2011). Embora sejam evolutivamente similares, estas enzimas diferem em suas estruturas proteicas, especificidade química pelo substrato e distribuição nos tecidos (CHUIKO, 2000).

A atividade da AChE é comumente usada como biomarcador (GOLOMBIESK et al., 2008). Os biomarcadores são tidos como variações bioquímicas, celulares, fisiológicas ou comportamentais, quantificados em amostras biológicas, e fornecem evidências de exposição, e possíveis efeitos de um ou mais contaminantes. São usados preventivamente, antes que ocorram rupturas ecológicas (VIEIRA et al., 2016).

AChE e BuChE estão presentes no organismo do peixe, sendo responsáveis pelo adequado funcionamento das sinapses colinérgicas no sistema nervoso central e periférico, exercendo função hidrolítica do neurotransmissor acetilcolina (ALENCAR et al., 2018).

AChE é uma serina hidrolase presente em todos os vertebrados principalmente nos tecidos cerebral e muscular. A acetilcolina (ACh) é sintetizada a partir de colina e acetato pela ação da enzima colina-acetiltransferase, sendo hidrolisada com a ação da AChE, resultando em colina e ácido acético como produtos, sendo recaptados para serem utilizados na síntese de outras acetilcolinas (LEONCINI, 2016), e assim, possibilitar ao neurônio colinérgico retornar ao seu estado de repouso após ser ativado (GUILOSKI et al., 2010; ŞEN e KARAYTUĞ, 2017). Cada unidade da AChE possui 12 sítios ativos distribuídos em 3 ramificações, unidas por pontes dissulfeto e fixada à membrana celular por colágeno, para hidrolisar a ACh (ARAÚJO et al., 2016).

A BuChE é sintetizada no fígado, mas está presente no plasma, músculo liso, pâncreas, adipócitos, pele, cérebro e coração, em menores concentrações. Embora sua função fisiológica não seja bem definida, a BuChE é considerada uma das principais enzimas desintoxicantes capazes de hidrolisar ou eliminar uma ampla gama de compostos xenobióticos. Algumas pesquisas revelam que uma das funções da BuChE é proteger a AChE contra agentes anticolinesterásicos (ASSIS et al., 2011).

Compostos anticolinesterásicos podem ser produzidos naturalmente, em consequência da poluição do meio, ou ação de inseticidas e pesticidas (ALENCAR et al., 2018). A inibição da atividade da AChE pode comprometer a locomoção e o equilíbrio dos peixes, afetando a alimentação, a fuga (GUILOSKI et al., 2010) e os comportamentos reprodutivos (VIEIRA et

al., 2016). O excesso de substrato culmina na inibição da AChE, no entanto, possibilita ativação da BuChE (CHIUKO, 2000).

A transmissão sináptica ocorre quando a acetilcolina é liberada na fenda sináptica e se une a um receptor pós-sináptico. Na sequência, a ACh disponível é hidrolisada pela AChE, ao passo que, quando há inibição da AChE resulta em acúmulo de ACh na fenda sináptica (ŞEN e KARAYTUĞ, 2017), gerando uma hiperestimulação colinérgica e consequente morte a depender de sua concentração no organismo (LEONCINI, 2016).

A inibição da atividade de colinesterases tem sido utilizada como base para diagnosticar o grau de exposição das populações selvagens a produtos químicos anticolinesterásicos, como organofosforados, carbamatos e pesticidas carbamatos, que provocam efeitos tóxicos agudos, similares aos descritos para situações de envenenamento (STRINGUETTI et al., 2008).

A inibição da atividade da acetilcolinesterase (AChE) em peixes é comumente associada a inseticidas à base de carbamato e organofosforados, mas a determinação dessa enzima em diferentes tecidos de teleósteos também provou ser um método sensível para detectar presença de vários herbicidas (MODESTO e MARTINEZ, 2010; SHARBIDRE et al., 2011).

O inseticida diafuran, comumente utilizado no combate a pragas em lavouras de arroz, inibiu significativamente a atividade da AChE nos tecidos cerebral e muscular de carpas expostas à diferentes concentrações, podendo ser um biomarcador inicial da toxicidade deste pesticida (GOLOMBIESK et al., 2008).

Em *Prochilodus lineatus* expostos a concentrações sub-letais do roundup durante 96h, MODESTO e MARTINEZ (2010) perceberam decréscimos significativos na atividade da AChE no tecido cerebral e muscular, inferindo que esse composto tem ação anti-AChE.

A análise do tecido cerebral de tilápias mantidas em reservatório com influência da aquicultura e dejetos agrícolas em comparação a tilápias mantidas em água limpa, revelou diminuição significativa na atividade da AChE, similar a BuChE hepática, como possível efeito da contaminação do ambiente (ALENCAR et al., 2018).

A resposta dos biomarcadores enzimáticos nos peixes é dependente das espécies, tecidos, estágio de vida, grau de poluição e diferenças de sexo. A atividade normal das colinesterases é fundamental para que o organismo possa localizar presas, escapar de predadores e orientação para identificação de itens alimentares (GOLOMBIESK et al., 2008).

Os peixes são organismos com enorme diversidade biológica de grande importância nas avaliações de toxicidade ambiental, além de colonizar distintos ambientes, estando distribuídos em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, sendo considerados excelentes modelos biológicos para estudos envolvendo colinesterases (LEONCINI et al., 2018). Assim, os

teleósteos constituem um modelo ideal para estudos ecotoxicológicos, pois apresentam elevada sensibilidade a baixas concentrações de substâncias tóxicas e várias modificações no ambiente aquático, sendo considerados bioindicadores de condições ambientais, além de apresentarem diversidades biológicas e comportamentais e serem de fácil captura.

As rações comerciais destinadas à atividade aquícola têm altas concentrações de proteínas e estimulantes de crescimento, como o cobre e o zinco em sua composição, mas que em concentrações superiores a 0,05 mg/L, devido acúmulo ocasionado por manejo alimentar inadequado, são tóxicos para muitas espécies (ALENCAR et al., 2018). Não há relatos referentes a inibição ou aumento na atividade dessas enzimas frente a períodos de restrição de alimentos em teleósteos.

Portanto, casos que põe peixes em situações estressantes podem prejudicar uma série de processos fisiológicos e, dessa forma, dificultam o processo de homeostase nos animais. Em atividades de cultivos comerciais esse fator pode culminar numa redução da taxa de sobrevivência, do ganho de peso e proferir resultados econômicos insatisfatórios (DIAS et al., 2013). Desse modo, a verificação do comportamento dessas enzimas, promove um controle mais acurado do meio e funciona como sinal de alerta de alterações (COGO et al., 2009). Assim, é de suma importância avaliar o efeito de períodos de jejum no bem-estar e ação enzimática em formas jovens do Curimatã-pacu.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAKLI, A.; TAŞBOZAN, O. The Effects of Different Cycles of Starvation and Refeeding on Growth and Body Composition on European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 15: 419-427, 2015.
- ALENCAR, F. V. D.; SANDES, I. M. F.; SILVA, K. C. C. Uso de biomarcadores enzimáticos e genotóxicos para diagnóstico da qualidade da água do lago Itaparica-PE. **Revista Rios Saúde**, 1:5, p.49-60, 2018.
- ALMEIDA, E. O.; SANTOS, R. B.; COELHO FILHO, P. A.; CAVALCANTE JUNIOR, A.; SOUZA, A. P. L.; SOARES, E. C. Policultivo do curimatã-pacu com o camarão canela. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo 41(2): 271-278, 2015.
- ALMEIDA, J. A.; BARRETO, R. E.; NOVELLI, E. L. B.; CASTRO, F. J.; MORON, S. E. Oxidative stress biomarkers and aggressive behavior in fish exposed to aquatic cadmium contamination. **Neotropical Ichthyology**, 7(1):103-108, 2009.
- ANJOS, G. M.; MARTINS, A. S.; SOARES, E. C.; MELO, J.; SANTOS, E. J. S.; DANTAS, L. H. N. **Mortalidade no transporte de curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*)**. Universidade Federal de Alagoas, Unidade de Ensino Penedo. 4p. 2009.
- ARANTES, F. P.; SANTOS, H. B.; RIZZO, E.; SATO, Y.; BAZZOLI, N. Collapse of the reproductive process of two migratory fish (*Prochilodus argenteus* and *Prochilodus costatus*) in the Três Marias Reservoir, São Francisco River, Brazil. **J. Appl. Ichthyol.** 27, 847–853, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01583.x>
- ARAUCO, L. R. R.; COSTA, V. B. Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Comunicata scientiae**, 3(2): 134-138, 2012.
- ARAÚJO, C. R. M.; SANTOS, V. L. dos A.; GONSALVES, A. A. Acetilcolinesterase – AChE: uma enzima de interesse farmacológico. **Rev. Virtual Quim.**, 8 (6), 1818-1834, 2016.
- ARSLAN, G.; SAHIN, T.; HISAR, O.; HISAR, S. A. Effects of low temperature and starvation on plasma cortisol, triiodothyronine, thyroxine, thyroid-stimulating hormone and prolactin levels of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). **Mar. Sci. Tech. Bull.** 4(2):5-9, 2015.
- ASSIS, C. R. D.; BEZERRA, R. S.; CARVALHO Jr., L. B. **Fish Cholinesterases as Biomarkers of Organophosphorus and Carbamate Pesticides**. Pesticides in the Modern World – Pests Control and Pesticides Exposure and Toxicity Assessment. 3:254-278, 2011.
- AUER, S. K.; ARENDT, J. D.; CHANDRAMOULI, R.; REZNICK, D. N. Juvenile compensatory growth has negative consequences for reproduction in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). **Ecology letters**, 13: 998-1007, 2010.
- AZAZA, M. S.; ASSAD, A.; MAGHRBI, W.; EL-CAFSI, M. The effects of rearing density on growth, size heterogeneity and inter-individual variation of feed intake in monosex male Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. **Animal**, 7:11, pp 1865–1874. 2013. doi:10.1017/S1751731113001493
- AZODI, M.; EBRAHIMI, E.; FARHADIAN, O.; MAHBOOBI-SOOFIANI, N.; MORSHEDI, V. Compensatory growth response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum following short starvation periods. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v.33, n.4, p. 928-933, 2015.

- BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; MOREIRA, K. L. S.; ROCHA, M. I. U. M.; VEIGA, M. L.; BALDISSEROTTO, B. *Melaleuca alternifolia* essential oil prevents oxidative stress and ameliorates the antioxidant system in the liver of silver catfish (*Rhamdia quelen*) naturally infected with *Ichthyophthirius multifiliis*. **Aquaculture**, 480:11-16, 2017.
- BARBOSA, J. M.; BRUGIOLO, S. S. S.; CAROLSFELD, J.; LEITÃO, S. S. Heterogeneous growth in fingerlings of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: effects of density and initial size variability. **Braz. J. Biol.**, 66(2A): 537-541, 2006.
- BARBOSA, J. M.; MENDONÇA, I. T. L.; PONZI-JÚNIOR, M. Comportamento social e crescimento em *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) (Pisces, Cichlidae): uma espécie introduzida no Brasil. **Rev. Bras. Eng. Pesca** 1(1). 2006.
- BARBOSA, J. M.; SOARES, E. C. Perfil da ictiofauna da bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, 4(1), 18p., 2009.
- BARCELLOS, J. F. M.; BRANCO, É.; PONTES, D. Aspectos morfométricos do tubo digestório de *Roeboides xenodon* e *Orthospinus franciscensis*. **Biotemas**, 27 (3): 139-147, 2014. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p139>
- BARRETO, T. N. **Efeito da homogeneidade de tamanho sobre o comportamento agressivo e estresse social na tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagem tailandesa**. 37f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Universidade Estadual Paulista, 2011.
- BATISTA, T. V. M. **Influência da heterogeneidade de tamanho na sobrevivência, crescimento e canibalismo em juvenis do beijupirá (*Rachycentron canadum*)**. 44p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura), Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- BATTISTI, E. K. **Crescimento, hematologia e parâmetros oxidativos em jundiás (*Rhamdia quelen*) alimentados com dieta contendo vitamina A**. 48p. Dissertação (mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Santa Maria – RS, 2016.
- BERNARDES, C. L.; PÚBLIO, J. Y. Proteína bruta no desenvolvimento de curimbas (*Prochilodus scrofa*). **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.1, p. 381-390, 2012.
- BLAKE, I. Some observations on the bacterial flora of the alimentary tract of certain Salmonidae. **Final Report of the Furunculosis Committee**, App. B, pp. 60-67, 1935.
- BLANQUET, I.; OLIVA-TELES, A. Effect of feed restriction on the growth performance of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles under commercial rearing conditions. **Aquaculture Research**, 41: 1255-1260, 2010.
- BOECK, G. D.; WOOD, C. M.; IFTIKAR, F. I.; MATEY, V.; SCOTT, G. R.; SLOMAN, K. A.; SILVA, M. N. P.; ALMEIDA-VAL, V. M.; VAL, A. L. Interactions between hypoxia tolerance and food deprivation in Amazonian oscars, *Astronotus ocellatus*. **The Journal of Experimental Biology** 216, 4590-4600, 2013. doi: 10.1242/jeb.082891
- BOWEN, S. H. Detritivory in neotropical fish communities. **Environmental Biology of Fishes** Vol. 9, No. 2, pp. 137-144, 1983.
- BRAUN, N.; LIMA, R. L.; BALDISSEROTTO, B.; DAFRE, A. L.; NUÑER, A. P. O. Growth, biochemical and physiological responses of *Salminus brasiliensis* with different stocking densities and handling. **Aquaculture**, 301:22-30, 2010.

- CAMARGO, A. C. S.; ZAIDEN, S. F.; URBINATI, E. C. Desenvolvimento gonadal de fêmeas de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetidas a restrição alimentar. **Ciência Rural**, v. 38, n.4, p. 1105-1110, 2008.
- CAMPECHE, D. F. B.; BALZANA, L.; FIGUEIREDO, R. C. R.; BARBALHO, M. R. S.; REIS, F. J. S.; MELO, J. F. B. **Peixes nativos do rio São Francisco adaptados para cultivo**. Embrapa semiárido, documentos 244. 20p. Petrolina, 2011.
- CANABARRO, L.; TOLEDO, M. T. Estudo do estresse oxidativo em fígados de peixes *Oreochromis niloticus* capturados em ambientes artificiais na região de Sorocaba SP. **Revista Eletrônica de Biologia**, v.1, (4):31-57, 2010.
- CARUSO, G.; DENARO, M. G.; CARUSO, R.; MANCARI, F.; GENOVESE, L.; MARICCHIOLO, G. Response to short term starvation of growth, haematological, biochemical and non-specific immune parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). **Mar. Environ. Res.** 72, 46-52. 2011. doi: 10.1016/j.marenvres.2011.04.005
- CARVALHO-NETA, R. N. F.; ABREU-SILVA, A. L. *Sciades herzbergii* oxidative stress biomarkers: an in situ study of an estuarine ecosystem (São Marcos' Bay, Maranhão, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(special issue IICBBM):11-17, 2010.
- CASTRO, R. M. C.; VARI, R. P. **Detritivores of the South American Fish Family Prochilodontidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes): A Phylogenetic and Revisionary Study**. Smithsonian contributions to zoology, number 622. 200p. 2004.
- CHEN, C.; TAN, Q.; LIU, M.; WU, F.; CHEN, J.; XIE, S. H. Effect of starvation on growth, histology and ultrastructure of digestive system of juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii* Girard). **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, 16(4)1214-1233, 2017.
- CHO, S. H. Effects of food deprivation and feeding ration on the growth, feed utilization and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fish aquat Sci**, 17(4): 449-454, 2014.
- CHUIKO, G. M. Comparative study of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in brain and serum of several freshwater fish: specific activities and in vitro inhibition by DDVP, an organophosphorus pesticide. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C** 127:233-242, 2000.
- COGO, A. J. D.; SIQUEIRA, A. F.; RAMOS, A. C.; CRUZ, Z. M. A.; SILVA, A. G. Utilização de enzimas do estresse oxidativo como bioindicadoras de impactos ambientais. **Natureza on line**, 7 (1): 37-42, 2009.
- COOK, J. T.; SUTTERLIN, A. M.; McNIVEN, M. A. Effect of food deprivation on oxygen consumption and body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture** 188. 47-63, 2000.
- CRESCÊNCIO, R.; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; PEREIRA FILHO, M.; CAVERO, B. A. S.; GANDRA, A. L. Influência do período de alimentação no consumo e ganho de peso do pirarucu. **Pesq. agropec. bras.**, v.40, n.12, p.1217-1222, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200009>.
- DIAS, C. A. G. M.; FAGUNDES, D. S.; GOUVEIA JUNIOR, A.; SILANES, M. D. M. L.; OLIVEIRA, J. C. S. Luz, metionina e estresse oxidativo na piscicultura. **Biota Amazônica**, v.3, n.3, p. 169-176, 2013.

- ESLAMLOO, K.; MORSHEDI, V.; AZODI, M.; AKHAVAN, S. R. Effect of starvation on some immunological and biochemical parameters in tinfoil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*). **Journal of Applied Animal Research**, v.45, n.1, p. 173-178, 2017.
- FERNANDES, M. O.; VOLPATO, G. L. Heterogeneous growth in the Nile tilapia: social stress and carbohydrate metabolism. **Physiology & Behavior**, vol. 54, pp. 319-323, 1993.
- FERREIRA, L. S. B. P.; NUÑER, A. P. O. Food deprivation and compensatory growth in juvenile piava, *Leporinus obtusidens*. **Bol. Inst. Pesca**, 41(3): 471 – 478, 2015.
- FRASCA-SCORVO, C. M.; CARNEIRO, D. J.; MALHEIROS, E. B. Efeito do manejo alimentar no desempenho do matrinxã *Brycon amazonicus* em tanques de cultivo. **Acta Amazonica**, vol. 37(4): 621 – 628, 2007.
- FUJIMOTO, R. Y.; SANTOS, R. F. B.; DIAS, H. M.; RAMOS, F. M.; SILVA, D. J. F.; HONORATO, C. A. Feeding frequency on the production viability of production and quantitative descriptors of parasitism in angelfish. **Ciência Rural**, v.46, n.2, p.304-309, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141704>
- GABRIEL, N. N.; OMOREGIE, E.; MARTIN, T.; KUKURI, L.; SHILOMBWELWA, L. Compensatory growth response in *Oreochromis mossambicus* submitted to short-term cycles of feed deprivation and refeeding. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 18: 161-166, 2017.
- GARCIA, D. P. **Metabolismo do malondialdeído em peixes: implicação da avaliação da peroxidação lipídica como biomarcador de contaminação aquática**. 93f. Dissertação (mestrado em química), Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto – SP, 2016.
- GHAZALA, G.; MAHBOOB, S.; AL-GHANIM, K. A.; SULTANA, S.; AL-MISNED, F.; AHMED, L.; SHAHID, T.; AHMAD, Z. A study on chronic effect of profenofos on acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase activities and protein contents in various tissues in major carps. **Afr J Tradit Complement Altern Med**. 13(3):54-59, 2016. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v13i3.7>
- GINGERICH, A. J.; PHILIPP, D. P.; SUSKI, C. D. Effects of nutritional status on metabolic rate, exercise and recovery in a freshwater fish. **J. Comp. Physiol. B**. 14p., 2009.
- GISBERT, E.; DOROSHOV, S. I. Histology of the developing digestive system and the effect of Food deprivation in larval green sturgeon (*Acipenser medirostris*). **Aquatic Living Resources** 16:77–89, 2003. DOI: 10.1016/S0990-7440(03)00029-9
- GOLOMBIESKI, J. I.; MARCHESAN, E.; CAMARGO, E. R.; SALBEGO, J.; BAUMART, J. S.; LORO, V. L.; MACHADO, S. L. O.; ZANELLA, R.; BALDISSEROTTO, B. Acetylcholinesterase enzyme activity in carp brain and muscle after acute exposure to diafuran. **Sci. Agric.**, v.65, n.4, p.340-345, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000400003>
- GÓMEZ-PEÑARANDA, J.; VÁSQUEZ-GAMBOA, L.; VALENCIA, D. Efecto de diferentes frecuencias de alimentación y ayuno, sobre el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Lat. Am. J. Aquat. Res.**, 44(3):569-575, 2016.
- GONÇALVES, A. F. N.; HA, N.; BILLER-TAKAHASHI, J. D.; SATO, L. S.; KISHIMOTO, M. K.; TAKAHASHI, L. S. Densidade de estocagem e restrição alimentar em juvenis de piapara. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, 40(3): 431-439, 2014.

- GUILOSKI, I. C.; SILVA, E. G. da.; NISHIKAWA, C. M.; ASSIS, H. C. da S. de. Atividade da colinesterase em cérebro e músculo de *Corydoras paleatus* (Pisces, Teleostei) expostos ao carbaril. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 8, n. 4, p. 461-468, 2010.
- HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish Nutrition**. CA: Academic Press. 2002.
- HATANAKA, T.; SILVA, F. H.; GALETTI JR, P. M. Population substructuring in a migratory freshwater fish *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae) from the São Francisco River. **Genetica**, 126: 153-159. 2006.
- HERNÁNDEZ, D. R.; PÉREZ GIANESELLI, M.; DOMITROVIC, H. A. Morphology, Histology and Histochemistry of the Digestive System of South American Catfish (*Rhamdia quelen*). **Int. J. Morphol.**, 27(1):105-111, 2009.
- HERRERA, L. A.; SILVA, F. C.; SANTOS, A. P.; SOUSA, O. M.; SANCHES, E. G. Crescimento compensatório e privação alimentar no desempenho produtivo do robalo-flecha. Notas Científicas. **Pesq. agropec. bras.**, v.51, n.6, p.776-779, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000600010>
- HUISING, M. O.; GEVEN, E. J. W.; KRUISWIJK, C. P.; NABUURUS, S. B.; STOLTE, E. H.; SPANINGS, F. A.; VERBURG-VAN, K. B. M.; FLIK, G. Increased Leptin Expression in Common Carp (*Cyprinus carpio*) after Food Intake But Not after Fasting or Feeding to Satiation. **Endocrinology** 147(12):5786–5797, 2006. DOI: 10.1210/en.2006-0824
- JOBLING, M.; JOHANSEN, S. J. S. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. **Aquaculture Research**, 30(7): 473-478. 1999.
- KALHORO, H.; TONG, S.; WANG, L.; HUA, Y.; VOLATIANA, J. A.; SHAO, Q. Morphological study of the gastrointestinal tract of *Larimichthys crocea* (Acanthopterygii: Perciformes). **ZOOLOGIA** 35: e25171, 2018. DOI: 10.3897/zoologia.35.e25171
- KASOZI, N.; DEGU, G. I.; MUKALAZI, J.; KATO, C. D.; KISEKKA, M.; WADUNDE, A. O.; KITYO, G.; NAMULAWA, V. T. Histomorphological Description of the Digestive System of Pebbly Fish, *Alestes baremoze* (Joannis, 1835). **Scientific World Journal**, Article ID 8591249, 9 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8591249>
- KELLEY, K. M.; SIHARATH, K.; BERN, H. A. Identification of insulin-like growth factor-binding proteins in the circulation of four teleost fish species. **J. Exp. Zool.** 263:220–224. 1992.
- KESTEMONT, P.; JOURDAN, S.; HOUBART, M.; MÉLARD, C.; PASPATIS, M.; FONTAINE, P.; CUVIER, A.; KENTOURI, M.; BARAS, E. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. **Aquaculture** 227:333–356. 2003. doi:10.1016/S0044-8486(03)00513-1
- KILLEN, S. S.; FU, C.; WU, K.; WANG, Y. X.; FU, S. J. The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food deprivation. **Functional Ecology**, 8p., 2016. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12634>
- KULLGREN, A.; SAMUELSSON, L. M.; LARSSON, D. G. J.; BJÖRNSSON, B. T.; BERGMAN, E. J. A metabolomics approach to elucidate effects of food deprivation in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.** 299: 1440–R1448, 2010. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00281.2010>
- LEONCINI, G. O.; SILVA, E. G. da.; MACHADO, S. S.; ABREU, F. C. de. Acetylcholinesterase from Curimatã Fish Brain (*Prochilodus Brevis*) as Potential Biocatalyst for Voltammetric

Biosensor Construction. **Biomed J Sci & Tech Res.** Volume 8- Issue 3: 2018. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.08.001655

- LEONCINI, G. O. **Purificação parcial de colinesterase de *Prochilodus brevis* para emprego biotecnológico.** 105f. Dissertação (Mestrado em química e biotecnologia), Universidade Federal de Alagoas. 2016.
- LIMA, A. F. **Crescimento heterogêneo em tilápias cultivadas em tanques-rede e submetidas a classificações periódicas.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, 4p. 2009.
- LOPES, A. C. M. **Diversidade genética das espécies de *Prochilodus* spp. Utilizadas em pisciculturas no baixo São Francisco no Estado de Sergipe.** 2010, 175f. Dissertação (mestrado em saúde e ambiente) – Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju, 2010.
- LOVE, R. M. **The Chemical Biology of Fishes**, vol. II. Academic Press, London. 1980.
- MARKOVIĆ, Z.; POLEKSIĆ, V.; LAKIĆ, N.; ŽIVIĆ, I.; DULIĆ, Z.; STANKOVIĆ, M.; SPASIĆ, M.; RAŠKOVIĆ, B.; SØRENSEN, M. Evaluation of Growth and Histology of Liver and Intestine in Juvenile Carp (*Cyprinus carpio*, L.) Fed Extruded Diets with or without Fish Meal. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 12: 301-308, 2012. DOI: 10.4194/1303-2712-v12_2_15
- MARTINELLI, S. G.; RADÜNZ NETO, J.; SILVA, L. P.; BERGAMIN, G. T.; MASCHIO, D.; DELLA FLORA, M. A. L.; NUNES, L. M. C.; POSSANI, G. Densidade de estocagem e frequência alimentar no cultivo de jundiá em tanques-rede. **Pesq. agropec. bras.**, v.48, n.8, p.871-877, 2013.
- MARTINEZ, C. B. R. **Parâmetros bioquímicos de peixes para avaliação da qualidade da água.** Departamento de Ciências Fisiológicas, Universidade Estadual de Londrina. 19p., 2006.
- MCCUE, M. D. Starvation physiology: reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. **Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.** 156, 1-18. 2010.
- MELO, B. F.; SATO, Y.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C. The roles of marginal lagoons in the maintenance of genetic diversity in the Brazilian migratory fishes *Prochilodus argenteus* and *P. costatus*. **Neotropical Ichthyology**, 11(3):625-636, 2013.
- MÉNDEZ, G.; WIESER, W. Metabolic responses to food deprivation and refeeding in juveniles of *Rutilus rutilus* (Teleostei: Cyprinidae). **Environmental Biology of Fishes** 36: 73-81, 1993.
- MENEZES, C. C.; FONSECA, M. B.; LORO, V. L.; SANTI, A.; CATTANEO, R.; CLASEN, B.; PRETTO, A.; MORSCH, V. M. Roundup effects on oxidative stress parameters and recovery pattern of *Rhamdia quelen*. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, 60:665-671, 2011.
- MIDWOOD, J. D.; LARSEN, M. H.; AARESTRUP, K.; COOKE, S. J. Stress and food deprivation: linking physiological state to migration success in a teleost fish. **Journal of Experimental Biology** 219, 3712-3718, 2016.
- MODESTO, K. A.; MARTINEZ, C. B. R. Roundup® causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. **Chemosphere** 78: 294–299, 2010. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.10.047
- MORSHEDI, V.; KOCHANIAN, P.; AHMADI-NIKO, M.; AZODI, M.; PASHA-ZANOOSI, H. Compensatory growth response of sailfin molly, *Poecilia latipinna* (Lesueur, 1821) to starvation and refeeding. **International Journal of Aquatic Biology**, 1(3): 109-115, 2013.

- NAMRATA, S.; SANJAY, N.; PALLAVI, C. Effect of Starvation on the Biochemical Composition of Freshwater Fish *Channa punctatus*. **Recent Research in Science and Technology**, 3(9): 17-19, 2011.
- NASCIMENTO, W. S. do.; SILVA, G. M. M.; TEIXEIRA, L.; FEITOSA, I. S. Histology of the Digestive Tract of *Anablepsoides urophthalmus* from Brazilian Oriental Amazonia. **Journal of Aquaculture & Marine Biology**. 7(1): 00181, 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.31606.09281
- NEBO, C.; OVERTURF, K.; BREZAS, A.; DAL-PAI-SILVA, M.; PORTELLA, M. C. Alteration in expression of atrogenes and IGF-1 induced by fasting in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles. **Int. Aquat. Res.** 9:361–372, 2017. <http://doi.org/10.1007/s40071-017-0182-1>
- NUNES, Z. M. P.; LAZZARO, X.; PERET, A. C. Influência da biomassa inicial sobre o crescimento e a produtividade de peixes em sistema de policultivo. **Ciênc. Agrotec.**, v.,n.6,p.1083-1090. 2006.
- OH, S. Y.; NOH, C. H.; CHO, S. H. Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.38, n.3, 2007.
- 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. DOI 10.1007/s10499-005-9016-z
- PALMA, E. H.; 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, n.2, p. 421-426, 2010.
- PASCUAL, P.; PEDRAJAS, J. R.; TORIBIO, F.; LÓPEZ-BAREA, J.; PEINADO, J. Effect of food deprivation on oxidative stress biomarkers in fish (*Sparus aurata*). **Chemico-Biological Interactions**, 145:191-199, 2003. DOI: 10.1016/s0009-2797(03)00002-4
- PASSINATO, E. B.; MAGALHÃES JUNIOR, F. O.; CIPRIANO, F. S.; SOUZA, R. H. B.; LIMA, K. S.; CHIAPETTI, J; BRAGA, L. G. T. Performance and economic analysis of the production of Nile tilapia submitted to different feeding management. **Ciências Agrárias**, v.36, n.6, suplemento 2, p.4481-4492, 2015.
- PAZ, A. L.; PASTRANA, Y. M.; BRANDÃO, L. V. Food deprivation does not affect growth performance of juvenile tambacu. **Acta Amazonica**, 48(3):207-210, 2018.
- PETERSON, B. D.; SMALL, B. C. Effects of fasting on circulating IGF-binding proteins, glucose, and cortisol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Domestic Animal Endocrinology**, 26:231–240, 2004.
- PURUSHOTHAMAN, K.; LAU, D.; SAJU, J. M.; MUSTHAQ, S. K. S.; LUNNY, D. P.; VIJ, S.; ORBÁN, L. Morpho-histological characterization of the alimentary canal of an important food fish, Asian seabass (*Lates calcarifer*). **PeerJ** 4:e2377; 2016. DOI 10.7717/peerj.2377
- RAŠKOVIĆ, B. S.; STANKOVIĆ, M. B.; MARKOVIĆ, Z. Z.; POLEKSIĆ, V. D. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. **Journal of Agricultural Sciences**, Vol. 56, No. 1, Pages 87-100, 2011. DOI: 10.2298/JAS1101087R
- RIBEIRO, C. A. O.; FANTA, E. Microscopic morphology and histochemistry of the digestive system of a tropical freshwater fish *Trichomycterus brasiliensis* (U.itken) (Siluroidei, Trichomycteridae). **Revta bras, Zool.** 17 (4): 953 - 971 , 2000.

- RIBEIRO, F. F.; TSUZUKI, M. Y. Compensatory growth responses in juvenile fat snook, *Centropomus parallelus* Poey, following food deprivation. **Aquaculture Research**, 41: 226-233, 2010.
- RIOS, F. S.; 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. **Braz. Arch. Biol. Technol.** v.52 n.2: pp. 465-471, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132009000200025>
- RIOS, F. S.; KALININ, A. L.; FERNANDES, M. N.; RANTIN, F. T. Changes in gut gross morphology of traíra, *Hoplias malabaricus* (teleostei, erythrinidae) during long-term starvation and after refeeding. **Braz. J. Biol.**, 64(3B): 683-689, 2004.
- RODRIGUES, A. P. O.; CARGNIN-FERREIRA, E. Morphology and Histology of the Pirarucu (*Arapaima gigas*) Digestive Tract. **Int. J. Morphol.**, 35(3):950-957, 2017.
- RODRIGUES, S. S.; NAVARRO, R. D.; MENIN, E. Anatomia do tubo digestório de *Leporinus macrocephalus* GARAVELLO & BRITSKI, 1988 (Characiformes, Anostomidae) em relação ao seu hábitat alimentar. **Biosci. J.**, v. 24, n. 3, p. 86-95. 2008.
- RODRÍGUEZ, L.; LANDINES, M. A. Evaluación de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico em juveniles de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, em condiciones de laboratorio. **Rev. Med. Vet. Zoot.** 58(3): 141-155, 2011.
- SALAM, A.; ALI, M.; MASUD, S. Effect of various Food deprivation regimes on body composition dynamics of Thaila, *Catla catla*. **Journal of Research (Science)** Vol. 11, No. 1, pp.26-32, 2000.
- SALA-RABANAL, M.; SÁNCHEZ, J.; IBARZ, A.; FERNÁNDEZ-BORRÁS, J.; BLASCO, J.; GALLARDO, M. A. Effects of low temperatures and fasting on hematology and plasma composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Fish Physiology and Biochemistry**, 29: 105–115, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000035904.16686.b6>
- SALARO, A. L.; LUZ, R. K.; SAKABE, R.; KASAI, R. Y. D.; LAMBERTUCCI, D. M. Níveis de arraçoamento para juvenis de trairão (*Hoplias lacerdae*). **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.6, p.967-970, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000600002>.
- SALIN, K.; VILLASEVIL, E. M.; ANDERSON, G. J.; AUER, S. K.; SELMAN, C.; HARTLEY, R. C.; MULLEN, W.; CHINOPOULOS, C.; METCALFE, N. B. Decreased mitochondrial metabolic requirements in fasting animals carry an oxidative cost. **Functional Ecology**, 1-9. 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13125>
- SANTOS, E. L.; SOARES, A. C. L.; TENÓRIO, O. L. D.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; GUSMÃO JÚNIOR, L. F.; SANTOS, E. L. Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.70, n.3, p.931-938, 2018. DOI: 10.1590/1678-4162-9891
- SANTOS, E. L.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; ALBUQUERQUE, I. C. M.; MOURA, S. C. S. Restrição alimentar no desempenho de machos do peixe beta (*Betta splendens*). **Comunicata scientiae** 7(1): 12-23, 2016.
- SANTOS, L.; PEREIRA FILHO, M.; SOBREIRA, C.; ITUASSÚ, D.; FONSECA, F. A. L. Exigência proteica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. **ACTA AMAZONICA**, v.40(3): 597-604, 2010.

- SANTOS, M. L. dos.; ARANTES, F. P.; PESSALI, T. C.; SANTOS, J. E. dos. Morphological, histological and histochemical analysis of the digestive tract of *Trachelyopterus striatulus* (Siluriformes: Auchenipteridae). **ZOOLOGIA** 32 (4): 296–305, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702015000400005>
- ŞEN, G.; KARAYTUĞ, S. Effects of Lead and Selenium Interaction on Acetylcholinesterase Activity in Brain and Accumulation of Metal in Tissues of *Oreochromis niloticus* (L., 1758). **NEsciences**, 2(2): 21-32, 2017.
- SILVA, D. F.; LOPES, J. H.; SANTOS, E. L.; LIMA, M. R.; SOARES, E. C.; OLIVEIRA, W. D.; SILVA, L. L. A. Crescimento heterogêneo de tilápia do Nilo alimentados com resíduos de biscoito na dieta. **Ciência agrícola**, v.15, número suplementar, p.41-43, 2017. <http://dx.doi.org/10.28998/rca.v15i0.3770>
- SILVA, E. M. P.; MELO, M. P.; OLIVEIRA, R. H. F.; PUGINE, S. M. P. Atividade da catalase e da lactato desidrogenase em tilápias submetidas a estresse de confinamento: efeito da cor do ambiente. **Ciência Rural**, v. 42, n.5, p. 894-899, 2012.
- SILVA, J. M.; SANTOS, F. L. B.; TENÓRIO, H. A.; PEREIRA, H. J. V.; COSTA, J. G.; SANTANA, A. E. G.; MACHADO, S. S.; ABREU, F. C. *In vivo* and *in vitro* inhibition of cholinesterase activity in *Colossoma macropomum* (tambaqui) fingerlings by the herbicide trifluralina. **Ecotoxicol. Environ. Contam.**, v. 10, n. 1, 23-30, 2015. doi: 10.5132/eec.2015.01.04
- SHARBIDRE, A. A.; METKARI, V.; PATODE, P. Effect of diazinon on acetylcholinesterase and lipid peroxidation of *Poecilia reticulata*. **Research Journal of Environmental Toxicology** 5(2):152-161, 2011.
- SOARES, E.; ALMEIDA, E. O.; ARAÚJO, K.; LIMA, M.; GUSMÃO JÚNIOR, L.; OLIVEIRA, W. D.; SANTOS, E. L. Polyculture of curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) and canela Shrimp (*Macrobrachium acanthurus*) feed with dehydrated cassava leaf meal. **Latin American Journal of Aquatic Research**, 47 (1):27-33, 2019. DOI: 10.3856/vol47-issue1-fulltext-4
- 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) submetidos a ciclos alternados de restrição e realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32: 19-28. 2003.
- STRINGUETTI, C.; GUILHERMINO, L.; SILVA, E. M. da. Cholinesterase Activity in the Head of Wild *Poecilia reticulata* from Bahia, Brazil: Biochemical Characterization, Effects of Sample Storage and Normal Range of Activity. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 3, n. 1, 57-63, 2008. doi: 10.5132/jbse.2008.01.009
- TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; CRISCUOLO-URBINATI, E.; URBINATI, E. C. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 95: 259-266, 2010.
- TANCREDO, K. R. **Imunização com *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876) em jundiá *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard, 1824): efeitos na sobrevivência, respostas hematológicas, bioquímica e histopatológica**. 85p. Dissertação (mestrado em aquicultura). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 2015.
- TONI, C.; FERREIRA, D.; KREUTZ, L. C.; LORO, V. L.; BARCELLOS, L. J. G. Assessment of oxidative stress and metabolic changes in common carp (*Cyprinus carpio*) acutely exposed to different concentrations of the fungicide tebuconazole. **Chemosphere**, 83:579-584, 2011.

- TONI, C.; MENEZES, C. C.; LORO, V. L.; CLASEN, B. E.; CATTANEO, R.; SANTI, A.; PRETTO, A.; ZANELLA, R.; LEITEMPERGER, J. Oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* exposed to commercial herbicide bispyribac-sodium. **Journal of Applied Toxicology**, 30:590-595, 2010.
- URBINATI, E. C.; OCHOA, A. I. S.; CAMARGO, A. C. S.; CAVARLHO, E. G.; SOUZA, V. L.; GONÇALVES, F. D. **Manejo alimentar e reprodução em peixes**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 14p., 2015.
- 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** 433: 430-433, 2014.
- VAN DIJK, P. L. M.; HARDEWING, I.; HÖLKER, F. Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. **Journal of Fish Biology**, 66, 167–181, 2005.
- VIEIRA, C. E. D.; COSTA, P. G.; LUNARDELLI, B.; OLIVEIRA, L. F.; CABRERA, L. C.; RISSO, W. E.; PRIMEL, E. G.; MELETTI, P. C.; FILLMANN, G.; MARTINEZ, C. B. R. Multiple biomarker responses in *Prochilodus lineatus* subjected to short-term in situ exposure to streams from agricultural areas in Southern Brazil. **Science of the Total Environment** 542: 44–56, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.071>
- VOLPATO, G. L.; FRIOLI, P. M. A.; CARRIERI, M. P. Heterogeneous growth in fishes: some new data in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and a general view about the causal mechanisms. **Bol. Fisiol. Anim.**, 13:7-22, 1989.
- WAAGBØ, R.; JØRGENSEN, S. M.; TIMMERHAUS, G.; BRECK, O.; OLSVIK, P. A. Short-term starvation at low temperature prior to harvest does not impact the health and acute stress response of adult Atlantic salmon. **PeerJ.**, 22p., 2017. doi: 10.7717/peerj.3273
- WANG, T.; HUNG, C. C. Y.; RANDALL, D. J. The comparative physiology of food deprivation: from feast to famine. **Annu. Rev. Physiol.** 68, 223-251. 2006.
- WONG, M. Y. L.; MUNDAY, P. L.; BUSTON, P. M.; JONES, G. P. Fasting or feasting in a fish social hierarchy. **Current Biology**, Vol. 18, N. 9, 2p. 2008.
- YOSHIOKA, E. T. O. Cuidados Essenciais no Manejo Alimentar de Peixes Redondos Cultivados no Estado do Amapá. **Comunicado Técnico** 97, 6p., 2014.
- ZALDÚA, N.; NAYA, D. E. Digestive flexibility during fasting in fish: a review. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A 169:7–14, 2014.
- ZAMBRANO, N. J.; LANDINES, P. M. Ingestión de lípidos oxidados: efecto sobre actividad enzimática antioxidativa en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). **Revista MVZ**, 16 (3):2765-2777, 2011.

4. Objetivos

4.1. Geral

Avaliar os efeitos do manejo alimentar envolvendo ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação nos índices zootécnicos e parâmetros fisiológicos em formas jovens do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*).

4.2. Específicos

Quantificar o desempenho produtivo em formas jovens de curimatã-pacu submetidos a ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação;

Analisar a influência da restrição alimentar sobre o crescimento heterogêneo em formas jovens do curimatã-pacu;

Diagnosticar possíveis efeitos sobre a morfofisiologia dos órgãos em formas jovens do curimatã-pacu quando submetidos a restrição alimentar e realimentação;

Avaliar a composição corpórea em formas jovens do curimatã-pacu submetidos a ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação;

Verificar a influência da restrição alimentar sobre parâmetros histológicos das vilosidades do intestino anterior em formas jovens do curimatã-pacu submetidas ao protocolo de restrição alimentar/realimentação;

Diagnosticar possíveis influências nos índices glicêmicos em formas jovens do curimatã-pacu sob restrição alimentar;

Mensurar quantitativamente a interação restrição alimentar/células de defesa em formas jovens do curimatã-pacu;

Verificar os efeitos da restrição alimentar sobre a capacidade antioxidante em formas jovens do curimatã-pacu;

Analisar a influência dos regimes de restrição/realimentação na atividade das colinesterases em formas jovens do curimatã-pacu.

5. ARTIGO 1

* elaborado conforme às normas da revista **Aquaculture Research**

Adaptação de *Prochilodus argenteus* ao jejum*

Resumo

Objetivou-se avaliar efeitos do jejum e realimentação no desenvolvimento e aspectos morfofisiológicos em formas jovens de *Prochilodus argenteus*. Utilizou-se 140 peixes, com $2,85 \pm 0,04$ g, distribuídos em 20 caixas, inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, durante 64 dias. Os tratamentos foram: T1 – alimentação ininterrupta (7A:0R), T2 – alimentação seis dias e um dia de jejum (6A:1R), T3 – alimentação cinco dias e dois dias de restrição (5A:2R) e T4 – alimentação quatro dias e três dias de privação (4A:3R). Analisou-se variáveis de desempenho produtivo e dados morfofisiológicos: índices hepatossomático e viscerossomático (IHS e IVS), composição corpórea e histologia do intestino. Os grupos 6A:1R e 5A:2R mostraram peso final, ganho de peso, comprimento total, comprimento padrão e comprimento da cabeça semelhantes ao 7A:0R, diferindo ($p < 0,05$) de 4A:3R, indicando baixa adaptabilidade do organismo ao jejum mais longo. O jejum culminou em menor consumo de ração ($p = 0,0000$) e menor taxa de crescimento ($p = 0,0116$). O crescimento heterogêneo foi amenizado em 4A:3R. Os grupos 5A:2R e 4A:3R mostraram baixos níveis lipídicos e matéria seca ($p < 0,01$) e maiores taxas proteicas ($p < 0,01$), indicando baixa agressividade do jejum. A restrição proferiu alterações histomorfológicas no intestino como forma de adaptação. O protocolo 5A:2R pode ser aplicado no manejo alimentar dessa espécie.

Palavras-chave: adaptação fisiológica, desempenho zootécnico, espécie nativa, restrição alimentar

Introdução

A intensa procura e consumo de produtos do pescado, antes suprida em maior parcela pela pesca, resultou em aumento na atividade de cultivo com intuito de atender tais demandas. Entretanto, para que essa atividade gere produtos acessíveis, do ponto de vista econômico, ao consumidor final é fundamental aplicar técnicas que amortizem os custos de produção. Os custos com ração margeiam cerca de 70% em sistemas aquícolas (Paz, Pastrana & Brandão, 2018; Santos et al., 2018). O uso de períodos curtos de privação de alimentos seguidos de realimentação adequada pode ser uma boa alternativa para reduzir custos e diminuir a carga orgânica do sistema sem afetar o desempenho zootécnico do organismo (Adakli & Taşbozan, 2015), evitando desperdícios de ração e econômicos (Bernardes & Públio, 2012).

A maioria dos teleósteos passa naturalmente por períodos sem se alimentar ao longo de um ciclo de vida normal (Van Dijk, Hardewing & Holker, 2005; Namrata, Sanjay & Pallavi, 2011; Arslan, Sahin, Hisar & Hisar, 2015; Killen, Fu, Wu, Wang & Fu, 2016) e, conseqüentemente, têm desenvolvido a capacidade de suportar escassez prolongada de alimentos. A restrição alimentar envolve uma complexidade de alterações e efeitos metabólicos que podem estar associados ao ajuste biológico do animal, e suas conseqüências podem variar

de acordo com a espécie (Azodi, Ebrahimi, Farhadian, Mahboobi-Soofiani & Morshedi, 2015), idade do peixe (Urbinati et al., 2015), maturidade sexual, fotoperíodo, temperatura da água, intensidade do período de jejum (Oh, Noh & Cho, 2007), composição dietária (Rodríguez & Landines, 2011) e o protocolo experimental empregado (Ribeiro & Tsuzuki, 2010).

O crescimento de algumas espécies animais é mais rápido durante a fase de recuperação da privação alimentar, em comparação com os períodos de alimentação contínua. Esse crescimento mais rápido permite que esses animais de crescimento reduzido atinjam um tamanho semelhante ao dos animais que não sofreram restrição alimentar. Esta resposta acelerada, entre indivíduos da mesma espécie e idade que tende a restaurar a trajetória de crescimento, é denominada crescimento compensatório ou recuperação do crescimento (Ferreira & Nuñez, 2015).

A determinação de um manejo alimentar adequado nas distintas fases de cultivo é um fator chave que está atrelado ao desenvolvimento dos peixes e aos custos totais com a alimentação. Visto que, tais medidas contribuem para maior produtividade e sustentabilidade do setor (Gabriel, Omoregie, Martin, Kukuri & Shilombwelwa, 2017). Protocolos de restrição alimentar seguidos de realimentação são bem difundidos em espécies exóticas de alto valor produtivo, no entanto, pouco se conhece da influência de diferentes regimes alimentares em espécies nativas com potencial produtivo. O curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*), espécie endêmica da bacia do São Francisco (Soares et al., 2019) e, considerado um dos recursos pesqueiros mais explorados no baixo São Francisco, revela grande potencial produtivo e, desse modo, a adoção de técnicas de privação alimentar por curtos períodos pode surtir efeitos positivos no seu desempenho zootécnico.

Estudos sobre a restrição alimentar em peixes são importantes para uma melhor compreensão da biologia do crescimento destes no ambiente natural e sob condições de cultivo (Passinato et al., 2015). Considerando que as informações relativas à privação alimentar e crescimento compensatório em espécies de peixes tropicais e subtropicais são escassas, especialmente, para espécies nativas, e que as respostas compensatórias são espécie-específica, este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes regimes alimentares sobre o desempenho produtivo e aspectos morfofisiológicos de formas jovens do curimatã-pacu (*P. argenteus*).

Materiais e métodos

Trabalho experimental

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Aquicultura e Análises de Água (Laqua) do Centro de Ciências Agrárias - CECA da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Foram utilizados 140 peixes, de $2,85 \pm 0,04$ g, oriundos da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), que inicialmente, passaram por um período de aclimatização (7 dias) em tanque circular com capacidade 1.000 L e, em seguida, foram distribuídos em 20 caixas de poliuretano com capacidade total de água de 130 L, montados num sistema de recirculação de água, abastecimento individual, com biofiltro (composto de britas, conchas e *bioballs*) e aeração constante. Diariamente, foram monitoradas as variáveis de qualidade da água (T°C, pH, O.D.), manhã e tarde, dos tanques experimentais através de sonda multiparâmetro digital, além de amônia e nitrito com uso do fotômetro e kit colorimétrico a cada dois dias.

Os peixes foram transferidos para o sistema experimental quando foi observada a captura da ração no tanque de aclimatização e ausência de mortalidade. No sistema experimental, a ração foi ofertada até a aparente saciedade, distribuída em três refeições diárias (8:00, 12:00 e 16:00), de acordo com os tratamentos pré-estabelecidos. Utilizou-se ração extrusada comercial com 45% de proteína bruta e 0,8 a 1,0 mm de diâmetro.

Com base nas informações contidas no rótulo do produto, a ração apresentava em sua composição básica: milho integral moído, arroz quebrado, farinha de trigo, farelo de soja, farinha de peixe, farinha de sangue, farinha de vísceras, farinha de lula, óleo de peixe refinado, hemoglobina em pó, calcário calcítico, fosfato monobicálcico, cloreto de sódio (sal comum), proteinato de zinco, levedura enriquecida com selênio, sulfato de ferro, sulfato de cobre, monóxido de manganês, óxido de zinco, iodato de cálcio, sulfato de cobalto, selenito de sódio, premix mineral e vitamínico, além da adição de enzimas como descrito na tabela 1 em sua composição centesimal. Para não ocorrer influência de restos alimentares e resíduos metabólicos, antes de iniciar o jejum foi realizada a retirada de sobras e renovação de água (50%).

Tabela 1. Composição centesimal da ração comercial® para formas jovens do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) conforme informações contidas no rótulo do produto.

Parâmetros nutricionais	Valores (g.kg ⁻¹)¶
Umidade (máx.)	130,00
Matéria Mineral (máx.)	160,00
Fibra Bruta (máx.)	36,00
Proteína Bruta (mín.)	450,00
Extrato Etéreo (mín.)	90,00
Cálcio (máx.)	30,00
Cálcio (mín.)	20,00
Fósforo (mín.)	10,00

¶Premix mineral e vitamínico: vitamina A (mín.) = 14.500,0 UI.Kg⁻¹; vitamina B1 (mín.) = 25,0 mg.Kg⁻¹; vitamina B2 (mín.) = 29,0 mg.Kg⁻¹, vitamina B5 (mín.) = 60,00 mg.Kg⁻¹, vitamina B6 (mín.) = 18,50 mg.Kg⁻¹, vitamina B9 (mín.) = 7,40 mg.Kg⁻¹, vitamina B12 (mín.) = 53,0 mcg.Kg⁻¹, vitamina C (mín.) = 1.500,0 mg.Kg⁻¹, vitamina D3 (mín.)= 3.000,0 UI.Kg⁻¹, vitamina E (mín.) = 400,0 UI.Kg⁻¹, vitamina K3 (mín.) = 12,30 mg.Kg⁻¹, biotina (mín.) = 0,60 mg.Kg⁻¹, niacina (mín.) = 125,0 mg.Kg⁻¹, colina (mín.) = 900,0mg.Kg⁻¹, metionina (mín.) = 10,0 g.Kg⁻¹, lisina (mín.) = 29,90 g.Kg⁻¹, pectinase (mín.) = 1.400,0 UI.Kg⁻¹, protease (mín.) = 240,0 UI.Kg⁻¹, fitase (mín.) = 105,0 UI.Kg⁻¹, betaglucanase (mín.) = 65,0 UI.Kg⁻¹, xilanase (mín.) = 35,0 UI.Kg⁻¹, celulase (mín.) = 13,0 UI.Kg⁻¹, amilase (mín.) = 11,0 UI.Kg⁻¹, cobre (mín.) = 7,50 mg.Kg⁻¹, cobalto (mín.) = 0,15 mg.Kg⁻¹, sódio (mín.) = 3.430,0 mg.Kg⁻¹, ferro (mín.) = 44,0mg.Kg⁻¹, iodo (mín.) = 1,50 mg.Kg⁻¹, magnésio (mín.) = 95,0 mg.Kg⁻¹, manganês (mín.) = 44,0 mg.Kg⁻¹, selênio (mín.) = 0,45 mg.Kg⁻¹, zinco (mín.) = 90,0 mg.Kg⁻¹.

A biometria foi realizada no início e no final do período experimental, com duração de 64 dias. Foram avaliados os parâmetros de: desempenho produtivo, compreendendo o peso final (PF), ganho de peso (GP), consumo médio de ração (CMR), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência protéica (TEP), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), largura do corpo (LC), altura do corpo (AC), comprimento da cabeça (Ccab), taxa de crescimento específico (TCE) = $100[\ln \text{ peso final (g)} - \ln \text{ peso inicial (g)}]/\text{dias}$, índice de perfil (IPERF) = comprimento padrão/altura, índice de cabeça (ICAB) = comprimento total/comprimento da cabeça, sobrevivência (Sobrev (%)) e crescimento heterogêneo (CHet), estipulado por intermédio do coeficiente de variação do peso dos organismos (CV % = desvio padrão/média de peso x 100).

Como indicadores de possíveis alterações morfofisiológicas foram avaliados a composição corporal, peso dos órgãos do sistema digestório (índice hepatossomático (IHS = $\text{PF/PV} \times (100)$) onde PF é o peso do fígado e PV é o peso vivo e, índice viscerossomático (IVS = $\text{PVS/PV} \times (100)$) onde PVS é o peso das vísceras) e histologia das vilosidades do intestino anterior.

Composição corpórea

Para análise de composição corporal, amostras de peixes inteiros de cada tratamento foram trituradas em processador e, em seguida, mantidas em sacos plásticos sob refrigeração a -18°C . Posteriormente, as amostras foram liofilizadas (-40°C) durante 4 dias. Em seguida, para quantificar macro e micronutrientes do corpo fez-se análises de matéria seca (MS), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) (cinzas) em equipamentos específicos, conforme Rostagno et al. (2017).

Para MS foi adicionado aproximadamente 1,0 g das amostras de cada tratamento (em duplicata) em cadinhos e, em seguida, colocados em estufa a 105°C durante uma noite, retirados em dessecador e pesados em balança analítica para aferição da MS conforme equação abaixo:

$\%MS = (PAS/PA) \times 100$, onde:

PAS = peso da amostra seca em estufa; e

PA = peso da amostra inicial.

A determinação da PB foi realizada com base na digestão, destilação e titulação das amostras. Para isso, foram pesados em duplicata 0,200 g da amostra de cada tratamento, colocados em tubo digestor e, em seguida adicionou-se a solução digestora (7 mL). Os tubos permaneceram em bloco digestor durante 6h em 350°C . Após digestão, e os tubos esfriarem foi adicionado 20 mL de água destilada. A destilação foi realizada com uso de ácido bórico (10 mL) e hidróxido de sódio (25 mL). A solução de cada amostra, proveniente do processo de destilação, foi titulada com uso de ácido clorídrico (0,02 N) e, por fim, os dados foram plotados em planilha Excel para determinar o nível protéico pela equação descrita abaixo:

$N (\%) = (0,014 \times 100 \times A \times B \times C) / D$, onde:

A = volume do HCL (mL);

B = concentração do HCL;

C = fator da solução de HCL;

D = peso da amostra.

A percentagem de nitrogênio encontrada foi multiplicada pelo fator 6,25 para mensurar o teor de proteína bruta (PB%) de cada amostra.

O nível de EE foi mensurado com uso do extrator Soxhlet. Inicialmente, foi pesado aproximadamente 1,0 g de cada amostra (em duplicata), e colocada em papel filtro para confecção dos sachês. Os sachês foram dispostos no extrator Soxhlet contendo reagente hexano por 6h a temperatura de 65°C . Posteriormente, os sachês foram secos em estufa (55°C) para

evaporar o reagente e, em seguida, pesados para quantificar extrato etéreo, conforme equação a seguir:

$EE (\%) = ((Am - Res) / Am) \times 100$, onde:

Am = amostra inicial;

Res = resíduo.

As amostras provenientes da MS serviram para quantificar a MM, onde os cadinhos foram colocados em forno mufla (600°C) durante 6h, resultando nas cinzas necessárias para quantificar matéria mineral, de acordo com a equação abaixo:

$MM (\%) = ((P2 - P1) / Pa) \times 100$, onde:

P1 = peso do cadinho;

P2 = peso do cadinho + cinzas;

Pa = peso da amostra.

Avaliação histológica das vilosidades intestinais

Amostras do intestino anterior de quatro exemplares de cada tratamento foram fixadas em solução com formalina durante 24h e armazenadas em álcool 70%. Após a fixação, as amostras foram desidratadas em série alcoólica crescente a 70, 80 e 90% (10 minutos cada) e posteriormente em três banhos de 10 minutos cada em álcool etílico a 99%.

As amostras foram infiltradas à temperatura ambiente, inicialmente, em um banho de duas horas, com uma mistura de historesina (Leica®) e álcool (1:1) e, posteriormente, mantidas imersas em historesina pura por 24h em temperatura ambiente, até que os blocos se polimerizassem por completo para realização dos cortes em micrótomo. Cortes semifinos com 5µm de espessura foram obtidos em micrótomo rotativo com navalhas de aço inox.

Os cortes foram transferidos para lâminas histológicas, sendo colocadas em placa aquecida a 40°C durante 15 minutos, para que os cortes fossem distendidos e aderidos à lâmina. Em seguida, os cortes foram corados com hematoxilina de Harris, por 30 minutos, lavados em água corrente por 5 minutos, corados com eosina por 30 segundos e lavados em água corrente. Para proteção do material, lamínulas foram aderidas às lâminas usando Entellan® (Merck Millipore) como meio de montagem. Posteriormente, foram fotografados e analisados, dez cortes histológicos de cada tratamento, em microscópio de luz (objetiva aumento de 20x) com câmera digital acoplada, para aferir a média e desvio padrão da altura e quantitativo das vilosidades de formas jovens do curimatã-pacu, submetido a regimes de restrição alimentar.

Delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu em um inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, constituindo 20 parcelas experimentais. Os tratamentos foram atribuídos com base no manejo dos dias de restrição alimentar, seguidos ou não da oferta de ração, ou seja, o tratamento 1: alimentação todos os dias (7A:0R) (controle), tratamento 2: alimentação durante seis dias e um dia de restrição (6A:1R), tratamento 3: alimentação durante cinco dias e dois dias de restrição (5A:2R), e o tratamento 4: alimentação durante quatro dias e três dias de restrição (4A:3R).

Análise estatística e comissão de ética em pesquisas com animais

Todos os dados coletados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e, quando comprovada diferença significativa entre as médias, analisados pelo teste de Tukey e regressão linear ao nível de 5% de probabilidade com uso do programa R Studio[®]. Esta pesquisa está de acordo com os preceitos da comissão de ética no uso de animais (CEUA/UFAL), sendo aprovada sob protocolo n° 02/2018.

Resultados

Qualidade da água

O sistema de recirculação contendo biofiltro, aquecedores e aeradores, possibilitou a manutenção dos parâmetros físico-químicos da água em níveis recomendados para espécie e fase de desenvolvimento. A temperatura, oxigênio dissolvido e pH são importantes agentes reguladores do sistema e ação metabólica dos peixes, expressando níveis adequados com $27,82 \pm 0,45^\circ\text{C}$, $5,07 \pm 0,15 \text{mg.L}^{-1}$ e $7,02 \pm 0,22$, respectivamente. O biofiltro composto de britas, conchas de moluscos e *bioballs*, serviu de substrato para colônias de bactérias que atuam no processo de nitrificação, o que refletiu em níveis aceitáveis de amônia ($0,11 \pm 0,04 \text{mg.L}^{-1}$) e nitrito ($0,06 \pm 0,02 \text{mg.L}^{-1}$) no sistema.

Desempenho zootécnico

A tabela 2 destaca que para os dados de peso inicial (PI), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP), largura do corpo (LC), altura do corpo (AC), índice de perfil (IPERF), índice de cabeça (ICAB) e sobrevivência (Sobrev (%)) não foi observada diferença ($p > 0,05$) entre os distintos tratamentos. As variáveis de peso final (PF), ganho de peso

(GP), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP) e comprimento da cabeça (Ccab) de 6A:1R e 5A:2R não diferiram ($p>0,05$) de 7A:0R, dessa forma, não provocando alterações significativas no desempenho dos organismos e evidenciando o ganho compensatório parcial nesses grupos.

Tabela 2. Médias e desvio padrão de dados do desempenho zootécnico em formas jovens do Curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) submetidos ao manejo de restrição alimentar durante 64 dias.

	Tratamentos				CV (%)	p-valor	Regressão	R ²
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R				
PI (g)	2,85±0,04 ^a	2,85±0,05 ^a	2,85±0,04 ^a	2,85±0,03 ^a	1,46	0,991 ^{ns}	Y=2,846	-
PF (g)	8,67±1,54 ^a	7,11±0,84 ^{ab}	7,68±1,53 ^{ab}	6,36±0,42 ^b	14,76	0,0138*	Y=-0,738x+9,613	0,67
GP (g)	5,82±1,07 ^a	4,26±0,69 ^{ab}	4,83±1,18 ^{ab}	3,51±0,37 ^b	19,25	0,006**	Y=-0,637x+6,20	0,71
CMR (g)	9,06±0,59 ^a	7,09±0,54 ^b	7,28±0,78 ^b	5,69±0,17 ^c	7,75	0,0000**	Y=-0,994x+9,764	0,86
CAA (g)	1,56±0,16 ^a	1,66±0,17 ^a	1,51±0,39 ^a	1,62±0,07 ^a	13,06	0,6255 ^{ns}	Y=1,5875	-
TEP	0,91±0,14 ^a	0,86±0,13 ^a	0,93±0,14 ^a	0,88±0,08 ^a	14,08	0,7679 ^{ns}	Y=0,895	-
CT (cm)	8,61±0,52 ^a	8,30±0,28 ^{ab}	8,31±0,45 ^{ab}	7,82±0,21 ^b	4,66	0,037*	Y=-0,235x+8,849	0,87
CP (cm)	6,78±0,24 ^a	6,49±0,21 ^{ab}	6,67±0,24 ^a	6,00±0,13 ^b	4,39	0,0026**	Y=-0,215x+7,024	0,65
LC (cm)	0,87±0,06 ^a	0,96±0,15 ^a	0,93±0,13 ^a	0,86±0,04 ^a	11,80	0,4531 ^{ns}	Y=0,905	-
AC (cm)	2,27±0,12 ^a	2,10±0,13 ^a	2,27±0,21 ^a	2,05±0,09 ^a	6,67	0,0630 ^{ns}	Y=2,1725	-
Ccab (cm)	2,15±0,13 ^a	2,10±0,07 ^{ab}	2,18±0,09 ^a	1,91±0,11 ^b	5,12	0,0056**	Y=-0,062x+2,238	0,47
TCE	1,66±0,27 ^a	1,21±0,16 ^b	1,35±0,30 ^{ab}	1,17±0,12 ^b	16,75	0,0116*	Y=-0,136x+1,688	0,60
IPERF	3,05±0,09 ^a	3,18±0,08 ^a	3,05±0,09 ^a	3,04±0,09 ^a	2,87	0,0611 ^{ns}	Y=3,08	-
ICAB	4,08±0,16 ^a	3,95±0,15 ^a	3,89±0,08 ^a	4,04±0,09 ^a	3,11	0,1034 ^{ns}	Y=3,99	-
Sobrev (%)	82,86±11,95 ^a	68,57±25,55 ^a	71,43±26,73 ^a	71,43±10,10 ^a	27,29	0,6890 ^{ns}	Y=73,5725	-

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa (ns), PI – peso inicial, PF – peso final, GP – ganho de peso, CMR – consumo médio de ração, CAA – conversão alimentar aparente, TEP – taxa de eficiência protéica, CT – comprimento total, CP – comprimento padrão, LC – largura do corpo, AC – altura do corpo, Ccab – comprimento da cabeça, TCE – taxa de crescimento específico diário, IPERF – índice de perfil, ICAB – índice de cabeça, Sobrev - sobrevivência; (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação; CV (%) – coeficiente de variação, * significativo a 5%, ** significativo a 1%.

O grupo 4A:3R revelou piores resultados para os parâmetros de PF, GP, CT, CP e Ccab ($p < 0,05$), indicando baixa adaptabilidade do organismo a períodos mais prolongados de restrição alimentar nessa fase de vida, o que pode estar relacionado a inexistência de hiperfagia dentre os grupos submetidos aos períodos de jejum, revelando menor consumo de ração (CMR) quando comparado ao tratamento controle (7A:0R) ($p = 0,0000$), especialmente o grupo 4A:3R com redução de 37,20% no consumo. A taxa de crescimento específico (TCE) foi maior em 7A:0R, no entanto, não expressou diferença ($p > 0,05$) ao grupo 5A:2R.

Crescimento heterogêneo CHet

Os regimes de restrição alimentar podem ser uma alternativa para minimizar heterogeneidade do lote, onde no presente estudo, mesmo apresentando um desempenho zootécnico bem abaixo do controle (7A:0R) e demais tratamentos, 4A:3R expressou uma melhor uniformidade dos exemplares avaliados (Figura 1).

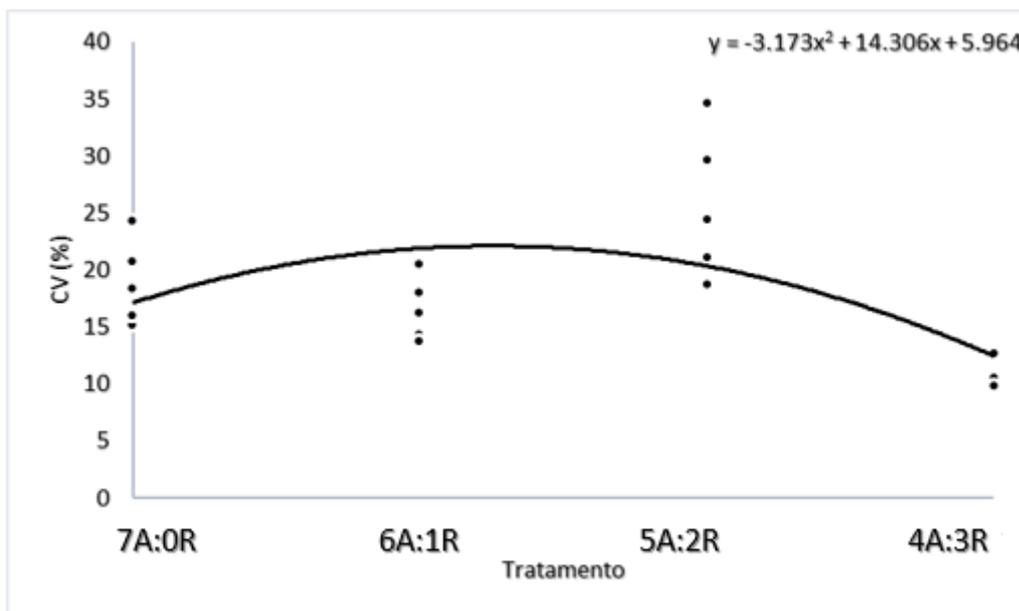


Figura 1. Representação gráfica da heterogeneidade no crescimento de formas jovens do curimatã-pacu submetidos a regimes de restrição e realimentação. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

Índices hepatossomático e viscerossomático

Protocolos envolvendo restrição alimentar, mesmo de curto período, podem exigir adaptações fisiológicas dos organismos a fim de expressar um maior aproveitamento do alimento. No presente estudo, não foram detectadas diferenças na massa do fígado ($p = 0,4515$) e peso das vísceras ($p = 0,4479$) em relação ao peso do corpo (Tabela 3).

Tabela 3. Médias e desvio padrão da massa do fígado e vísceras relacionados ao peso corporal de formas jovens do Curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) submetidos ao manejo de restrição alimentar. (n = 09 animais por tratamento).

	Tratamentos				CV (%)	p-valor	Regressão	R ²
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R				
IHS	0,58±0,13 ^a	0,78±0,31 ^a	0,74±0,17 ^a	0,61±0,14 ^a	29,72	0,4515 ^{ns}	Y=0,6775	-
IVS	9,70±1,29 ^a	8,65±0,32 ^a	9,81±0,89 ^a	9,54±1,47 ^a	11,56	0,4479 ^{ns}	Y=9,425	-

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa (ns), IHS – índice hepatossomático e IVS – índice viscerossomático; CV (%) – coeficiente de variação. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

Composição corpórea

As reservas lipídicas refletem fielmente a intensidade da restrição alimentar em peixes, onde um maior tempo de privação do alimento normalmente se traduz em maior mobilização de lipídeos para o metabolismo energético e, desse modo, uma menor concentração corpórea. A tabela 4 destaca essa tendência, onde 5A:2R e 4A:3R exibiram decréscimo acentuado (p=0,0001) nas reservas lipídicas, com reduções de 18,66% e 31,65%, respectivamente, se comparados ao grupo controle (7A:0R). Não foram observadas diferenças (p>0,05) na matéria mineral.

Tabela 4. Médias percentuais e desvio padrão de dados da composição corpórea de formas jovens do curimatã-pacu mantidos em regime de restrição alimentar e realimentação. (n = 07 animais por tratamento).

	Tratamentos				CV (%)	p-valor
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R		
MS (%)	93,78±0,35 ^{ab}	94,22±0,16 ^a	92,54±0,30 ^{bc}	91,65±0,56 ^c	5,40	0,0072 ^{**}
MM (%)	17,92±0,26 ^a	17,01±0,54 ^a	18,90±1,10 ^a	19,26±0,43 ^a	8,62	0,0846 ^{ns}
EE (%)	27,49±0,49 ^a	27,86±0,18 ^a	22,36±0,24 ^b	18,79±0,65 ^c	6,80	0,0001 ^{**}
PB (%)	49,21±0,13 ^b	48,59±0,31 ^b	52,37±0,71 ^a	52,40±0,22 ^a	5,80	0,0013 ^{**}

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa (ns), MS – matéria seca, MM – matéria mineral, EE – extrato etéreo, PB – proteína bruta, CV – coeficiente de variação, ** significativo a 1%. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

Os menores teores de gordura proporcionaram menores percentuais na matéria seca (p=0,0072), mediante maiores tempos de restrição alimentar, indicando uma substituição parcial do lipídeo catabolizado por água para manutenção do peso. Os grupos 5A:2R e 4A:3R mostraram decréscimos de 1,32% e 2,27% no teor de MS, respectivamente, quando comparados ao grupo controle (7A:0R).

A maior taxa de retenção proteica, mesmo nos grupos 5A:2R e 4A:3R (p=0,0013), com incrementos de 6,04% e 6,09%, respectivamente, se comparados ao grupo 7A:0R, indica que a intensidade da restrição alimentar não foi severa para espécie, mantendo e, até mesmo, aumentando suas reservas proteicas.

Histologia das vilosidades intestinais

A análise histológica das vilosidades do intestino anterior dos exemplares do curimatã-pacu submetido a regimes de restrição alimentar e realimentação, revela adaptações morfoestruturais aos períodos de jejum (Figura 2), onde 5A:2R e 4A:3R mostraram uma maior quantidade de vilosidades afiladas, expressando aumento de 46,76% e 17,27% em relação ao grupo 7A:0R, mas a privação de alimentos também contribuiu para redução na altura das vilosidades nos grupos submetidos ao jejum com decréscimos de 35,86%, 46,97% e 43,44% em 6A:1R, 5A:2R e 4A:3R, respectivamente, em comparação a 7A:0R (Tabela 5).

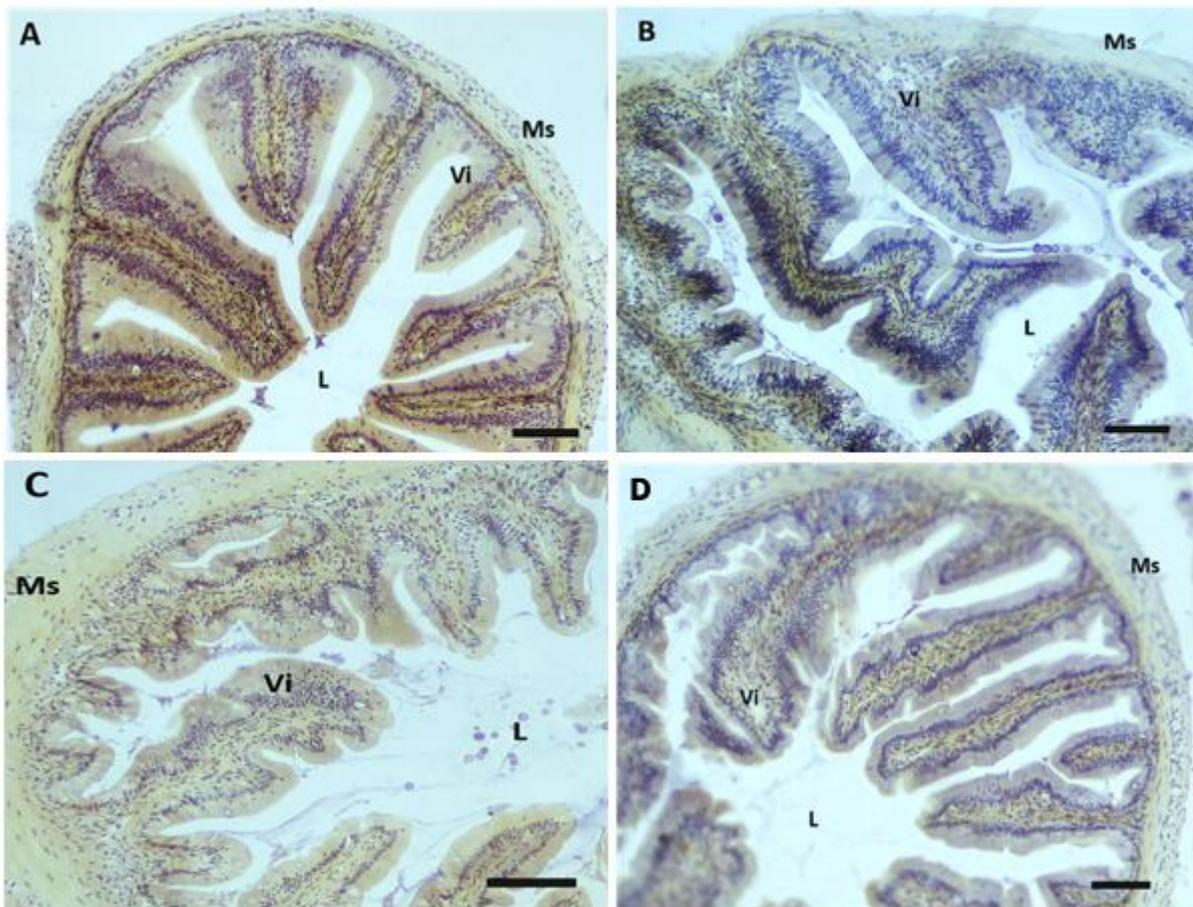


Figura 2. Fotomicrografias de luz da variação das vilosidades intestinais de formas jovens de *Prochilodus argenteus* submetidos ao manejo de restrição alimentar. **A)** (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle). **B)** (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum. **C)** (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação. **D)** (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. Vilosidades (Vi), Lúmen (L), Camada muscular (Ms). Barra: 100 μ m. Fotos: Priscylla (2019).

Tabela 5. Médias e desvio padrão do número e altura das vilosidades intestinais de formas jovens do curimatã-pacu submetidos ao manejo de privação e realimentação durante 64 dias de experimento (n = 04 animais por tratamento).

	Tratamentos				CV (%)	p-valor
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R		
Qtde vil	11,50±1,08 ^c	9,30±2,06 ^d	21,60±2,41 ^a	13,90±1,20 ^b	12,64	0,0000**
Alt vil (µm)	1,98±0,59 ^a	1,27±0,20 ^b	1,05±0,18 ^b	1,12±0,15 ^b	24,74	0,0000**

Qtde vil – indica o quantitativo de vilosidades intestinais de cada tratamento e Alt vil – refere-se a altura média das vilosidades aferidas em dez cortes histológicos de cada tratamento. ** significativo a 1%. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

Discussão

Qualidade da água

Santos, Pereira Filho, Sobreira, Ituassú & Fonseca (2010) destacam que períodos de privação alimentar possibilitam maior teor de oxigênio dissolvido na água e menor condutividade elétrica, devido menor carga orgânica no sistema. A manutenção do oxigênio dissolvido acima de 2mg.L⁻¹ (Arauco & Costa, 2012), temperatura entre 25 e 28°C e pH próximo a neutralidade, possibilita um melhor desenvolvimento de espécies tropicais e estabilidade físico-química da água. Palma et al. (2010) revelam que a eficácia do sistema de recirculação fechado possibilita a manutenção dos parâmetros da água em faixas adequadas para espécie, e sem oscilações significativas que possam interferir no seu desempenho e necessidades metabólicas. Portanto, a constância desses parâmetros em faixas adequadas não interferiu no desempenho dos organismos.

Desempenho zootécnico

Curtos períodos de privação do alimento seguidos de realimentação adequada, normalmente, expressam resultados positivos no desempenho de peixes. Limbu & Jumanne (2014) descrevem que a restrição alimentar de até dois dias semanais não resultou em efeito nos parâmetros de crescimento em *Oreochromis niloticus*, revelando boa capacidade de crescimento compensatório. O crescimento compensatório é o reflexo do melhor aproveitamento de alimentos e nutrientes, redução na taxa metabólica basal, maior atividade enzimática digestiva e hiperfagia, decorrente de eventos de restrição alimentar direcionados a teleósteos (Mohanta et al., 2016). Vale destacar que o uso desse protocolo experimental em sistema de água verde pode favorecer um melhor desempenho produtivo dos organismos, haja vista a preferência da espécie estudada por ambientes mais escuros e ricos em matéria orgânica.

Pesquisas envolvendo protocolos de restrição/realimentação como Adakli & Taşbozan (2015), em estudo com robalo europeu durante 50 dias; Paz et al. (2018) com juvenis de tambacu durante 77 dias; Santos, Soares, Silva, Albuquerque & Moura (2016) com *Betta splendens*, ao decorrer de 40 dias e Ituassú, Santos, Roubach & Pereira-Filho (2004) com juvenis de tambaqui, ratificam a capacidade que algumas espécies de teleósteos têm de recuperar a biomassa, quando submetidas a curtos períodos de jejum seguidos de realimentação adequada.

A compensação total e sobre-compensação do peso e comprimento pós-restrição é uma resposta dependente da espécie, intensidade da privação, tempo de recuperação e desenvolvimento ontogenético (Azodi et al., 2015). Possivelmente, o tempo de recuperação pós-jejum no grupo 4A:3R não foi suficiente para restabelecer homeostase metabólica e se adaptar fisiologicamente.

Arauco & Costa (2012) em estudo com juvenis de tilápia do Nilo, indicam uma perda mais acentuada no peso e comprimento, quando período de restrição alimentar é mais prolongado. Em trabalho com juvenis de robalo flecha mantidos por dois e três dias por semana em jejum durante 60 dias, Herrera, Silva, Santos, Sousa & Sanches (2016) revelam pior desempenho em relação ao controle, no que tange os parâmetros de taxa de crescimento específico, ganho de peso e consumo total de alimento, obtendo cerca de 74% do peso do grupo alimentado todos os dias, desse modo, não recomendando sua aplicação para espécie nessa fase de vida.

Reduções na taxa de alimentação até saciedade aparente também refletiram menor TCE em pesquisa de Silva, Sampaio, Martins, Romano & Tesser (2013) com juvenis de tainha. Assim, a perda no peso e comprimento é uma tendência natural quando há menor disponibilidade de alimento, ocorrendo ajustes quando o alimento está novamente disponível.

A duração e intensidade da restrição alimentar incide diretamente nas respostas hiperfágicas e de ganho compensatório nas distintas espécies. Após um tempo de restrição do alimento, os peixes necessitam de um período igual ou superior na realimentação (Mohanta et al., 2016), com intuito de recuperar a homeostase metabólica e reservas energéticas (Ferreira & Nuñez, 2015).

O uso do mecanismo de ganho compensatório, como manejo alimentar, é uma boa opção na redução de gastos com ração e mão de obra, somente quando os grupos submetidos a restrição alimentar atingem desempenho similar ou superior ao grupo controle.

Crescimento heterogêneo CHet

Períodos de restrição do alimento podem promover oscilações individuais na aquisição de alimentos, e resultar em disparidade no crescimento e maior variabilidade no tamanho com o tempo (Jobling, Koskela & Winberg, 1999), gerando crescimento heterogêneo do lote. Barbosa, Mendonça & Ponzi-Júnior (2006) citam que a competição alimentar está entre os principais fatores que resultam em crescimento heterogêneo, sendo mais comum reduzir o CHet quando há abundância alimentar e menor competitividade.

Em espécies carnívoras e territorialistas, com relatos de canibalismo em fases iniciais, a restrição alimentar e altas densidades podem intensificar a desuniformidade e expressar elevada heterogeneidade (Ribeiro, Forsythe & Qin, 2015). A maior sociabilidade da espécie em estudo, mesmo durante o jejum, pode ter influenciado em crescimento mais uniforme do tratamento 4A:3R. Ainda, a partir do momento que foi constatada mortalidade em todas parcelas do grupo 4A:3R, culminou em menor densidade e competição por alimento, o que pode ter contribuído para um lote mais homogêneo nesse grupo.

Na indústria do pescado, lotes mais homogêneos são essenciais para maior rentabilidade, demandando menos esforço e tempo (Silva et al., 2017). O crescimento heterogêneo é uma característica natural dos peixes (Volpato, Frioli & Carrieri, 1989), onde é frequente a ocorrência de organismos dominantes que competem por espaço e alimentação. Desse modo, estratégias de manejo alimentar e adensamento podem amenizar a discrepância no tamanho do lote dessa espécie.

Índices hepatossomático e viscerossomático

Os resultados descritos no trabalho de Cho (2014) indicam que a restrição do alimento não afetou o índice hepatossomático (IHS) em juvenis de linguado, estando em conformidade com dados do presente estudo. Do mesmo modo, Ferreira & Nuñez (2015) em estudo com juvenis de *Leporinus obtusidens* não detectaram diferenças nos índices IHS e IVS em privações de um, seis e doze dias, indicando pouca influência do regime alimentar na oscilação do peso desses órgãos.

O curimatã-pacu, por ser uma espécie gregária que realiza migrações reprodutivas, passa naturalmente algum período sem ingerir alimento (Campeche et al., 2011) e, essa adaptação fisiológica para manutenção do metabolismo basal em época de escassez alimentar, pode ser uma estratégia a fim de preservar tecidos importantes na realocação energética, expressa até mesmo em fases anteriores ao período reprodutivo.

A adoção de curtos períodos de restrição do alimento para várias espécies de teleósteos parece ser uma tendência, visto que, suas demandas energéticas e respostas fisiológicas refletem melhores resultados com menor tempo de recuperação como descrito no estudo de Xiao et al. (2013) em que o aumento no período de restrição alimentar (três ou quatro vezes por semana) provocou um decréscimo no IHS de juvenis de black sea bream, porém, um ou dois dias de privação semanal não diferiram do grupo controle, indicando boa capacidade de recuperação da espécie quando submetida a curtos períodos sem se alimentar, como observado nos exemplares do presente estudo.

Composição corpórea

O uso da reserva lipídica é uma forma de manter o metabolismo em níveis adequados durante o jejum. Diversos pesquisadores (Cook, Sutterlin & McNiven, 2000; Oh et al., 2007 e Blanquet & Oliva-Teles, 2010) destacam que os lipídeos são as primeiras reservas a serem mobilizadas para compensar períodos de inanição em várias espécies de peixes, ratificando os dados expressos nos grupos 5A:2R e 4A:3R.

Ali, Martinez-Llorens, Moñino, Cerdá & Thomás-Vidal (2016) revelam que embora a redução nos dias de alimentação de 7 para 5 dias/semana tenha sido acompanhada por uma diminuição linear no conteúdo proteico e lipídico e aumento linear na cinza, não foram registradas diferenças significativas em alevinos de tilápia do Nilo, em consequência da baixa severidade do protocolo de restrição e ganho compensatório.

Uma relação inversa entre o lipídeo corporal e o conteúdo de água acontece mediante substituição do lipídeo catabolizado por um volume igual de água, o que reflete em maior teor de umidade e menor percentual de matéria seca devido maior uso dos constituintes corporais como fonte energética (Salam, Ali & Masud, 2000).

O modelo lipostático desenvolvido por Jobling & Johansen (1999) destaca que a partir do momento que as reservas energéticas estão repostas em período pós-restrição, a tendência é ocorrer uma desaceleração no crescimento e menor hiperfagia. As reservas lipídicas ainda estavam sendo repostas nos grupos 5A:2R e 4A:3R, dessa forma, exigindo um maior tempo de recuperação (realimentação) para seu completo restabelecimento.

O catabolismo da proteína é reflexo de um maior período de restrição do alimento e dependente da espécie e fase de vida. A proteína consiste no principal macronutriente em peixes, sendo fundamental para manutenção e crescimento (Kim et al., 2016). Ituassú et al. (2004) em pesquisa com juvenis de *Colossoma macropomum*, destacam que mesmo com decréscimo no teor de gordura, o percentual protéico manteve-se intacto ou aumentou em

grupos mantidos em jejum. O maior quantitativo proteico nos peixes submetidos a restrição alimentar possibilita inferir um aumento da deposição de músculo, assim, um maior ganho de peso durante a privação não é exclusivo da deposição de gordura.

Gómez-Peñaranda, Vásquez-Gamboa & Valencia (2016) em estudo com *Piaractus brachypomus* e Gabriel et al. (2017) com *Oreochromis mossambicus*, informam que o regime de restrição/realimentação não provocou diferenças significativas no teor de cinzas, gordura e proteína. Desse modo, o período de realimentação foi adequado para restabelecer as reservas exauridas durante a restrição.

Shwetanshumala & Dhaker (2017) ratificam que alimentação em nível ótimo pode favorecer melhores taxas de crescimento em reflexo do balanço adequado dos componentes corporais. Portanto, o efeito do jejum na mobilização das reservas corporais parece ser espécie-específica e dependente da intensidade da restrição e período de recuperação.

Histologia das vilosidades intestinais

A estrutura do trato digestivo, especialmente o intestino, pode expressar sinais rápidos e reversíveis a mudanças quantitativas no item alimentar, e é de interesse crítico para os ecologistas e importância para aquicultura. Espécies detritívoras, a exemplo do curimatã-pacu, possuem intestinos mais longos quando comparados a carnívoros, permitindo o consumo de alimentos com baixa digestibilidade e melhor absorção de nutrientes (Rios, Kalinin, Fernandes & Rantin, 2004).

Chen et al. (2017) em estudo com juvenis de lagostim, destacam que os organismos submetidos a restrição alimentar apresentaram maior volume e espessura da parede do intestino médio, exibindo atrofia epitelial e muscular que culminou em cristas mais curtas em relação ao grupo controle, o que ratifica o resultado da presente pesquisa. Ainda, os mesmos autores revelam núcleos mais escuros e menores com nucléolos de difícil visualização nos organismos privados.

Em larvas de esturjão verde Gisbert & Doroshov (2003) descrevem que a mucosa intestinal exibiu estrutura histológica semelhante em toda sua extensão, com exceção do número e tamanho das pregas intestinais, que apresentaram menos abundância e menor tamanho na região posterior após 5 dias de jejum.

O tubo digestivo sofre adaptações com base na forma corporal, peso e sexo, condições do meio e do comportamento alimentar de cada espécie (Purushothaman et al., 2016). O menor tamanho dos enterócitos pode estar associado a fase inicial de desenvolvimento dos peixes mantidos em jejum. Rodrigues & Cargnin-Ferreira (2017) descrevem que a espessura e

tamanho do sistema digestivo tendem a aumentar concomitantemente ao desenvolvimento do organismo.

A degeneração de enterócitos implica na redução da área de superfície de absorção. Este fato pode comprometer a capacidade digestiva em períodos de realimentação e afetar diretamente o crescimento e sobrevivência dos organismos mantidos em jejum (Ostaszewska, Korwin-Kossakowski & Wolnicki, 2006). Esse dado pode ser aplicado aos organismos do grupo 4A:3R, onde não ocorreu hiperfagia e expressou baixa capacidade de recuperação.

Situações de privação alimentar geram reduções no número e altura da prega da mucosa e, ainda os enterócitos revelam menor tamanho, que pode está associado ao desaparecimento de gotículas lipídicas supra-nucleares (Zaldúa & Naya, 2014). A depleção da reservas energéticas, confirmada por meio da análise de composição corpórea, estimula a catabolização tecidual, o que provavelmente ocasiona uma degeneração progressiva do trato digestivo e dos órgãos acessórios que comandam a estrutura e função do sistema digestivo para conservar energia. Como o intestino é um órgão sensível, em resposta à inanição, a altura das pregas intestinais pode ser usada como um indicador confiável de privação ou alimentação sub-ótima (Rašković, Stanković, Marković & Poleksić, 2011).

No manejo de atividades aquícolas, o estudo das características anatômicas e histológicas do trato gastrointestinal de peixes pode auxiliar na interpretação do desenvolvimento de condições patológicas, formulações nutricionais e promover o manejo adequado de estoques naturais (Hernández, Pérez Gianceselli & Domitrovic, 2009; Nascimento, Silva, Teixeira, Silva & Chellappa, 2018).

Portanto, a adoção do regime 5A:2R até à saciedade aparente pode ser aplicada em formas jovens do curimatã-pacu sem que haja comprometimento do seu desempenho zootécnico e condições morfofisiológicas. Entretanto, para que esse manejo possa ser difundido para pisciculturas recomenda-se a realização de mais estudos em sistema de água verde e com diferentes idades e tempo de restrição/realimentação a fim de ratificar o benefício do uso dessa técnica.

Agradecimentos

Ao acordo CAPES/FAPEAL pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor. A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba pela doação dos peixes.

Declaração de disponibilidade dos dados

Os autores estão de acordo em disponibilizar os dados para comunidade acadêmica em geral.

Conflitos de interesse

Não há.

Referências

- Adakli, A. & Taşbozan, O. (2015). The Effects of Different Cycles of Starvation and Refeeding on Growth and Body Composition on European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 15: 419-427, 2015. DOI: 10.4194/1303-2712-v15_2_28
- Ali, T. E. S.; Martinez-Llorens, S.; Moñino, A. V.; Cerdá, M. J. & Tomás-Vidal, A. (2016). 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** 42, 357–363. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2016.06.004>
- Arauco, L. R. R. & Costa, V. B. (2012). Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Comunicata scientiae**, 3: 134-138.
- Arslan, G.; Sahin, T.; Hisar, O. & Hisar, S. A. (2015). Effects of low temperature and starvation on plasma cortisol, triiodothyronine, thyroxine, thyroid-stimulating hormone and prolactin levels of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). **Mar. Sci. Tech. Bull.** 4:5-9.
- Azodi, M.; Ebrahimi, E.; Farhadian, O.; Mahboobi-Soofiani, N. & Morshedi, V. (2015). Compensatory growth response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum following short starvation periods. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v.33, n.4, p. 928-933. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-015-4228-1>
- Barbosa, J. M. & Volpato, G. L. (2007). Chemical modulation on heterogeneous growth in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847) (Pisces; Characiformes). **Braz. J. Biol.**, 67: 147-151.
- Barbosa, J. M.; Mendonça, I. T. L. & Ponzi-Júnior, M. (2006). Comportamento social e crescimento em *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) (Pisces, Cichlidae): uma espécie introduzida no Brasil. **Rev. Bras. Eng. Pesca** 1: 65-74.

- Bernardes, C. L. & Públio, J. Y. (2012). Proteína bruta no desenvolvimento de curimbas (*Prochilodus scrofa*). **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.1, p. 381-390. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p381
- Blanquet, I. & Oliva-Teles, A. (2010). Effect of feed restriction on the growth performance of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles under commercial rearing conditions. **Aquaculture Research**, 41: 1255-1260. doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02416.x
- Campeche, D. F. B.; Balzana, L.; Figueiredo, R. C. R.; Barbalho, M. R. S.; Reis, F. J. S. & Melo, J. F. B. (2011). **Peixes nativos do rio São Francisco adaptados para cultivo**. Embrapa semiárido, documentos 244. 20p.
- Chen, C.; Tan, Q.; Liu, M.; Wu, F.; Chen, J. & Xie, Sh. (2017). Effect of starvation on growth, histology and ultrastructure of digestive system of juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii* Girard). **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, 16: 1214-1233.
- Cho, S. H. (2014). Effects of food deprivation and feeding ration on the growth, feed utilization and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fish aquat Sci**, 17: 449-454. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2014.0449>
- Cook, J. T.; Sutterlin, A. M. & McNiven, M. A. (2000). Effect of food deprivation on oxygen consumption and body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture** 188. 47–63. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00333-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00333-1)
- Ferreira, L. S. B. P. & Nuñez, A. P. O. (2015). Food deprivation and compensatory growth in juvenile piava, *Leporinus obtusidens*. **Bol. Inst. Pesca**, 41: 471 – 478.
- Gabriel, N. N.; Omoregie, E.; Martin, T.; Kukuri, L. & Shilombwelwa, L. (2017). Compensatory growth response in *Oreochromis mossambicus* submitted to short-term cycles of feed deprivation and refeeding. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 18: 161-166. DOI: 10.4194/1303-2712-v18_1_18
- Gisbert, E. & Doroshov, S. I. (2003). Histology of the developing digestive system and the effect of Food deprivation in larval green sturgeon (*Acipenser medirostris*). **Aquatic Living Resources** 16:77–89. DOI: 10.1016/S0990-7440(03)00029-9
- Gómez-Peñaranda, J.; Vásquez-Gamboa, L. & Valencia, D. (2016). Efecto de diferentes frecuencias de alimentación y ayuno, sobre el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de

- Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Lat. Am. J. Aquat. Res.**, 44:569-575. DOI: 10.3856/vol44-issue3-fulltext-15
- Hernández, D. R.; Pérez Gianceselli, M. & Domitrovic, H. A. (2009). Morphology, Histology and Histochemistry of the Digestive System of South American Catfish (*Rhamdia quelen*). **Int. J. Morphol.**, 27:105-111.
- Herrera, L. A.; Silva, F. C.; Santos, A. P.; Sousa, O. M. & Sanches, E. G. (2016). Crescimento compensatório e privação alimentar no desempenho produtivo do robalo-flecha. Notas Científicas. **Pesq. agropec. bras.**, v.51, p.776-779, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000600010
- Ituassú, D. R.; Santos, G. R. S.; Roubach, R.; Pereira-Filho, M. (2004). Desenvolvimento de tambaqui submetido a períodos de privação alimentar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.39, p.1199-1203.
- Jobling, M. & Johansen, S. J. S. (1999). The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. **Aquaculture Research**, 30: 473-478.
- Jobling, M.; Koskela, J. & Winberg, S. (1999). Feeding and growth of whitefish fed restricted and abundant rations: influences on growth heterogeneity and brain serotonergic activity. **Journal of Fish Biology** 54, 437–449. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00842.x>
- Killen, S. S.; Fu, C.; Wu, K.; Wang, Y-X. & Fu, S-J. (2016). The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food deprivation. **Functional Ecology**, 8p. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12634>
- Kim, K. W.; Moniruzzaman, M.; Kim, K. D.; Han, H. S.; Yun, H.; Lee, S. & Bai, S. C. (2016). Effects of dietary protein levels on growth performance and body composition of juvenile parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. **Int Aquat Res** 8:239–245. DOI 10.1007/s40071-016-0139-9
- Limbu, S. M. & Jumanne, K. (2014). Effect of restricted and re-feeding regime on feeding cost, growth performance, feed utilization and survival rate of mixed sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in tanks. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 2: 118-123.
- Marin, A. A.; Barbosa, J. M.; Brugiolo, S. S. S. & Ramos, S. M. (1998). Crescimento heterogêneo em alevinos de curimatá *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847) (Pisces,

Prochilodontidae): ação de fatores químicos liberados por interespecíficos. **B. Téc. CEPTA**, v.11, p.29-38.

Mohanta, K. N.; Rath, S. C.; Nayak, K. C.; Pradhan, C.; Mohanty, T. K. & Giri, S. S. (2016). Effect of restricted feeding and refeeding on compensatory growth, nutrient utilization and gain, production performance and whole body composition of carp cultured in earthen pond. **Aquaculture nutrition**, 10p. doi: 10.1111/anu.12414

Namrata, S.; Sanjay, N. & Pallavi, C. (2011). Effect of Starvation on the Biochemical Composition of Freshwater Fish *Channa punctatus*. **Recent Research in Science and Technology**, 3: 17-19.

Nascimento, W. S. do.; Silva, G. M. M.; Teixeira, L.; Silva, N. B. & Chellappa, S. (2018). Histology of the Digestive Tract of *Anablepsoides urophthalmus* from Brazilian Oriental Amazonia. **Journal of Aquaculture & Marine Biology**. 7: 00181. DOI: 10.15406/jamb.2018.07.00181

Oh, S. Y.; Noh, C. H. & Cho, S. H. (2007). Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.38, 7p.

Ostaszewska, T.; Korwin-Kossakowski, M. & Wolnicki, J. (2006). Morphological changes of digestive structures in starved tench *Tinca tinca* (L.) juveniles. **Aquaculture International**, 14:113–126. DOI 10.1007/s10499-005-9016-z

Palma, E. H.; 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. 421-426.

Passinato, E. B.; Magalhães Junior, F. O.; Cipriano, F. S.; Souza, R. H. B.; Lima, K. S.; Chiapetti, J. & Braga, L. G. T. (2015). Performance and economic analysis of the production of Nile tilapia submitted to different feeding management. **Ciências Agrárias**, v.36, n.6, suplemento 2, p.4481-4492. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4481

Paz, A. L.; Pastrana, Y. M. & Brandão, L. V. (2018). Food deprivation does not affect growth performance of juvenile tambacu. **Acta Amazonica**, 48: 207-210. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201800591>

- Purushothaman, K.; Lau, D.; Saju, J. M.; Musthaq, S.; Lunny, D. P.; Vij, S. & Orbán, L. (2016). Morpho-histological characterization of the alimentary canal of an important food fish, Asian seabass (*Lates calcarifer*). **PeerJ** 4:e2377. 20p. DOI 10.7717/peerj.2377
- Rašković, B. S.; Stanković, M. B.; Marković, Z. Z. & Poleksić, V. D. (2011). Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. **Journal of Agricultural Sciences**, Vol. 56, Pages 87-100, 2011. DOI: 10.2298/JAS1101087R
- Ribeiro, F. F. & Tsuzuki, M. Y. (2010). Compensatory growth responses in juvenile fat snook, *Centropomus parallelus* Poey, following food deprivation. **Aquaculture Research**, 41: 226-233. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02507.x
- Ribeiro, F. F.; Forsythe, S. & QIN, J. G. (2015). Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies. **Aquaculture** 444: 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.029>
- Rios, F. S.; Kalinin, A. L.; Fernandes, M. N. & Rantin, F. T. (2004). Changes in gut gross morphology of traíra, *Hoplias malabaricus* (teleostei, erythrinidae) during long-term starvation and after refeeding. **Braz. J. Biol.**, 64: 683-689. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842004000400017>.
- Rodrigues, A. P. O. & Cargin-Ferreira, E. (2017). Morphology and Histology of the Pirarucu (*Arapaima gigas*) Digestive Tract. **Int. J. Morphol.**, 35: 950-957.
- Rodríguez, L. & Landines, M. A. (2011). Evaluación de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico em juveniles de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, em condiciones de laboratorio. **Rev. Med. Vet. Zoot.** 58: 141-155.
- Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Hannas, M. I.; Donzele, J. L.; Sakomura, N. K.; Perazzo, F. G.; Saraiva, A.; Teixeira, M. L.; Rodrigues, P. B.; Oliveira, R. F.; Barreto, S, L. T. & Brito, C. O. (2017). **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Universidade Federal de Viçosa/ Departamento de Zootecnia, 4ª ed., 488p.
- Salam, A.; Ali, M. & Masud, S. (2000). Effect of various Food deprivation regimes on body composition dynamics of Thaila, *Catla catla*. **Journal of Research (Science)** Vol. 11, pp.26-32.

- Santos, E. L.; Soares, A. C. L.; Tenório, O. L. D.; Soares, E. C.; Silva, T. J.; Gusmão Júnior, L. F. & Santos, E. L. (2018). Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.70, n.3, p.931-938. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9891>
- Santos, E. L.; Soares, E. C.; Silva, T. J.; Albuquerque, I. C. M. & Moura, S. C. S. (2016). Restrição alimentar no desempenho de machos do peixe beta (*Betta splendens*). **Comunicata scientiae** 7: 12-23. DOI: 10.14295/CS.v7i1.871
- Santos, L.; Pereira Filho, M.; Sobreira, C.; Ituassú, D. & Fonseca, F. A. L. (2010). Exigência proteica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. **ACTA AMAZONICA**, v.40: 597-604.
- Shwetanshumala, V. S. & Dhaker, H. S. (2017). Effects of restricted feeding ration on growth and body composition of juvenile *Pangasianodon hypophthalmus*. **JEZS** 5: 1859-1863.
- Silva, D. F.; Lopes, J. H.; Santos, E. L.; Lima, M. R.; Soares, E. C.; Oliveira, W. D. S. & Silva, L. L. A. (2017). Crescimento heterogêneo de tilápia do Nilo alimentados com resíduos de biscoito na dieta. **Ciência agrícola**, v.15, p.41-43.
- Silva, M. E.; Sampaio, L. A.; Martins, G. B.; Romano, L. A. & Tesser, M. B. (2013). Desempenho zootécnico e custos de alimentação de juvenis de tainha submetidos a restrição alimentar. **Pesq. agropec. bras.**, v.48, p.906-912. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000800014
- Soares, E.; Almeida, E. O.; Araújo, K.; Lima, M.; Gusmão-Júnior, L.; Oliveira, W. D. & Santos, E. L. (2019). Polyculture of curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) and canela Shrimp (*Macrobrachium acanthurus*) feed with dehydrated cassava leaf meal. **Latin American Journal of Aquatic Research**, 47:27-33. DOI: 10.3856/vol47-issue1-fulltext-4
- Urbinati, E. C.; Ochoa, A. I. S.; Camargo, A. C. S.; Carvalho, E. G.; Souza, V. L. & Gonçalves, F. D. (2015). **Manejo alimentar e reprodução em peixes**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 14p.
- Van Dijk, P. L. M.; Hardewing, I. & Hölker, F. (2005). Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. **Journal of Fish Biology**, 66, 167–181. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00590.x>

Volpato, G. L.; Frioli, P. M. A. & Carrieri, M. P. (1989). Heterogeneous growth in fishes: some new data in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and a general view about the causal mechanisms. **Bol. Fisiol. Anim.**, 13:7-22.

Xiao, J. X.; Zhou, F.; Yin, N.; Zhou, J.; Gao, S.; Li, H.; Shao, Q-J. & Xu, J. Z. (2013). Compensatory growth of juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* with cyclical feed deprivation and refeeding. *Aquaculture Research*, 44, 1045–1057. doi:10.1111/j.1365-2109.2012.03108.x

Zaldúa, N. & Naya, D. E. (2014). Digestive flexibility during fasting in fish: a review. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A** 169:7–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.12.006>

6. ARTIGO 2

* elaborado conforme às normas da revista **Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Biochemical and Molecular Biology**

Aspectos fisiológicos, capacidade antioxidante e atividade de colinesterases em *Prochilodus argenteus* sob privação do alimento*

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência de regimes de restrição e realimentação na fisiologia, capacidade antioxidante e atividade de colinesterases em formas jovens do curimatã-pacu. Utilizou-se 140 peixes, com $2,85 \pm 0,04$ g, distribuídos em 20 caixas em sistema de recirculação de água, inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, durante 64 dias. Os tratamentos foram: T1 – alimentação ininterrupta (7A:0R), T2 – alimentação seis dias e um dia de jejum (6A:1R), T3 – alimentação cinco dias e dois dias de restrição (5A:2R) e T4 – alimentação quatro dias e três dias de privação (4A:3R). A alimentação foi fornecida três vezes ao dia (08:00, 12:00 e 16:00) até aparente saciedade com ração de 45%PB, obedecendo os dias de alimentação de cada tratamento. Foram analisadas a taxa de glicose sanguínea e células de defesa, capacidade antioxidante da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione S-transferase (GST), malondialdeído (MDA) e atividade de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE). Os resultados foram submetidos a análise de variância e, havendo diferenças significativas entre médias, utilizou-se teste de Tukey a 5%. Glicose, linfócitos e monócitos não diferiram entre os distintos regimes alimentares ($p > 0,05$). A SOD hepática foi maior ($p = 0,0332$) nos grupos sob restrição, mas não afetou o sistema antioxidante, indicando pouca interferência do jejum. A BuChE revelou maior atividade ($p < 0,05$) no cérebro e músculo em 7A:0R. A restrição alimentar em formas jovens de *Prochilodus argenteus* não afetou sua atividade fisiológica, capacidade do sistema antioxidante e atividade das colinesterases, podendo ser aplicada sem interferir em aspectos fisiológicos importantes.

Palavras-chave: espécie nativa, homeostase, imunidade, jejum, qualidade da água

Introdução

Protocolos de restrição alimentar seguidos de realimentação, constituem uma alternativa promissora no manejo alimentar de muitas espécies de peixes, ao passo que, possibilita estímulos para um crescimento mais acelerado do organismo. Entretanto, mesmo o organismo repondendo zootecnicamente bem a esse fator, as consequências fisiológicas podem se comportar de maneira diferente.

A privação do alimento envolve uma complexidade de alterações e efeitos metabólicos, que podem estar associados ao ajuste biológico do animal, e suas consequências podem variar de acordo com a espécie (Azodi et al., 2015), idade do peixe (Urbinati et al., 2015), maturidade sexual, fotoperíodo, temperatura da água, intensidade do período de jejum (Oh et al., 2007), composição dietária (Rodríguez e Landines, 2011) e o protocolo experimental empregado (Ribeiro e Tsuzuki, 2010).

Situações de jejum são comumente enfrentadas pela maioria dos teleósteos ao longo do ciclo de vida normal (Van Dijk et al., 2005; Namrata et al., 2011; Arslan et al., 2015; Killen et al., 2016) e, conseqüentemente, têm desenvolvido a capacidade de suportar escassez prolongada de alimentos. O gasto de energia pode ser reduzido durante esses períodos, possivelmente pela redução da atividade metabólica, refletida pelo menor consumo de oxigênio (Gingerich et al., 2009).

Juntamente com a rápida expansão da produção aquícola, o aumento das preocupações sobre o bem-estar dos peixes e práticas de produção eticamente aceitáveis, exigiram uma avaliação científica das conseqüências fisiológicas, biológicas e comportamentais das práticas de alimentação e restrição alimentar (Waagbø et al., 2017), no entanto, estudos sobre alterações bioquímicas e fisiológicas com base na restrição alimentar, têm se concentrado principalmente em mamíferos (Pascual et al., 2003), sendo importante avaliar possíveis alterações em espécies de peixes com alto valor produtivo sob condições de restrição do alimento.

Um potencial efeito resultante das alterações metabólicas durante o jejum é o aumento do estresse oxidativo, mediante reduções no quantitativo de mitocôndrias devido redução no tamanho do fígado. Essas organelas são críticas para o metabolismo, mas também são uma fonte importante de oxidantes potencialmente tóxicos na forma de espécies reativas, subprodutos do movimento de elétrons através da cadeia respiratória que suporta a produção de adenosina trifosfato (ATP) (Salin et al., 2018). A influência da privação do alimento sobre a atividade de colinesterases em peixes ainda é pouco conhecida, visto que, as pesquisas existentes enfatizam a ação de compostos xenobióticos na modulação da atividade dessas enzimas (Leoncini et al., 2018).

Portanto, casos que põe peixes em situações estressantes podem prejudicar uma série de processos fisiológicos e, dessa forma, dificultam a homeostasia nos animais. Em atividades de cultivos comerciais, a aplicação de manejo alimentar inadequado pode culminar numa redução da taxa de sobrevivência, do ganho de peso e proferir resultados econômicos insatisfatórios (Dias et al., 2013). Assim, é importante conhecer a atuação fisiológica do organismo em situação de privação do alimento. Dessa forma, objetivou-se avaliar as conseqüências fisiológicas e atividade antioxidante e de colinesterases em formas jovens do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) mantidos em restrição alimentar.

Materiais e Métodos

Desenho experimental

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Aquicultura e Análises de Água (Laqua) do Centro de Ciências Agrárias - CECA da Universidade Federal de Alagoas, e parte no Laboratório de Enzimologia, localizado no *Campus A. C. Simões* – UFAL, para análises enzimáticas. Foram utilizados 140 peixes, de $2,85 \pm 0,04$ g, oriundos da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), que inicialmente, passaram por um período de aclimatização/adaptação (7 dias) em tanque circular de polietileno com capacidade 1.000 L e, em seguida, foram distribuídos em 20 caixas de poliuretano com capacidade total de água de 130 L, montados num sistema de recirculação de água, abastecimento individual, com biofiltro (composto de britas, conchas e *bioballs*) e aeração constante. Diariamente, foram monitoradas as variáveis de qualidade da água (T°C, pH, O.D.), manhã e tarde, dos tanques experimentais através de sonda multiparâmetro digital, além de amônia e nitrito com uso do fotômetro e kit colorimétrico a cada dois dias.

O delineamento experimental consistiu em um inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições cada, constituindo 20 parcelas experimentais, com 07 peixes cada. Os tratamentos foram atribuídos com base no manejo dos dias de restrição alimentar, seguidos ou não da oferta de ração, ou seja, o tratamento 1: alimentação todos os dias (7A:0R) (Controle), tratamento 2: alimentação durante seis dias e um dia de restrição (6A:1R), tratamento 3: alimentação durante cinco dias e dois dias de restrição (5A:2R), e o tratamento 4: alimentação durante quatro dias e três dias de restrição (4A:3R).

Os peixes foram transferidos para o sistema experimental quando foi observada a captura da ração no tanque de aclimatização e ausência de mortalidade. No sistema experimental, a ração foi ofertada até a aparente saciedade, distribuída em três refeições diárias (8:00, 12:00 e 16:00), de acordo com os tratamentos pré-estabelecidos. Utilizou-se ração extrusada comercial com 45% de proteína bruta e 0,8 a 1,0 mm de diâmetro.

Com base nas informações contidas no rótulo do produto, a ração apresentava em sua composição básica milho integral moído, arroz quebrado, farinha de trigo, farelo de soja, farinha de peixe, farinha de sangue, farinha de vísceras, farinha de lula, óleo de peixe refinado, hemoglobina em pó, calcário calcítico, fosfato monobicálcico, cloreto de sódio (sal comum), proteinato de zinco, levedura enriquecida com selênio, sulfato de ferro, sulfato de cobre, monóxido de manganês, óxido de zinco, iodato de cálcio, sulfato de cobalto, selenito de sódio, premix mineral e vitamínico, além da adição de enzimas como descrito na tabela 1 em sua

composição centesimal. Para não ocorrer influência de restos alimentares e resíduos metabólicos, antes de iniciar cada período de restrição, foi realizado a retirada dos restos alimentares e renovação de água (50%).

Tabela 1. Composição centesimal da ração comercial® para formas jovens do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) conforme informações contidas no rótulo do produto.

Parâmetros nutricionais	Valores (g.kg ⁻¹)¶
Umidade (máx.)	130,00
Matéria Mineral (máx.)	160,00
Fibra Bruta (máx.)	36,00
Proteína Bruta (mín.)	450,00
Extrato Etéreo (mín.)	90,00
Cálcio (máx.)	30,00
Cálcio (mín.)	20,00
Fósforo (mín.)	10,00

¶Premix mineral e vitamínico: vitamina A (mín.) = 14.500,0 UI.Kg⁻¹; vitamina B1 (mín.) = 25,0 mg.Kg⁻¹; vitamina B2 (mín.) = 29,0 mg.Kg⁻¹, vitamina B5 (mín.) = 60,00 mg.Kg⁻¹, vitamina B6 (mín.) = 18,50 mg.Kg⁻¹, vitamina B9 (mín.) = 7,40 mg.Kg⁻¹, vitamina B12 (mín.) = 53,0 mcg.Kg⁻¹, vitamina C (mín.) = 1.500,0 mg.Kg⁻¹, vitamina D3 (mín.)= 3.000,0 UI.Kg⁻¹, vitamina E (mín.) = 400,0 UI.Kg⁻¹, vitamina K3 (mín.) = 12,30 mg.Kg⁻¹, biotina (mín.) = 0,60 mg.Kg⁻¹, niacina (mín.) = 125,0 mg.Kg⁻¹, colina (mín.) = 900,0mg.Kg⁻¹, metionina (mín.) = 10,0 g.Kg⁻¹, lisina (mín.) = 29,90 g.Kg⁻¹, pectinase (mín.) = 1.400,0 UI.Kg⁻¹, protease (mín.) = 240,0 UI.Kg⁻¹, fitase (mín.) = 105,0 UI.Kg⁻¹, betaglucanase (mín.) = 65,0 UI.Kg⁻¹, xilanase (mín.) = 35,0 UI.Kg⁻¹, celulase (mín.) = 13,0 UI.Kg⁻¹, amilase (mín.) = 11,0 UI.Kg⁻¹, cobre (mín.) = 7,50 mg.Kg⁻¹, cobalto (mín.) = 0,15 mg.Kg⁻¹, sódio (mín.) = 3.430,0 mg.Kg⁻¹, ferro (mín.) = 44,0mg.Kg⁻¹, iodo (mín.) = 1,50 mg.Kg⁻¹, magnésio (mín.) = 95,0 mg.Kg⁻¹, manganês (mín.) = 44,0 mg.Kg⁻¹, selênio (mín.) = 0,45 mg.Kg⁻¹, zinco (mín.) = 90,0 mg.Kg⁻¹.

Glicemia e células de defesa

Antes do abate, os peixes permaneceram 24h em jejum. Para a determinação da glicose sanguínea, os organismos foram capturados e colocados em balde com água e gelo. Posteriormente, os exemplares anestesiados foram sacrificados por secção medular. O sangue foi coletado fazendo-se uma incisão no pedúnculo caudal do animal (3 de cada tratamento) anestesiado. O sangue foi posto em tiras reagentes de um aparelho monitor digital e o resultado foi expresso em mg.dL⁻¹.

Ainda, com uso de uma seringa heparinizada descartável, coletou-se por punção caudal sangue de três exemplares de cada tratamento, colocando em lâminas (em duplicata) esterilizadas e coradas com May-Grunwald-Giemsa de acordo com Rosenfeld (1947) para posterior leitura e contagem indireta de leucócitos em microscópio óptico (objetiva de 100x) com base na adaptação da metodologia elaborada por Hrube e Smith (1998), estimando-se o percentual de leucócitos a cada 1.000 unidades de eritrócitos observados por lâmina.

Quantificação da atividade das enzimas antioxidantes

Preparo dos extratos

Foram coletados tecidos hepático e muscular em 9 peixes de cada tratamento, resultando num *pool*, e armazenados em papel alumínio em freezer vertical a -18°C . Fragmentos desses tecidos foram pesados e homogeneizados em tampão fosfato de potássio (1:10-p:v) (pH 7,4) $0,2\text{ mM.L}^{-1}$ com 1 mM.L^{-1} de ácido etilenodiamino tetra-acético – EDTA, centrifugados a 12.000 rpm por 10 minutos a 4°C . O sobrenadante resultante foi utilizado nas análises de Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Glutathione S-transferase (GST).

A atividade da SOD foi mensurada em leitor de microplacas ($\lambda = 570\text{ nm}$) (Dieterich et al., 2000), baseado na capacidade desta enzima em catalisar a reação do superóxido O_2^- em peróxido de hidrogênio H_2O_2 e, assim, diminuir a razão de auto-oxidação do pirogalol. Em microplaca foram adicionadas amostras (extrato de fígado e músculo), tampão fosfato 7,0 (100 mM.L^{-1}), solução de MTT [3(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio brometo] ($1,25\text{ mM.L}^{-1}$), ácido pirogálico ($0,1\text{ mM.L}^{-1}$) e dimetilsulfóxido - DMSO (100 mM.L^{-1}). A leitura foi realizada em leitor de microplaca a 570 nm , e os resultados expressos em U SOD mg tecido^{-1} .

A atividade da CAT foi quantificada segundo Hadwan e Abed (2016). As amostras (homogenatos de fígado e músculo) foram diluídas em tubos de $1,5\text{ mL}$ ($90\mu\text{L}$ de tampão fosfato 7,4 ($0,2\text{ mM.L}^{-1}$) + $10\mu\text{L}$ da amostra). Em microplaca foram adicionados a amostra, tampão fosfato 7,0 (100 mM.L^{-1}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 30 nM.L^{-1}) e molibdato de amônio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}.4\text{H}_2\text{O}$ (10 mM.L^{-1}). Por fim, colocou-se no leitor de microplaca, configurando a 374 nm e fez-se a leitura e os resultados foram expressos em U/KU (unidade por kilo-unidade).

A atividade da enzima GST foi mensurada de acordo com Habig et al. (1976), através da formação do conjugado 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (CDNB). Estimou-se a atividade da enzima em uma mistura contendo CDNB 1 mM.L^{-1} em etanol, Glutathione Redutase (GSH) 100 mM.L^{-1} , fosfato de potássio (pH 7,0) 100 mM.L^{-1} e homogeneizado de tecido (fígado e músculo) em tampão fosfato de potássio (1:10-p:v) (pH 7,4) $0,2\text{ mM.L}^{-1}$ com 1 mM.L^{-1} de ácido etilenodiamino tetra-acético – EDTA, pelo aumento da absorbância ($\lambda = 340\text{ nm}$) por 60s em espectrofotômetro. O coeficiente de extinção molar do CDNB $\epsilon_{340} = 9,6\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ foi utilizado para os cálculos e os resultados expressos em $\mu\text{mol min}^{-1}\text{ g}^{-1}$.

Determinação do malondialdeído (MDA)

A concentração de malondialdeído (MDA) foi estimada conforme descrito por Wallin et al. (1993). Em tubos de $1,5\text{ mL}$ foram pipetados extratos das amostras (fígado e músculo)

preparadas em tampão fosfato de potássio (1:10-p:v) (pH 7,4) 0,2 mM.L⁻¹ com 1mM.L⁻¹ de ácido etilenodiamino tetra-acético – EDTA, solução de ácido tricloroacético (10 mM.L⁻¹) / ácido tiobarbitúrico (0,156 µM.L⁻¹) / ácido clorídrico (2,5 mM.L⁻¹) formando a solução TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico), solução 1,1,3,3-tetrametoxipropano – TMPO (10 mM.L⁻¹) e tampão fosfato 7,0 (100 mM.L⁻¹). Os tubos contendo as diluições foram aquecidos por 40 minutos em banho maria (90°C) e em seguida resfriados em gelo durante 3 min. e posteriormente, centrifugados (5 minutos a 2500 rpm e 15°C). A fase superior (600 µL) foi utilizada para quantificar a concentração de MDA em espectrofotômetro ($\lambda = 535\text{nm}$). Os níveis de MDA foram mensurados por intermédio de curva padrão a partir de concentrações conhecidas de TMPO e os resultados expressos em µM mg tecido⁻¹.

Quantificação proteica

A quantificação proteica foi determinada de acordo com método de Bradford et al. (1976). O reagente de Bradford foi preparado dissolvendo-se 102,4 mg de Coomassie Brilliant Blue G-50 em 50 mL de etanol 95%, agitando-se durante 60 minutos para, em seguida, adicionar 100 mL de ácido fosfórico 85%. Adicionou-se água deionizada para completar 1 L da solução, sendo agitada durante 10 minutos para homogeneizar. A solução final foi filtrada e armazenada em recipiente protegido da luz.

A curva de calibração das proteínas foi obtida com base na albumina de soro bovino (1 mg. mL⁻¹) como padrão sob concentração de 5µg/100µL à 55µg/100µL. Em cubetas de 3 mL foram pipetados 2500 µL do reagente de Bradford e 100 µL de solução padrão de albumina, incubando cada amostra por cinco minutos. A leitura de absorbância a 595 nm foi aferida em espectrofotômetro, adicionando 100 µL de água deionizada ao invés de solução padrão para referência. A obtenção desse dado serviu para quantificar a atividade específica da acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) no tecido cerebral e muscular das formas jovens do curimatã-pacu.

Atividade de colinesterases

A atividade de AChE e BuChE foi avaliada em extratos de músculo e cérebro, conforme o método de Ellman et al. (1961). Para quantificar a atividade da AChE foi adicionado em cubetas 93 mM.L⁻¹ de tampão fosfato 0,1mol, pH 8,0; 5,5'-ditio-bis-(2-ácido nitrobenzóico) - DTNB (10 mM.L⁻¹) e 10 µL de água deionizada para formar o branco (base). A quantificação da atividade da AChE foi obtida utilizando os mesmos reagentes para o branco, substituindo apenas a água deionizada por quantidade equivalente do substrato reacional iodeto de acetilticolina (75 mM.L⁻¹). Para quantificar BuChE foi empregado o mesmo procedimento

sendo diferente apenas o substrato reacional (iodeto de butiriltiocolina (42,5 mM.L⁻¹)). As leituras de absorvância foram aferidas à 412nm em espectrofotômetro UV/VIS (Specord 200 Plus) durante 3 minutos. A atividade das colinesterases (AChE e BuChE) foi expressa em μmol/min.mL⁻¹ conforme a equação 1 e sua atividade específica em μmol/min.mg.proteína⁻¹.

$$\text{Equação 1: } U/mL = \frac{\Delta A/\Delta t}{\varepsilon} \times \frac{V}{Ve/D}$$

Onde: **V** é o volume total da mistura reacional (V = 3 mL), $\Delta A/\Delta t$ é a inclinação da reta, ε é o coeficiente de extinção molar do DTNB ($\varepsilon = 14,15 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), **Ve** é o volume do extrato enzimático e **D** é a diluição do extrato.

Análise estatística e comissão de ética em pesquisas com animais

Todos os dados coletados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e, quando comprovada diferença significativa entre as médias, analisados pelo teste de Tukey e regressão linear ao nível de 5% de probabilidade, com uso do programa R Studio®. O projeto está de acordo com os preceitos da comissão de ética no uso de animais (CEUA/UFAL), sendo aprovado sob protocolo n° 02/2018.

Resultados

Qualidade da água

O uso do sistema de recirculação com biofiltro, aeradores e aquecedores permitiu manter os parâmetros físico-químicos da água em níveis adequados para espécie e fase ontogenética. A temperatura, oxigênio dissolvido e pH são importantes agentes reguladores do sistema e ação metabólica dos peixes, expressando níveis adequados com 27,82±0,45°C, 5,07±0,15mg.L⁻¹ e 7,02±0,22, respectivamente. O biofiltro composto de britas, conchas de moluscos e *bioballs*, serviu de substrato para colônias de bactérias que atuam no processo de nitrificação, o que refletiu em níveis aceitáveis de amônia (0,11±0,04mg.L⁻¹) e nitrito (0,06±0,02mg.L⁻¹) no sistema.

Glicemia e células de defesa

Os índices glicêmicos e atuação das células de defesa são parâmetros importantes que retratam a saúde do animal, ao passo que, períodos de restrição do alimento, mesmo sem alterar parâmetros de desempenho, podem ocasionar variações fisiológicas adaptativas. A tabela 2 revela que a glicemia não sofreu influência (p=0,3282) nos diferentes tratamentos.

Tabela 2. Médias e desvio padrão dos índices glicêmicos e percentual de células de defesa em formas jovens do curimatã-pacu submetidos ao manejo de privação e realimentação durante 64 dias de experimento.

	Tratamento				CV (%)	p-valor
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R		
Glic (mg.dL ⁻¹)	63±25,24 ^a	36,67±15,18 ^a	31,33±8,14 ^a	61,67±38,84 ^a	51,30	0,3282 ^{ns}
Linf (%)	0,63±0,32 ^a	1,67±0,99 ^a	2,00±0,58 ^a	1,93±0,47 ^a	41,00	0,0984 ^{ns}
Mon (%)	0,25±0,05 ^a	0,17±0,09 ^a	0,33±0,06 ^a	0,50±0,20 ^a	47,78	0,1142 ^{ns}

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa (ns), Glic – glicemia, Linf – linfócitos, Mon – Monócitos, CV (%) – coeficiente de variação. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

As células de defesa (linfócitos e monócitos) (Figura 1) expressaram maiores concentrações em 5A:2R e 4A:3R, no entanto, não houve diferença ($p>0,05$) entre os diferentes regimes alimentares (Tabela 2).

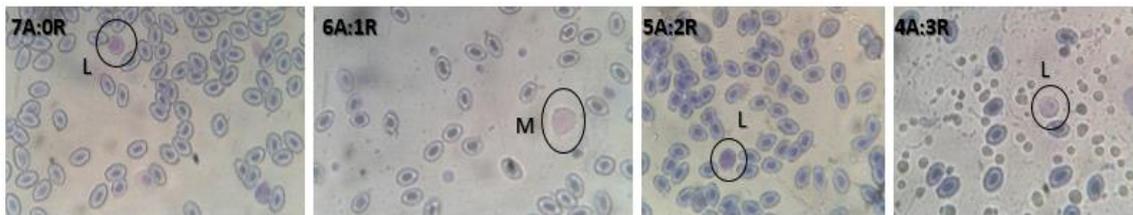


Figura 1. Contagem das células de defesa em microscópio óptico no plasma sanguíneo de formas jovens do curimatã-pacu submetidos ao jejum. L – linfócitos e M - monócitos. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. (aumento objetiva 100x). Fotos: Autor (2019).

Capacidade antioxidante e malondialdeído

A atividade de superóxido dismutase (SOD) no tecido hepático (Tabela 3) foi maior nos grupos sob restrição alimentar ($p=0,0332$), com destaque para o grupo 5A:2R que expressou aumento de 20,43% na atividade em relação ao grupo 7A:0R (controle). No tecido muscular a SOD apresentou atividade similar entre os distintos tratamentos ($p=0,7028$) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias e desvio padrão da atividade de enzimas antioxidantes e produto da peroxidação lipídica em formas jovens do curimatã-pacu submetidos ao manejo de restrição alimentar.

	Tratamento				CV (%)	p-valor
	7A:0R	6A:1R	5A:2R	4A:3R		
SOD hepática (U SOD/mg.tecido)	10,87±0,53 ^b	12,45±1,66 ^{ab}	13,66±1,57 ^a	11,41±0,71 ^{ab}	10,12	0,0332*
SOD muscular (U SOD/mg.tecido)	13,82±0,74 ^a	12,95±1,62 ^a	12,90±1,56 ^a	13,03±0,83 ^a	9,52	0,7028 ^{ns}
CAT hepática (U/kU)	7,46±0,89 ^a	7,75±0,92 ^a	7,74±0,42 ^a	6,92±2,12 ^a	16,79	0,8343 ^{ns}
CAT muscular (U/kU)	12,80±6,10 ^a	16,61±8,25 ^a	12,10±2,77 ^a	12,87±1,76 ^a	39,66	0,7359 ^{ns}
GST hepática (μmol/min/g)	1,91±0,22 ^a	1,21±0,30 ^a	1,63±0,06 ^a	1,98±0,48 ^a	18,03	0,0547 ^{ns}
GST muscular (μmol/min/g)	0,88±0,21 ^a	0,65±0,18 ^a	0,60±0,23 ^a	0,78±0,22 ^a	28,88	0,2684 ^{ns}
MDA hepático (μmol/mg.tecido)	27,18±1,98 ^a	21,74±1,91 ^a	25,52±3,73 ^a	22,75±4,03 ^a	12,65	0,1954 ^{ns}
MDA muscular (μmol/mg.tecido)	5,42±0,14 ^a	5,98±0,63 ^a	5,99±0,34 ^a	5,65±0,17 ^a	6,53	0,2599 ^{ns}

SOD – superóxido dismutase, CAT – catalase, GST – glutiona S-transferase, MDA – malondialdeído, CV – coeficiente de variação. Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa (ns), *significativo a 5%. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação.

A catalase (CAT) não expressou diferença no tecido hepático ($p=0,8343$) e muscular ($p=0,7359$) entre os distintos regimes alimentares (Tabela 3).

A glutiona S-transferase (GST) exibiu atividade semelhante entre os grupos privados de alimento e controle, tanto no tecido hepático ($p=0,0547$) como no muscular ($p=0,2684$) (Tabela 3).

Os níveis de MDA não mostraram diferença no fígado ($p=0,1954$) e músculo ($p=0,2599$) dos diferentes grupos experimentais (Tabela 3).

Atividade de colinesterases

A atividade cerebral de acetilcolinesterase (AChE) (Figura 2) e sua atividade específica (Figura 3) no mesmo tecido não foram influenciadas pela adoção do regime de restrição alimentar nos diferentes grupos, entretanto, a butirilcolinesterase (BuChE) expressou maior atividade cerebral no grupo 7A:0R com aumento de 64,52% e 69,23% em relação ao grupo 6A:1R, na atividade e atividade específica, respectivamente.

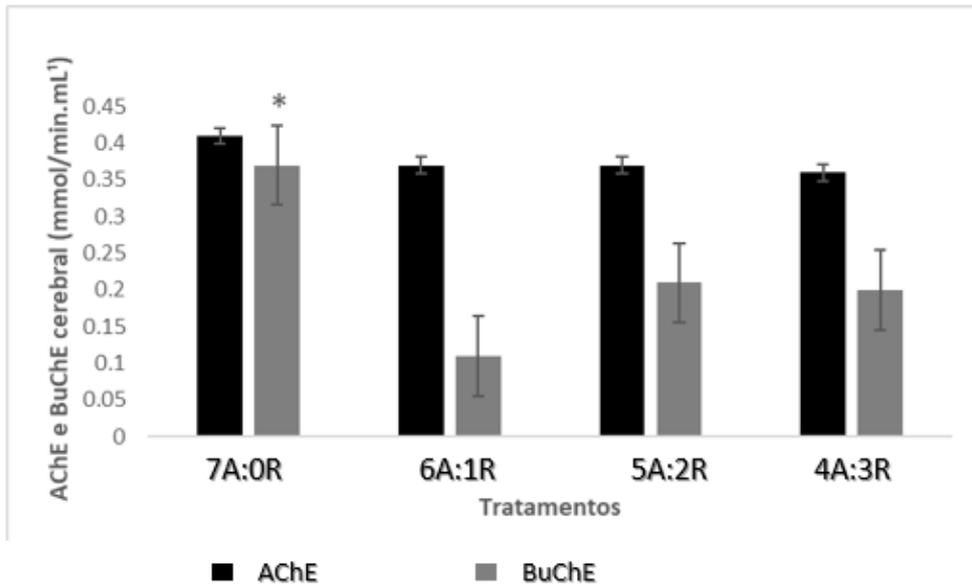


Figura 2. Atividade de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) no tecido cerebral de formas jovens do curimatã-pacu sob regimes de restrição alimentar. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. (* $p < 0,05$).

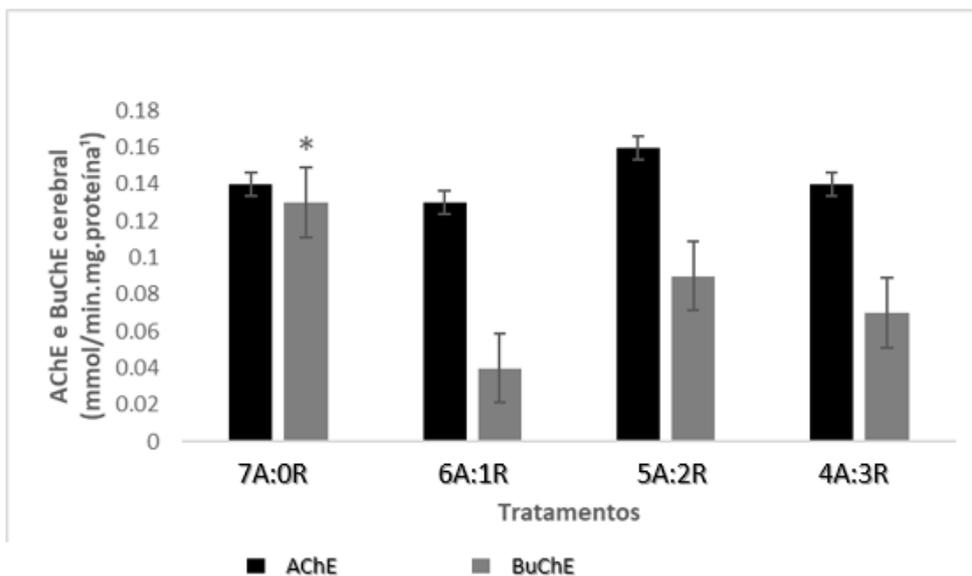


Figura 3. Atividade específica de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) no tecido cerebral de formas jovens do curimatã-pacu sob regimes de restrição alimentar. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. (* $p < 0,05$).

A atividade das colinesterases do tecido muscular se comportou de maneira similar à apresentada no tecido cerebral, onde AChE não revelou diferenças em sua atividade (Figura 4) e atividade específica (Figura 5), ao passo que, a BuChE exibiu maior atividade no grupo controle (7A:0R) com 26,67% de aumento em relação ao grupo 6A:1R, mas sua atividade

específica foi similar entre 7A:0R e 4A:3R, com aumento de 28,57% se comparados aos grupos 6A:2R e 5A:2R.

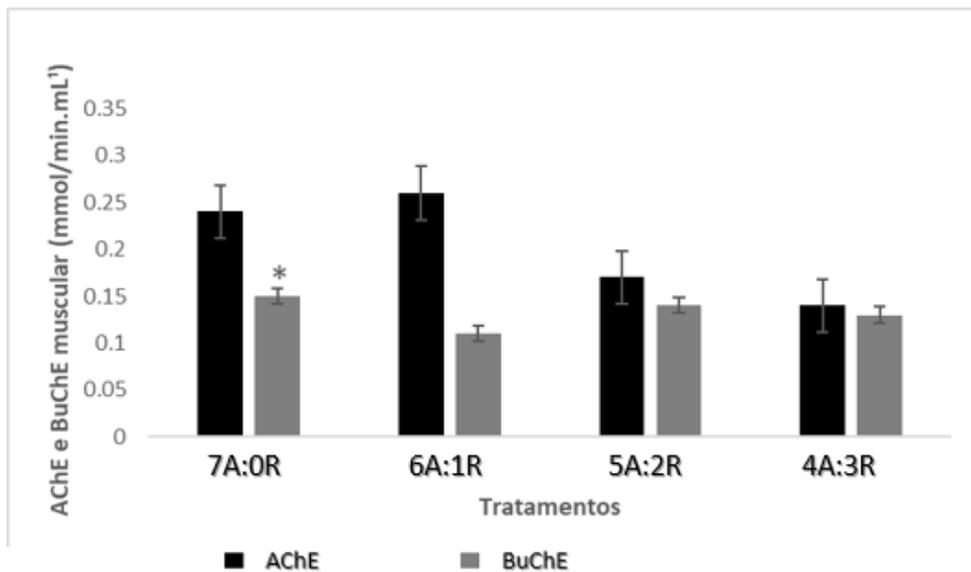


Figura 4. Atividade de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) no tecido muscular de formas jovens do curimatã-pacu sob regimes de restrição alimentar. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. (* $p < 0,05$).

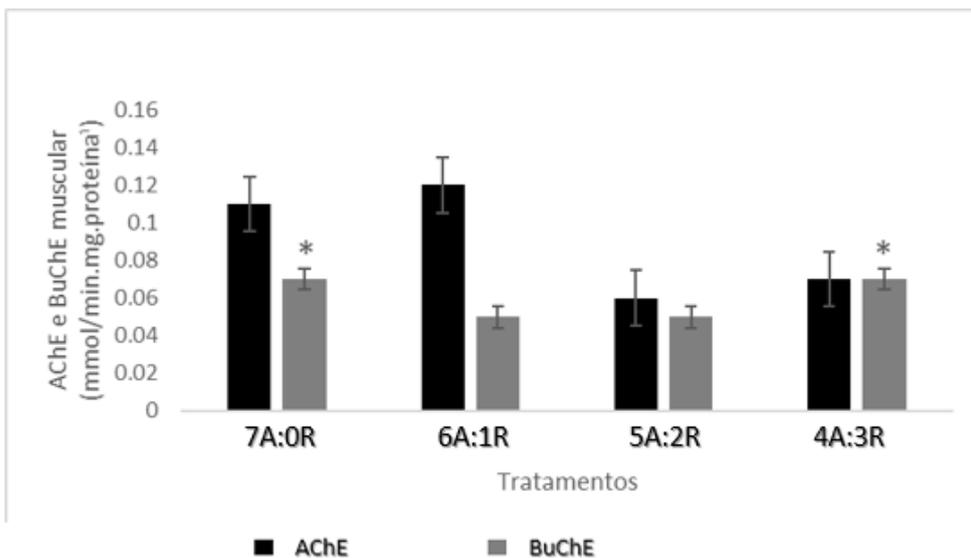


Figura 5. Atividade específica de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) no tecido muscular de formas jovens do curimatã-pacu sob regimes de restrição alimentar. (7A:0R) – sete dias de alimentação sem restrição (Controle); (6A:1R) – seis dias de alimentação e um dia de jejum; (5A:2R) – cinco dias de alimentação e dois dias de privação; (4A:3R) – quatro dias de alimentação e três dias de privação. (* $p < 0,05$).

Discussão

Qualidade da água

Períodos de privação alimentar possibilitam obter maior teor de oxigênio dissolvido na água e menor condutividade elétrica, devido menor carga orgânica no sistema (Santos et al., 2010). A manutenção do oxigênio dissolvido acima de 2mg.L^{-1} (Arauco e Costa, 2012), temperatura entre 25 e 28°C e pH próximo a neutralidade possibilita um melhor desenvolvimento de espécies tropicais e estabilidade físico-química da água. Palma et al. (2010) revelam que a eficácia do sistema de recirculação fechado contribui para a manutenção dos parâmetros da água em faixas adequadas para espécie e sem oscilações significativas que possam interferir no seu desempenho e necessidades metabólicas. Dessa forma, a manutenção desses parâmetros em faixas adequadas não gerou interferências no desempenho dos organismos.

Glicemia e células de defesa

As medidas das concentrações de glicose no plasma fornecem apenas um dado instantâneo do estado metabólico do peixe sem considerar a taxa de rotatividade (oscilação) do metabólito em determinado período (Peterson e Small, 2004). A inclusão de glicerina bruta na dieta de juvenis de *Prochilodus lineatus* promoveu menor nível glicêmico apenas em 4% de inclusão em relação ao controle, com valores entre $40\text{-}56\text{ mg.dL}^{-1}$ (Balén et al., 2017).

A similaridade do nível glicêmico entre os distintos regimes alimentares dessa pesquisa está em conformidade com os resultados descritos por Rodríguez e Landines (2011) em estudo com *Piaractus brachypomus*, aplicando regimes alimentares (1A:1R, 2A:3R e 3A:2R) e um grupo controle, não detectaram diferenças nos níveis de glicose (mmol.L^{-1}), lipídeos totais, proteínas totais plasmáticas e triglicerídeos. Em *Prochilodus lineatus*, sob condições de cultivo intensivo, Tavares-Dias (2015) cita valores de referência da glicose entre 29,3 e $133,3\text{ mg.dL}^{-1}$, ratificando dados do presente estudo e confirmando a grande amplitude de variação desse fator.

A aplicação da restrição de curto prazo é refletida na mobilização de reservas energéticas disponíveis no momento, onde os níveis plasmáticos de glicose costumam ser preservados devido diminuição nos níveis de insulina e aumento do glucagon, que estimula a glicogenólise (Forgati et al., 2015).

Ranzani-Paiva et al. (1999) destacam uma maior ocorrência de monócitos e linfócitos em *Prochilodus scrofa* com 2 anos de vida do que com 4 a 5 anos, porém, o neutrófilo exibiu maior percentual entre os grupos. Esfregaços de *Piaractus mesopotamicus* expressaram maior

quantidade de trombócitos em estudo de Tavares-Dias et al. (1999), o que evidencia alta atividade fagocitária, presumindo a influência de patógenos, fato que não ocorreu nesse estudo.

Os parâmetros bioquímicos hematológicos são importantes para diagnosticar possíveis influências de protocolos experimentais na atuação das células de defesa (Drumond et al., 2010). No presente estudo, a manutenção das células de defesa em percentual equivalente entre os distintos tratamentos indica que os curtos períodos de restrição não interferiram na imunologia do organismo.

Capacidade antioxidante e malondialdeído

As defesas antioxidantes nos peixes são influenciadas por diversos fatores dentre eles o comportamento alimentar e fatores nutricionais (Martínez-Álvarez et al., 2005). As enzimas antioxidantes são importantes agentes biomarcadores que decompõem as espécies reativas. Estas enzimas têm fundamental papel no controle, produção e eliminação de espécies reativas de oxigênio - EROs, que em excesso podem alterar as funções normais da célula e levar à oxidação das membranas celulares, podendo originar lesões nas mitocôndrias, proteínas, DNA e outros componentes do sistema celular (Batista et al., 2014).

Os peixes, normalmente, produzem elevados níveis de espécies reativas ao decorrer da recuperação de qualquer estresse fisiológico (Braun et al., 2008). Martinez (2006) descreve que a SOD é comumente utilizada como biomarcador bioquímico com respostas contundentes a contaminação ambiental, porém, a influência dos regimes de restrição/realimentação na capacidade antioxidante em peixes é pouco conhecida. No intestino do robalo europeu, Antonopoulou et al. (2013) destacam que ocorreu aumento na atividade de SOD e CAT em regimes de restrição (2A:2R e 1A:3R em meses) quando comparados ao grupo controle durante 4 meses.

A cascata de conversões de compostos metabólicos tóxicos ao organismo em produtos menos tóxicos para as células, contribuem para aumento em conjunto das enzimas SOD e CAT (Reis, 2015), no entanto, essa tendência nem sempre é observada, e parece ser espécie-específica, onde neste estudo apenas a SOD hepática revelou ligeiro aumento nos peixes sob restrição do alimento, mas sem alterar a capacidade antioxidante do organismo.

A enzima CAT encontra-se amplamente distribuída em tecidos biológicos e participa na decomposição de peróxido de hidrogênio em oxigênio e água, sendo uma das enzimas mais importantes envolvidas na defesa contra o estresse oxidativo em vertebrados e invertebrados (Batista et al., 2014). Desse modo, após período de privação alimentar, se houver algum distúrbio no organismo essa enzima altera sua atividade normal.

Furné et al. (2009) revelam que a restrição alimentar em truta e esturjão provocou decréscimo nas atividades enzimáticas de CAT, SOD, glutathiona peroxidase (GPx) e glutathiona reduzida. Entretanto, após período de realimentação houve tendência de recuperação da atividade normal. Morales et al. (2004) em pesquisa com *Dentex dentex* detectaram aumento de 22% na atividade de CAT do grupo em jejum em relação ao grupo controle (Mariano et al., 2009). Essa oscilação na atividade, que não foi verificada no presente estudo, constitui uma maneira de mitigar danos oxidativos ocasionados por agentes estressores.

A baixa atividade de CAT nos peixes está ligada à presença de fatores estressantes que resultam em aumento dos radicais superóxidos (Aebi, 1984; Silva et al., 2012). A adaptação fisiológica dos peixes em situações de escassez de alimento pode ser um fator estressante que contribui para o desequilíbrio entre espécies oxidantes e antioxidantes (Vasylykiv et al., 2011). A inalteração na atividade da CAT hepática e muscular nesse estudo, comprova que os curtos períodos de jejum não comprometeram as ações do sistema de defesa antioxidante.

A GST é comumente empregada em estudos de monitoramento de compostos químicos poluentes, especialmente metais pesados, os quais costumam inibir sua atividade (Cogo et al., 2009).

Canabarro e Toledo (2010) indicam uma possível influência de agentes contaminantes em áreas de criação de *Oreochromis niloticus*, onde os fígados analisados apresentaram decréscimos na atividade de GST. Desse modo, o nível de contaminação do meio proferiu estresse oxidativo no organismo, expresso na variação da atividade de GST. Neste estudo, a oscilação quantitativa do alimento não foi suficiente para gerar situação de desequilíbrio na atividade da referida enzima.

Pascual et al. (2003) analisaram os níveis de MDA nos fígados de *Sparus aurata* com intuito de ratificar que condições de jejum ocasionam estresse oxidativo. Esse dado foi observado nos maiores tempos (dias) de jejum, onde os níveis de MDA sofreram acréscimos, no entanto, esse aumento não ocasionou oscilações na atividade específica de enzimas antioxidantes como SOD e CAT. Assim, os dados de MDA da presente pesquisa revelam que a privação alimentar não gerou estresse oxidativo.

É importante conhecer e compreender os mecanismos celulares e as estratégias para reduzir o estresse oriundo dos regimes de restrição/realimentação, em sistemas de cultivo e ambiente natural (Antonopoulou et al., 2013). Vários agentes antioxidantes que contribuem para a capacidade antioxidante de um peixe são oriundos da sua alimentação, especialmente, antioxidantes lipossolúveis, uma vez que, não podem ser sintetizados novamente pelos animais.

Dessa forma, é esperado que peixes com diferentes regimes alimentares lidem com o estresse oxidativo de maneiras distintas (Birnie-Gauvin et al., 2017).

Nos últimos anos, o termo “estresse oxidativo alimentar” foi atribuído para descrever um desequilíbrio entre componentes pró-oxidantes e antioxidantes como resultado de uma oferta insuficiente de nutrientes, culminando numa remoção insuficiente de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Feng et al., 2011). Mas, em situações de privação de alimentos, é natural que o organismo reduza seu metabolismo basal, protegendo as reservas energéticas e, possivelmente, isso resulta em aumento nos níveis de espécies reativas, exigindo uma maior ação das defesas antioxidantes, o que não ocorreu no presente estudo para maioria das enzimas e tecidos analisados, indicando baixa severidade do regime alimentar nos animais estudados.

Atividade de colinesterases

A atividade normal de acetilcolinesterase (AChE) e butirilcolinesterase (BuChE) é fundamental para que o organismo possa localizar presas, escapar de predadores e orientação para identificação de itens alimentares (Golombiesk et al., 2008). Pesquisas referentes a inibição ou aumento na atividade dessas enzimas frente a períodos de restrição do alimento em teleósteos ainda estão sendo desenvolvidas.

Comparativamente, mesmo não expressando diferença entre os distintos grupos avaliados nesse estudo, a atividade cerebral da AChE foi superior à de BuChE. Leoncini (2016) cita que a BuChE exibe normalmente maior atividade no fígado, intestino, coração, pulmão e rim, enquanto que, AChE é mais concentrada nos tecidos cerebral e muscular.

Compostos anticolinesterásicos podem ser produzidos naturalmente, em consequência da poluição do meio, ou ação de inseticidas e pesticidas (Vieira et al., 2016). A análise do tecido cerebral de tilápias mantidas em reservatório com influência da aquicultura e dejetos agrícolas em comparação a tilápias mantidas em água limpa, revelou diminuição na atividade da AChE, similar a BuChE hepática, como possível efeito da contaminação do ambiente (Alencar et al., 2018).

No cérebro de *Labeo Rohita* a maior atividade de AChE foi observada em baixas concentrações do pesticida profenofos, revelando comportamento inverso (Ghazala et al., 2016). Em *Prochilodus lineatus* expostos a concentrações sub-letais do roundup durante 96h, Modesto e Martinez (2010) perceberam decréscimos significativos na atividade da AChE no tecido cerebral e muscular, inferindo que esse composto tem ação anti-acetilcolinesterase. A maior

inibição da atividade da AChE no tecido cerebral pode estar relacionada a sua maior concentração nesse tecido em relação a outros avaliados (Sharbidre et al., 2011).

Os dados da presente pesquisa suscitam que até mesmo os organismos do grupo 4A:3R não diferiram sua atividade cerebral da AChE do grupo controle, presumindo que essa estratégia de manejo alimentar não causa danos neurais e musculares. Como a BuChE participa ativamente no metabolismo lipídico (hidrólise de ésteres de colina e lipogênese hepática) (Milano et al., 2013), o menor teor do extrato etéreo expresso na composição corpórea dos grupos de restrição, pode ter contribuído para redução significativa de sua atividade.

O músculo propicia vantagem da fácil obtenção de uma grande quantidade material, no entanto, ele não possui somente AChE, mas também BuChE, a qual apresenta, em média, 50% de homologia com a AChE e infere-se que atua preservando a acetilcolinesterase dos agentes anticolinesterásicos (Guiloski et al., 2010), que mesmo em situações de estresse ocasionadas pelo jejum, pode contribuir para constância na atividade da AChE.

A medida que aumentou as concentrações do herbicida trifluralina, a AChE do tecido muscular de alevinos de tambaqui expressou menor atividade em relação ao grupo controle, entretanto, sem exibir diferenças significativas, no entanto, a BuChE do mesmo tecido revelou aumento nos organismos expostos ao composto tóxico, o que pode estar relacionado a reduções no conteúdo proteico dos organismos expostos (Silva et al., 2015), porém, a AChE exibiu maior atividade nos tecidos cerebral e muscular em relação a BuChE.

A inibição da AChE promove o acúmulo de acetilcolina nas sinapses neuromusculares e sinapses nervosas, resultando em anormalidades como o excesso de atividade dos tecidos musculares. Esta atividade excessiva no peixe incide em alterações comportamentais, como hiperatividade e anorexia, bem como efeitos fisiológicos, como asfixia, que pode resultar em morte. Já o aumento na atividade da AChE, que resulta em diminuição na quantidade de acetilcolina, pode ser um indicador de neurodegeneração, como resultado da perda de função nos receptores de acetilcolina (Şen e Karaytuğ, 2017). Assim, a inexistência de interferência na atividade cerebral e muscular da AChE frente a períodos de restrição alimentar empregados nesse estudo, indicam que não ocorreram consequências adversas no sistema neuromuscular. Ghazala et al. (2016) frizam que a resposta dos biomarcadores enzimáticos nos peixes é dependente das espécies, estágio de vida, grau de poluição e diferenças de sexo.

As rações comerciais destinadas à atividade aquícola têm altas concentrações de proteínas e estimulantes de crescimento, como o cobre e o zinco em sua composição, mas que em concentrações superiores a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, devido acúmulo ocasionado por manejo alimentar inadequado, são tóxicos para muitas espécies (Alencar et al., 2018). Desse modo, estratégias de

restrição/realimentação também pode ser uma maneira de mitigar a carga de contaminantes no ambiente de cultivo e preservar a atividade normal das colinesterases.

Conclusão

A restrição alimentar em formas jovens do *Prochilodus argenteus* não afetou sua atividade fisiológica, capacidade do sistema antioxidante e atividade das colinesterases, podendo ser aplicada como meio para reduzir carga orgânica do sistema e custos de produção sem interferir nos aspectos fisiológicos.

Agradecimentos

Ao acordo CAPES/FAPEAL pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor e a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba pela doação dos peixes.

Referências

- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology**, v.105, p. 121-126.
- Alencar, F.V.D., Sandes, I.M.F., Silva, K.C.C., 2018. Uso de biomarcadores enzimáticos e genotóxicos para diagnóstico da qualidade da água do lago Itaparica-PE. **Revista Rios Saúde**, 1:5, p.49-60. <http://www.fasete.edu.br/revistariosaude>
- Antonopoulou, E., Kentepozidou, E., Feidantsis, K., Roufidou, C., Despoti, S., Chatzifotis, S., 2013. Starvation and re-feeding affect Hsp expression, MAPK activation and antioxidant enzymes activity of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A 165:79–88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.02.019>
- Arauco, L.R.R., Costa, V.B., 2012. Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Comunicata scientiae**, 3(2): 134-138.
- Arslan, G., Sahin, T., Hisar, O., Hisar, S.A., 2015. Effects of low temperature and starvation on plasma cortisol, triiodothyronine, thyroxine, thyroid-stimulating hormone and prolactin levels of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). **Mar. Sci. Tech. Bull.** 4(2):5-9.
- Azodi, M., Ebrahimi, E., Farhadian, O., Mahboobi-Soofiani, N., Morshedi, V., 2015. Compensatory growth response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum following short starvation periods. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v.33, n.4, p. 928-933. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-015-4228-1>
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., Silva, L.C.R., Meurer, F., 2017. Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatá. **B. Inst. Pesca**, 43(3): 347 - 357. Doi: 10.20950/1678-2305.2017v43n3p347
- Batista, M.T.O., Rodrigues Junior, E., Feijó-Oliveira, M., Ribeiro, A.C., Rodrigues, E., Suda, C.N.K., Vani, G.S., 2014. Tissue levels of the antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase in fish *Astyanax bimaculatus* from the Una River Basin. **Rev. Ambient. Água** vol. 9 n. 4. doi: 10.4136/ambi-agua.1473

- Birnie-Galvin, K., Costantini, D., Cooke, S.J., Willmore, W.G., 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: a review. **Fish and Fisheries**. 1-15. DOI: 10.1111/faf.12215
- Bradford, M.M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry** 72, 248-254.
- Braun, N., Lima, R.L., Flora, F.D., Lang, M.É., Bauermann, L.F., Loro, V.L., Baldisserotto, B., 2008. Lipid peroxidation and superoxide dismutase activity in silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 3, p. 811-814.
- Canabarro, L., Toledo, M.T., 2010. Estudo do estresse oxidativo em fígados de peixes *Oreochromis niloticus* capturados em ambientes artificiais na região de Sorocaba SP. **Revista Eletrônica de Biologia**, v.1, (4):31-57.
- Cogo, A.J.D., Siqueira, A.F., Ramos, A.C., Cruz, Z.M.A., Silva, A.G., 2009. Utilização de enzimas do estresse oxidativo como bioindicadoras de impactos ambientais. **Natureza on line**, 7 (1): 37-42. <http://www.naturezaonline.com.br>
- Dias, C.A.G.M., Fagundes, D.S., Gouveia Junior, A., Silanes, M.D.M.L., Oliveira, J.C.S., 2013. Luz, metionina e estresse oxidativo na piscicultura. **Biota Amazônica**, v.3, n.3, p. 169-176.
- Dieterich, S., Bielick, U., Beulich, K., Hasenfuss, M.D.G., Prestle, J., 2000. Gene expression of antioxidative enzymes in the human heart. **Circulation**, 4-11; 101 (1): 33-9.
- Drumond, G.V.F., Caixeiro, A.P.A., Tavares-Dias, M., Marcon, J.L., Affonso, E.G., 2010. Características bioquímicas e hematológicas do pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimidae) de cultivo semi-intensivo na Amazônia. **ACTA AMAZONICA**, vol. 40(3): 591 – 596. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000300020>.
- Ellman, G.L., Courtiney, K.D., Andres JR, V., Featherstone, M., 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical pharmacology**, v.7. p.88-95.
- Feng, G., Shi, X., Huang, X., Zhuang, P., 2011. Oxidative Stress and Antioxidant Defenses after Long-term Fasting in Blood of Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*). **Procedia Environmental Sciences** 8: 469 – 475. doi:10.1016/j.proenv.2011.10.074
- Forgati, M., Gomes, A.D., Kirschnik, P., Rios, F.S., 2015. Crescimento muscular compensatório e metabolismo energético de *Cyprinus carpio* realimentados após privação de alimento. In: Tavares-Dias, M., Mariano, W.S. (Orgs.). **Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas. Aspectos Biológicos, Fisiológicos e Sanitários de Organismos Aquáticos**. Vol. 1. 429p.
- Furné, M., García-Gallego, M., Hidalgo, M.C., Morales, A.E., Domezain, A., Sanz, A., 2009. Oxidative stress parameters during starvation and refeeding periods in Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) and rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). **Aquaculture nutrition** 15:587-595. doi: 10.1111/j.1365-2095.2008.00626.x
- Ghazala, G., Mahboob, S., Al-Ghanim, K.A., Sultana, S., Sultana, T., Al-Misned, F., Ahmed, L., Shahid, T., Ahmad, Z., 2016. A study on chronic effect of profenofos on acetylcholinesterase

and butyrylcholinesterase activities and protein contents in various tissues in major carps. **Afr J Tradit Complement Altern Med.** 13(3):54-59. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v13i3.7>

- Gingerich, A.J., Philipp, D.P., Suski, C.D., 2009. Effects of nutritional status on metabolic rate, exercise and recovery in a freshwater fish. **J. Comp. Physiol. B.** 14p. doi: 10.1007/s00360-009-0419-4.
- Golombieski, J.I., Marchesan, E., Camargo, E.R., Salbego, J., Baumart, J.S., Loro, V.L., Machado, S.L.O., Zanella, R., Baldisserotto, B., 2008. Acetylcholinesterase enzyme activity in carp brain and muscle after acute exposure to diafuran. **Sci. Agric.**, v.65, n.4, p.340-345. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000400003>.
- Guiloski, I.C., Silva, E.G.da., Nishikawa, C.M., Assis, H.C. da S. de., 2010. Atividade da colinesterase em cérebro e músculo de *Corydoras paleatus* (Pisces, Teleostei) expostos ao carbaril. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 8, n. 4, p. 461-468. DOI: 10.7213/cienciaanimal.v8i4.11012
- Habig, W.H., Pabst, M.J., Jakoby, W.B., 1976. Glutathione s-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. **Journal of Biological Chemistry**, v.249, n. 22, p. 7130-7139.
- Hadwan, M.H., Abed, H.N., 2016. Data supporting the spectrophotometric method for the estimation of catalase activity. **Data in Brief** 6:194–199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dib.2015.12.012>
- Hrube, T.C., Smith, S.A., 1998. Hematology of fish. In: FELDMAN.B.F.; ZINKL, J.G.; JAIN, N.C **Schalm's Veterinary Hematology**.5.ed. Sydney: W.W. Lippincott, p. 1120-1125.
- Killen, S.S., Fu, C., Wu, K., Wang, Y.X., Fu, S.J., 2016. The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food deprivation. **Functional Ecology**, 8p. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12634>
- Leoncini, G.O., Silva, E.G. da., Machado, S. S., Abreu, F.C. de., 2018. Acetylcholinesterase from Curimatã Fish Brain (*Prochilodus Brevis*) as Potential Biocatalyst for Voltammetric Biosensor Construction. **Biomed J Sci & Tech Res.** Volume 8- Issue 3: DOI: 10.26717/BJSTR.2018.08.001655
- Leoncini, G.O., 2016. **Purificação parcial de colinesterase de *Prochilodus brevis* para emprego biotecnológico.** 105f. Dissertação (Mestrado em química e biotecnologia), Universidade Federal de Alagoas.
- Mariano, W.S., Oba, E.T., Assis, H.C.S., 2009. Biomarcadores de estresse oxidativo em peixes. In: Saran Neto, A., Mariano, S.W., Sória, S.F.P. (Orgs.). **Tópicos especiais em saúde e criação animal.** p.81-106.
- Martinez, C.B.R., 2006. **Parâmetros bioquímicos de peixes para avaliação da qualidade da água.** Departamento de Ciências Fisiológicas, Universidade Estadual de Londrina. 19p.
- Martínez-Álvarez, R.M., Morales, A.E., Sanz, A., 2005. Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors. **Reviews in Fish Biology and Fisheries** 15: 75–88. DOI 10.1007/s11160-005-7846-4
- Milano, G.E., Leite, N., Chaves, T.J., Milano, G.E., Souza, R.L.L., Alle, L.F., 2013. Atividade da butirilcolinesterase e fatores de risco cardiovascular em adolescentes obesos submetidos a um

programa de exercícios físicos. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.** 57/7. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27302013000700006>.

- Modesto, K.A., Martinez, C.B.R., 2010. Roundup® causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. **Chemosphere** 78: 294–299. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.10.047
- Morales, A.E., Pérez-Jiménez, A., Hidalgo, M.C., Abellán, E., Cardenete, G., 2004. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part C** 139: 153–161. doi:10.1016/j.cca.2004.10.008
- Namrata, S., Sanjay, N., Pallavi, C., 2011. Effect of Starvation on the Biochemical Composition of Freshwater Fish *Channa punctatus*. **Recent Research in Science and Technology**, 3(9): 17-19.
- Oh, S.Y., Noh, C.H., Cho, S.H., 2007. Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.38, n.3. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00116.x>
- Palma, E.H., 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, n.2, p. 421-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000200026>.
- Pascual, P., Pedrajas, J.R., Toribio, F., López-Barea, J., Peinado, J., 2003. Effect of food deprivation on oxidative stress biomarkers in fish (*Sparus aurata*). **Chemico-Biological Interactions**, 145:191-199. DOI: 10.1016/s0009-2797(03)00002-4
- Peterson, B.D., Small, B.C., 2004. Effects of fasting on circulating IGF-binding proteins, glucose, and cortisol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Domestic Animal Endocrinology**, 26:231–240. DOI: 10.1016/j.domaniend.2003.10.005
- Ranzani-Paiva, M.J.T., Salles, F.A., Eiras, J.C., Eiras, A.C., Ishikawa, C.M., Alexandrino, A.C., 1999. Análises hematológicas de curimatá (*Prochilodus scrofa*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do instituto de pesca, estado de São Paulo. **Boletim do Instituto de Pesca**, 25 (único): 77 - 83.
- Reis, S.M., 2015. **Transporte de juvenis de carpa ornamental (KOI), *Cyprinus carpio*: efeito do óleo de hortelã e do tempo de jejum**. 2015, 30f. Dissertação (mestrado em biologia animal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG.
- Ribeiro, F.F., Tsuzuki, M.Y., 2010. Compensatory growth responses in juvenile fat snook, *Centropomus parallelus* Poey, following food deprivation. **Aquaculture Research**, 41: 226-233. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02507.x>
- Rodríguez, L., Landines, M.A., 2011. Evaluación de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico em juveniles de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, em condiciones de laboratorio. **Rev. Med. Vet. Zoot.** 58(3): 141-155.
- Rosenfeld, G., 1947. Método rápido de coloração de esfregaços de sangue. Noções práticas sobre corantes pancreáticos e estudo de diversos fatores. **Memórias do Instituto Butantã**, v. 20, p. 315-328.

- Salin, K., Villasevil, E.M., Anderson, G.J., Auer, S.K., Selman, C., Hartley, R.C., Mullen, W., Chinopoulos, C., Metcalfe, N.B., 2018. Fasting fish risk oxidative stress: decreased mitochondrial metabolic requirements in fasting animals carry an oxidative cost. *funct. Journal of Experimental Biology*, 1-9. DOI: 10.1111/1365-2435.13125
- Santos, L., Pereira Filho, M., Sobreira, C., Ituassú, D., Fonseca, F.A.L., 2010. Exigência proteica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. *ACTA AMAZONICA*, v.40(3): 597-604. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000300021>
- Şen, G., Karaytuğ, S., 2017. Effects of Lead and Selenium Interaction on Acetylcholinesterase Activity in Brain and Accumulation of Metal in Tissues of *Oreochromis niloticus* (L., 1758). *NEsciences*, 2(2): 21-32. <https://doi.org/10.28978/nesciences.328857>
- Silva, E.M.P., Melo, M.P., Oliveira, R.H.F., Pugine, S.M.P., 2012. Atividade da catalase e da lactato desidrogenase em tilápias submetidas a estresse de confinamento: efeito da cor do ambiente. *Ciência Rural*, v. 42, n.5, p. 894-899. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000500022>.
- Silva, J. M., Santos, F.L.B., Tenório, H.A., Pereira, H.J.V., Costa, J.G., Santana, A.E.G., Machado, S.S., De Abreu, F.C., 2015. *In vivo* and *in vitro* inhibition of cholinesterase activity in *Colossoma macropomum* (tambaqui) fingerlings by the herbicide trifluralina. *Ecotoxicol. Environ. Contam.*, v. 10, n. 1, 23-30. doi: 10.5132/eec.2015.01.04
- Sharbidre, A.A., Metkari, V., Patode, P., 2011. Effect of diazinon on acetylcholinesterase and lipid peroxidation of *Poecilia reticulata*. *Research Journal of Environmental Toxicology* 5(2):152-161. DOI: 10.3923/rjet.2011.152.161
- Tavares-Dias, M., 2015. Parâmetros sanguíneos de referência para espécies de peixes cultivados. In: Tavares-Dias, M., Mariano, W.S. (Orgs.). **Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas. Aspectos Biológicos, Fisiológicos e Sanitários de Organismos Aquáticos**. Vol. 1. 429p.
- Tavares-Dias, M., Tenani, R.A., Gioli, L.D., Faustino, C.D., 1999. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. II. Parâmetros sanguíneos do *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (Osteichthyes, Characidae) em policultivo intensivo. *Rev. bras. Zool.* 16 (2): 423 - 431. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81751999000200008>.
- Urbinati, E.C., Ochoa, A.I.S., Camargo, A.C.S., Carvalho, E.G., Souza, V.L., Gonçalves, F.D., 2015. **Manejo alimentar e reprodução em peixes**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 14p.
- Van Dijk, P.L.M., Hardewig, I., Hölker, F., 2005. Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. *Journal of Fish Biology*, 66, 167–181. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00590.x>
- Vasylykiv, O.Y., Kubrak, O.I., Storey, K.B., Lushchak, V.I., 2011. Catalase activity as a potential vital biomarker of fish intoxication by the herbicide aminotriazole. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 101: 1–5. doi:10.1016/j.pestbp.2011.05.005
- Vieira, C.E.D., Costa, P.G., Lunardelli, B., Oliveira, L.F., Cabrera, L.C., Risso, W.E., Primel, E.G., Meletti, P.C., Fillmann, G., Martinez, C. B. R., 2016. Multiple biomarker responses in *Prochilodus lineatus* subjected to short-term in situ exposure to streams from agricultural areas in Southern Brazil. *Science of the Total Environment* 542: 44–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.071>

- Waagbø, R., Jørgensen, S.M., Timmerhaus, G., Breck, O., Olsvik, P.A., 2017. Short-term starvation at low temperature prior to harvest does not impact the health and acute stress response of adult Atlantic salmon. **PeerJ.**, 22p. doi: 10.7717/peerj.3273.
- Wallin, B., Rosegren, B., Shertzer, H.G., Cameyo, G., 1993. Lipoprotein oxidation and measurement of TBARS formation in a single microtiter plate: its use for evaluation of antioxidants. **Anal. Biochem.** 208: 10-15. DOI: 10.1006/abio.1993.1002

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de ciclos curtos de restrição alimentar em sistemas de criação de peixes, pode ser uma alternativa promissora para redução dos custos de produção e mitigação de impactos ambientais, com menor carga orgânica nos efluentes gerados.

A adoção do regime alimentar 5A:2R pode ser indicada no cultivo de formas jovens do *Prochilodus argenteus*, visto que, o organismo expressou índices zootécnicos similares ao tratamento controle (7A:0R), sem haver complicações morfofisiológicas e alterações no sistema antioxidante e atividade das colinesterases.

Recomenda-se a realização de mais estudos envolvendo restrição alimentar com uso do sistema de águas verdes e diferentes estágios de vida do curimatã-pacu, com intuito de ratificar os benefícios do uso desse protocolo.

8. ANEXOS

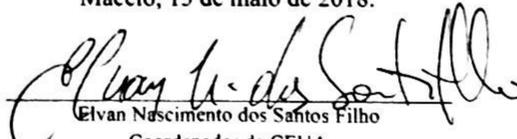
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA **CEUA**
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "*Manejo alimentar para curimatã-pacu (Prochilodus argenteus) envolvendo ciclos curtos de restrição alimentar e realimentação*", registrada com o nº02 /2018, sob a responsabilidade do **Prof. Dr. Elton Lima Santos**, que envolve a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Alagoas (CEUA/UFAL), em reunião de 11.05.2018.

Vigência da autorização	16.03.2018 a 16.02.2019
Espécie linhagem raça	Peixe
Nº de animais	140
Peso idade	3,0 g / Juvenil
Sexo	Não definido
Origem/Local de manutenção	Núcleo de piscicultura do CECA/UFAL
Colaboradores	Jurandyr Reis Neto

Maceió, 15 de maio de 2018.


 Elvan Nascimento dos Santos Filho
 Coordenador da CEUA
 SIAPE 1756479