DOI: 10.1590/1809-6891v27e-84240P

Ciência Animal Brasileira
Brazilian Animal Science

e-ISSN 1809-6891
Zootecnia | Artigo científico

Crescimento compensatório de *Piaractus mesopotamicus* produzidos em tanques-rede e submetidos a um período de jejum e realimentação

[Compensatory growth of *Piaractus mesopotamicus* raised in net cages and subjected to a period of fasting and refeeding]

Marilda Ribeiro Soares Davalo[1], Rubia Mara Gomes Acunha*[1], Fúlvia Cristina Oliveira[2], Gleice Kelli Vieira[2], Carlos Eurico Fernandes[2], Lucas Ribeiro Zottesso[1], Andre Lima Ferreira[3], Claucia Aparecida Honorato[4], Cristiane Meldau de Campos[1,2]

1 Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil
2 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Campos Belos, Goiás, Brasil
4 Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil

*autor correspondente: rubia.acunha@hotmail.com

Recebido: 22 de outubro de 2025. Aceito: 11 de maio de 2026. Publicado: 16 de junho de 2026.
Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: O presente estudo avaliou os efeitos da restrição alimentar sobre parâmetros produtivos, sanguíneos e teciduais de *Piaractus mesopotamicus* produzidos em tanques-rede. O experimento foi dividido em duas fases. Na fase I, com duração de 30 dias, 960 exemplares de *P. mesopotamicus* (368,44 ± 155,05 g) foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em seis tanques-rede, com dois tratamentos e três repetições cada, sendo: peixes submetidos a 15 dias de restrição alimentar seguidos por 15 dias de alimentação (FR) e peixes alimentados continuamente (CF). Na fase II, com duração de 60 dias, 600 exemplares de *P. mesopotamicus* (780,40 ± 96,07 g) foram distribuídos em seis tanques-rede, com os mesmos tratamentos utilizados na fase I. Os parâmetros de desempenho zootécnico não diferiram significativamente entre os tratamentos em ambas as fases experimentais. No entanto, o consumo de ração foi menor nos peixes FR. Na fase I, valores mais elevados de hemoglobina e eritrócitos foram observados nos peixes FR em comparação aos peixes CF. Na fase II, não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros sanguíneos entre os tratamentos. Os parâmetros histomorfométricos dos hepatócitos do pacu não apresentaram variação significativa entre os tratamentos nas duas fases. O protocolo de ciclos quinzenais de restrição alimentar seguidos de realimentação não prejudicou o crescimento de *P. mesopotamicus* produzidos em tanques-rede e teve efeitos mínimos sobre os parâmetros sanguíneos e histomorfométricos hepáticos.

Palavras-chave: estratégia de alimentação, piscicultura, peixes neotropicais, pacu.

Abstract: The present study evaluated the effects of feed restriction on production, blood and tissue parameters of *Piaractus mesopotamicus* raised in net cages. The experiment was divided into two phases. In phase I, which lasted for 30 days, 960 *P. mesopotamicus* (368.44 ± 155.05 g) were distributed in a completely randomised design in six net cages with two treatments and three replications each, namely: fish subjected to 15 days of feed restriction followed by 15 days of feeding (FR) and fish fed continuously (CF). In phase II, which lasted for 60 days, 600 *P. mesopotamicus*

Copyright ©. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Creative Commons Attribution License que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

(780.40 ± 96.07 g) were distributed in six net tanks, with the same treatments as were used in phase I. Growth performance parameters did not differ significantly between treatments ($p > 0.05$) in both experimental phases. However, feed intake was significantly lower in the FR fish ($p < 0.05$). In phase I, higher haemoglobin and erythrocyte levels were observed in the FR fish compared to the CF fish ($p < 0.05$). In phase II, no significant differences ($p > 0.05$) were observed in blood parameters between treatments. The hepatocyte histomorphometric parameters of pacu demonstrated no significant variation between treatments ($p > 0.05$) across both phases. The protocol of biweekly cycles of feed restriction followed by refeeding did not harm the growth of *P. mesopotamicus* raised in net cages and had minimal effects on blood and hepatocyte histomorphometric parameters.

Keywords: feeding strategy, fish farming, neotropical fish, pacu.

1. Introdução

Os custos com alimentação representam uma das principais limitações da aquicultura moderna, frequentemente correspondendo à maior parcela das despesas de produção. Portanto, estratégias capazes de reduzir o consumo de ração sem comprometer o desempenho zootécnico são cada vez mais necessárias para melhorar a eficiência econômica, aumentar a sustentabilidade e ampliar a competitividade dos produtos aquícolas. Nesse contexto, a restrição alimentar seguida de realimentação tem sido investigada como uma potencial estratégia de manejo para otimizar a utilização da ração e reduzir os custos de produção, incluindo a diminuição do uso de ração e da necessidade de mão de obra [1].

Diferentes espécies de peixes podem sobreviver a longos períodos de restrição alimentar em seu ambiente natural. Nos meses mais frios (inverno), a migração reprodutiva e/ou a fase pré-desova podem representar períodos naturais de privação alimentar [2]. Segundo esses mesmos autores, muitas espécies de peixes podem permanecer em jejum por longos períodos e posteriormente se recuperar totalmente após a realimentação. Essas espécies são bem adaptadas para mobilizar suas reservas energéticas endógenas, como glicogênio, lipídios e proteínas em tecidos como fígado, músculo e gordura mesentérica, para sobreviver aos períodos de privação alimentar [3; 4; 5].

Nesse contexto, os ciclos de restrição alimentar seguidos de realimentação são justificados pela capacidade da espécie em restaurar suas reservas metabólicas e, consequentemente, promover aumento na taxa de crescimento (comprimento ou massa corporal), processo conhecido como crescimento compensatório [3; 6; 7]. Entretanto, quando não associados a períodos adequados de realimentação, esses ciclos podem causar efeitos significativos nos parâmetros fisiológicos (hematológicos e bioquímicos) dos peixes [8; 9]. A magnitude do crescimento compensatório, por sua vez, é proporcional à intensidade e à duração da restrição alimentar imposta antes da realimentação [10].

Na aquicultura, os benefícios da indução do crescimento compensatório em diferentes espécies de peixes incluem melhor aproveitamento da ração devido à eficiência na retenção da proteína consumida, controle da gordura corporal, flexibilidade no manejo alimentar, redução de mão de obra e resíduos e, consequentemente, diminuição dos impactos ambientais e dos custos de produção [2; 5; 6; 11; 12]. Contudo, o uso de ciclos de restrição alimentar e realimentação pode comprometer as estruturas do trato digestório dos peixes e órgãos associados, como o fígado [13; 14]. Dessa forma, o conhecimento da histomorfometria hepática torna-se relevante para investigar alterações metabólicas e anormalidades em peixes submetidos ao jejum e à realimentação.

O pacu, *Piaractus mesopotamicus*, é um peixe onívoro amplamente distribuído nas bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai [15], sendo considerado uma das espécies mais importantes da América do Sul [6]. A espécie tem se destacado na aquicultura neotropical no Brasil, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, devido à excelente qualidade de sua carne e às características favoráveis de cultivo, como rusticidade e rápido crescimento [16]. Ao longo dos anos, tem sido estudada e apresenta boa resposta aos ciclos de privação alimentar seguidos de realimentação [11; 17]. Entretanto, a maioria dos estudos encontrados na literatura demonstra os efeitos do crescimento compensatório em *P. mesopotamicus* criados em laboratório [5; 18; 19].

Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos da restrição alimentar e da realimentação sobre o crescimento compensatório, a homeostase metabólica e a histomorfometria hepática de *P. mesopotamicus* criados em tanques-rede sob condições reais de produção, especificamente em uma piscicultura comercial.

2. Material e métodos

Todos os protocolos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), sob o número de registro 015/2019.

2.1 Delineamento experimental e manejo

Este estudo foi dividido em dois experimentos com o objetivo de avaliar a estratégia de restrição alimentar e realimentação em *P. mesopotamicus* em duas diferentes fases de peso. As duas fases do experimento (fase I e fase II) foram conduzidas em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos e três repetições cada, totalizando seis tanques-rede com volume útil de 4 m³ cada. O experimento (ambas as fases) foi realizado em um reservatório de 5 ha no município de Anastácio, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os animais foram aclimatados por 30 dias em tanques-rede antes do experimento, período durante o qual foram alimentados manualmente duas vezes ao dia (às 08h00 e às 16h00), até a saciedade aparente, com pellets (5–8 mm de diâmetro) de ração comercial contendo 280 g kg^{-1} de proteína bruta, 50 g kg^{-1} de extrato etéreo, 100 g kg^{-1} de matéria mineral e 3,5 g kg^{-1} de fibra bruta, conforme descrito pelo fabricante. A ração comercial utilizada durante a aclimatação foi a mesma utilizada durante as duas fases experimentais. A quantidade de ração fornecida na fase I foi calculada como 5 % do peso vivo, enquanto na fase II foi de 3 %. Durante todo o período experimental (ambas as fases), os peixes foram alimentados nos mesmos horários utilizados no período de aclimatação.

Os parâmetros de qualidade da água foram medidos diariamente pela manhã e apresentaram os seguintes valores: temperatura de 26,01 ± 4,50 °C e oxigênio dissolvido de 6,50 ± 0,49 mg L^{-1} (medidos com oxímetro AT 160 Alfakit); pH de 6,70 ± 0,59 (medido com pHmetro portátil Quimis); e amônia tóxica de 0,005 ± 0,003 mg L^{-1} (determinada por teste colorimétrico Alfakit Labcon).

Fase I – Efeito da restrição alimentar

Na fase I foram utilizados 960 juvenis de *P. mesopotamicus* (368,44 ± 155,05 g e 26,52 ± 5,01 cm), e o experimento teve duração de 30 dias. Os animais foram distribuídos em seis tanques-rede, em densidade de estocagem de 40 peixes por m³, em dois tratamentos com três repetições cada, sendo: FR – peixes submetidos a 15 dias de restrição alimentar seguidos por 15 dias de realimentação (n = 480 peixes por tratamento) e CF (controle) – peixes alimentados continuamente (n = 480 peixes por tratamento). As biometrias foram realizadas nos dias 0 e 30 do período experimental, e a sobrevivência foi avaliada no último dia da biometria.

Fase II – Efeito da restrição alimentar

Na fase II foram utilizados 600 exemplares de *P. mesopotamicus* (780,40 ± 96,07 g e 34,25 ± 1,58 cm), e o experimento teve duração de 60 dias. Os animais foram distribuídos em seis tanques-rede, em densidade de estocagem de 25 peixes por m³, em dois tratamentos com três repetições cada, sendo: FR – peixes submetidos a 15 dias de restrição alimentar seguidos por 15 dias de realimentação (n = 300 animais por tratamento) e CF (controle) – peixes alimentados continuamente (n = 300 animais por tratamento). As biometrias foram realizadas nos dias 0 e 60 do período experimental, e a sobrevivência foi avaliada conforme descrito para a fase I.

2.2 Índices biométricos

Todos os animais foram pesados e medidos durante cada biometria, e os dados foram utilizados para calcular os índices biométricos. O comprimento total foi medido utilizando ictiômetro [20] e o peso individual utilizando balança digital tipo pêndulo, o que permitiu reajustar as quantidades de ração de acordo com a biomassa calculada para os tanques-rede. Os peixes permaneceram em jejum por 24 horas antes de cada biometria, para esvaziamento do trato gastrointestinal.

As seguintes variáveis foram determinadas: comprimento final médio (CF, cm); peso final médio (PF, g); ganho em comprimento (GC, cm) = comprimento final médio (cm) – comprimento inicial médio (cm); ganho em peso (GP, g) = peso final médio (g) – peso inicial médio (g); ganho de biomassa (GB, kg) = biomassa final (kg) – biomassa inicial (kg); taxa de sobrevivência (S, %) = (número final de peixes / número inicial de peixes) × 100; consumo de ração (C, kg) = quantidade total de ração fornecida (kg) / duração do período experimental (dias); índice hepatossomático (IHS) = 100 × (peso do fígado (g) / peso corporal (g)); e fator de condição (K) = 100 × (W / L³), em que W = peso (g) e L = comprimento (cm).

2.3 Análise sanguínea

Antes do término de cada fase experimental, todos os animais permaneceram em jejum por 24 h. Em seguida, foi realizada coleta de sangue de dez peixes de cada repetição (n = 30 animais por tratamento), os quais foram cuidadosamente capturados aleatoriamente e submetidos à anestesia com eugenol (50 mg L^{-1}) [21]. Após anestesia profunda, o sangue (1,5 mL) foi coletado por punção do vaso caudal, utilizando seringas banhadas em anticoagulante (EDTA 3 %, ácido etilenodiaminotetracético).

Alíquotas de sangue foram utilizadas para quantificação de hemoglobina pelo método da cianometahemoglobina, conforme descrito por Collier [22]. Os valores de hematócrito foram determinados pelo método do micro-hematócrito [23]. A contagem total de eritrócitos foi realizada em câmara de Neubauer utilizando microscópio óptico ProWay® (XSZ-PW206BT).

Os índices eritrocitários, incluindo volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM), foram calculados com base nos valores de hemoglobina, hematócrito e eritrócitos.

Outra porção do sangue foi centrifugada (Bioplus S200) a 9.000 RPM por cinco minutos a 4 ºC para obtenção do plasma sobrenadante. As alíquotas de plasma foram então utilizadas para quantificação de glicose total, triglicerídeos, colesterol e proteína plasmática total, utilizando kits colorimétricos (Gold Analisa®).

2.4 Índice hepatossomático e histomorfometria dos hepatócitos

Após a coleta sanguínea, os peixes foram eutanasiados com superdosagem de óleo de cravo (450 mg L^{-1}) [21]. O fígado de cada animal foi coletado para determinação do HSI. Uma porção do fígado foi então removida e fixada em formalina tamponada a 10 % por 24 h e posteriormente armazenada em álcool 70 % até o processamento histológico.

A histomorfometria dos hepatócitos envolveu a coleta de porções do fígado, que foram incluídas em parafina, seccionadas em espessura de 4 µm e coradas com eosina e hematoxilina. As secções histológicas foram analisadas em microscópio (Opticam 500R) com aumento de 1000x.

Foram obtidas dez fotomicrografias de cada lâmina utilizando câmera Opticam (LOPTC 14003). Sessenta hepatócitos foram amostrados aleatoriamente para mensuração da área (µm²) e perímetro (µm) do citoplasma, bem como da área (µm²), perímetro (µm) e diâmetro (µm) do núcleo. As medidas foram realizadas utilizando o software Motic 2.0 (MoticAsia, Hong Kong), de acordo com Rodrigues et al. [14].

Esses valores foram utilizados para calcular os seguintes parâmetros: razão área nuclear/área citoplasmática (Racn) = (área nuclear / área citoplasmática) × 100; razão perímetro nuclear/perímetro citoplasmático (Rpcn) = (perímetro nuclear / perímetro citoplasmático) × 100; volume nuclear dos hepatócitos (NV, µm³) = $4/3 \cdot \pi \cdot r^3$, em que r = diâmetro/2; e circularidade nuclear dos hepatócitos (NC) = $p^2 / 4 \cdot \pi \cdot a$, em que p = perímetro nuclear e a = área nuclear.

2.5 Análise estatística

Todos os dados foram testados quanto à normalidade utilizando o teste de Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade das variâncias utilizando o teste de Levene. Como os dados atenderam aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, os dados de desempenho produtivo, parâmetros sanguíneos e histomorfometria dos hepatócitos foram analisados por análise de variância (ANOVA), seguida do teste F ao nível de 5 % de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Infostat.

3. Resultados

Os *P. mesopotamicus* submetidos aos tratamentos com (FR) e sem (CF) restrição alimentar não diferiram significativamente ($p > 0,05$) para nenhum dos parâmetros de desempenho produtivo (CF, PF, GC, GP, GB, IHS, K, S) (Tabela 1). Entretanto, o consumo de ração foi significativamente menor ($p < 0,05$) nos peixes FR em comparação aos peixes CF durante ambas as fases experimentais.

Tabela 1. Parâmetros de desempenho produtivo (média ± desvio padrão) de *Piaractus mesopotamicus* criados em tanques-rede, submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (FR) ou alimentação contínua (CF), durante duas fases experimentais (30 e 60 dias).

Variáveis	Fase I (30 dias)			
	Tratamento			
	FR	CF	*p-valor*	CV (%)
CF (cm)	28,40 ± 3,19	28.,8 ± 2,05	0,8695	9,38
PF (g)	480,71 ± 151,13	521,49 ± 118,18	0,7314	27,07
GC (cm)	2,56 ± 2,10	2,77 ± 1,71	0,9013	71,84
GP (g)	133,27 ± 116,14	153,59 ± 118,26	0,8422	81,71
GB (g)	13,50 ± 11,15	18,82 ± 15,56	0,6559	83,79
C (kg)	24,15 ± 2,83 b	49,63 ± 1,49 a	0,0002	6,14
IHS (%)	1,14 ± 0,17	1,20 ± 0,34	0,8714	14,03
K	2,15 ± 0,24	2,16 ± 0,02	0,9115	11,79
S (%)	95,04 ± 3,83	93,54 ± 2,82	0,614	3,57
	Fase II (60 dias)			
	FR	CF	*p-valor*	CV (%)
CF (cm)	34,56 ± 2,76	34,99 ± 1,51	0,8362	6,76
PF (g)	796,23 ± 144,14	818,40 ± 76,89	0,8257	14,31
GC (cm)	0,85 ± 0,52	1,15 ± 0,58	0,6104	65,09
GP (g)	30,52 ± 28,58	45,92 ± 28,14	0,5425	74,20
GB (g)	6,48 ± 5,71	6,02 ± 1,35	0,8988	66,43
C (kg)	49,24 ± 7,48 b	101,78 ± 28,25 a	0,0357	27,36
IHS (%)	1,17 ± 0,16	1,25 ± 0,10	0,8978	12,76
K	1,83 ± 0,19	1,79 ± 0,26	0,7898	10,58
S (%)	94,12 ± 0,58	94,34 ± 2,08	0,9902	1,62

Restrição alimentar (FR); alimentação contínua (CF); comprimento final médio (FL); peso final médio (FW); ganho em comprimento (LG); ganho em peso (WG); ganho de biomassa (BG); consumo de ração (FI); índice hepatossomático (HSI); fator de condição (K) e taxa de sobrevivência (S). Médias na mesma linha seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$). CV (%) – Coeficiente de variação.

Os peixes FR apresentaram valores significativamente maiores ($p < 0,05$) de hemoglobina e eritrócitos em comparação aos peixes CF durante a Fase I (Tabela 2). Além disso, os índices eritrocitários foram significativamente afetados nessa fase, com os peixes FR apresentando maior volume corpuscular médio (VCM), enquanto os peixes CF apresentaram maiores valores de hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) ($p < 0,05$). Na Fase I, glicose, triglicerídeos, colesterol, proteínas totais e hematócrito não diferiram significativamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Da mesma forma, na Fase II, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos para os parâmetros bioquímicos, hemoglobina, eritrócitos ou índices eritrocitários.

Tabela 2. Parâmetros bioquímicos, hematológicos e índices eritrocitários (média ± desvio padrão) de *Piaractus mesopotamicus* criados em tanques-rede e submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar seguidos de realimentação (FR) ou alimentação contínua (CF), durante duas fases experimentais (30 e 60 dias).

	Fase I (30 dias)			
Tratamentos	**Parâmetros bioquímicos**			
	Glicose (mg dL^{-1})	Triglicerídeos (mg dL^{-1})	Colesterol (mg dL^{-1})	Proteínas totais (mg dL^{-1})
FR	111,29 ± 18,06	179,21 ± 38,86	299,21 ± 38,86	3,06 ± 0,90
CF	119,81 ± 18,79	171,50 ± 30,65	291,50 ± 30,65	3,49 ± 0,94
***P*-valor**	0,2172	0,5485	0,5485	0,2172
CV (%)	15,93	19,82	11,76	28,03
	Parâmetros hematológicos			
	Hemoglobina (g dL^{-1})	Hematócrito (%)	Eritrócitos (10^6 mL^{-1})	
FR	14,30 ± 3.44 a	42.36 ± 2.31	1.42 ± 0.56 a	
CF	12,06 ± 2.74 b	41.25 ± 5.78	0.89 ± 0.36 b	
***P*-valor**	0,0008	0.5081	<0.0001	
CV (%)	23,59	10.8	41.33	
	MCV (fl)	MCH (pg)	MCHC (g dL^{-1})	
FR	400.43 ± 135.59 a	1.09 ± 0.50 b	26.59 ± 6.11b	
CF	263.30±74.65 b	2.08 ± 1.04 a	37.04 ± 4.88a	
***P*-valor**	0.0029	<0.001	<0.001	
CV (%)	34.25	52.10	18.32	
	Fase II (60 dias)			
	Parâmetros bioquímicos			
	Glicose (mg dL^{-1})	Triglicerídeos (mg dL^{-1})	Colesterol (mg dL^{-1})	Proteínas totais (mg dL^{-1})
FR	91.33 ± 27.03	187.63 ± 29.86	347.05 ± 93.15	5.80 ± 2.01
CF	83.67 ± 26.35	192.31 ± 24.32	356.72 ± 64.85	6.86 ± 2.97
***P* -valor**	0.2705	0.5130	0.7115	0.1108
CV (%)	30.5	14.36	23.25	40.03
	Parâmetros hematológicos			
	Hemoglobina (g dL^{-1})	Hematócrito (%)	Eritrócitos (10^6 mL^{-1})	
FR	9.13 ± 2.46	64.77 ± 10.76	4.57 ± 1.32	
CF	9.72 ± 2.37	68.73 ± 11.87	4.90 ± 1.33	
***P*-valor**	0.3482	0.2535	0.3438	
CV (%)	25.61	16.97	28.10	
	MCV (fl)	MCH (pg)	MCHC (g dL^{-1})	
FR	140.26 ± 58.55 a	4.65 ± 1.57 a	14.59 ± 3.97 a	
CF	153.24 ± 58.94[a]	4.18 ± 1.69 a	13.88 ± 5.35 a	
***P*-valor**	0.4536	0.2793	0.6279	
CV (%)	37.42	37.63	33.85	

Restrição alimentar (FR); alimentação contínua (CF); VCM: volume corpuscular médio (fL); HCM: hemoglobina corpuscular média (pg); CHCM: concentração de hemoglobina corpuscular média (g dL^{-1}). Médias na mesma coluna seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$); CV (%) – Coeficiente de variação.

Todos os parâmetros histomorfométricos dos hepatócitos avaliados (NA, CA, Racn, NP, CP, Rpcn, NV e NC; Tabela 3) não diferiram significativamente entre os tratamentos durante ambas as fases experimentais ($p > 0,05$).

Tabela 3. Variáveis histomorfométricas dos hepatócitos (média ± desvio padrão) de *Piaractus mesopotamicus* criados em tanques-rede, submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (FR) ou alimentação contínua (CF), durante duas fases experimentais (30 e 60 dias).

Fase I (30 dias)		
Variáveis [ns]	**Tratamentos**	
	FR	CF
Na (μm^2)	106.00 ± 0.01	105.00 ± 0.01
CA (μm^2)	8.92 ± 0.04	8.94 ± 0.05
R*acn*	12.38 ± 0.17	12.31 ± 0.18
NP (µm)	3.74 ± 0.01	3.73 ± 0.01
CP (µm)	11.76 ± 0.06	11.79 ± 0.06
R*pcn* [ns]	32.19 ± 0.27	32.07 ± 0.27
NV (μm^3)	0.63 ± 0.02	0.64 ± 0.01
NC (0-1)	0.94 ± 0.01	0.97 ± 0.03
Fase II (60 dias)		
	FR	CF
Na (μm^2)	99.00 ± 0.43	93.00 ± 0.34
CA (μm^2)	6.09 ± 2.42	7.60 ± 2.71
R*acn*	16.14 ± 5.30	13.30 ± 8.90
NP (µm)	3.33 ± 0.78	3.45 ± 1.25
CP (µm)	9.19 ± 4.90	9.93 ± 1.95
R*pcn*	37.66 ± 6.75	35.52 ± 11.89
NV (μm^3)	0.42 ± 0.32	0.55 ± 0.22
NC (0-1)	0.95 ± 0.42	0.94 ± 0.09

Área nuclear (NA); área citoplasmática (CA); razão área nuclear/área citoplasmática (Racn); perímetro nuclear (NP); perímetro citoplasmático (CP); razão perímetro nuclear/perímetro citoplasmático (Rpcn); volume nuclear (NV) e circularidade do núcleo dos hepatócitos (NC). Todas as médias foram comparadas pelo teste F ($p > 0,05$); ns: não significativo; CV (%) – Coeficiente de variação.

4. Discussão

Este é o primeiro estudo a avaliar a restrição alimentar seguida de realimentação em *P. mesopotamicus* criados em tanques-rede sob condições reais de produção. As respostas do desempenho produtivo e dos parâmetros fisiológicos de peixes submetidos a períodos de restrição alimentar seguidos de realimentação podem variar amplamente entre espécies, bem como em função do estado fisiológico e da saúde dos animais [24]. No presente estudo, os *P. mesopotamicus* criados em tanques-rede (peso inicial médio na fase I de 368 g e na fase II de 780 g) e submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar seguidos de realimentação apresentaram desempenho de crescimento semelhante ao dos peixes controle (alimentados continuamente).

No presente estudo, os peixes do tratamento com restrição alimentar apresentaram redução média de 48 % no consumo de ração em comparação aos animais alimentados continuamente, sem alterações significativas nos demais parâmetros de desempenho produtivo avaliados durante ambas as fases experimentais (30 e 60 dias). Esse resultado foi semelhante

ao observado para o matrinxã, *Brycon amazonicus*, que apresentou redução de 40 % quando submetido a dois dias de restrição seguidos de três dias de realimentação, em sistema de água corrente e aerada [25]. Por outro lado, outros estudos com os peixes de água doce tambaqui, *Colossoma macropomum* [9], e pirapitinga, *Piaractus brachypomus* [26], criados em sistema de recirculação aquícola (RAS) e submetidos a ciclos de um dia de restrição alimentar seguido de seis dias de realimentação, apresentaram reduções de 17 % e 22 %, respectivamente. Esses resultados reforçam a importância da adoção de estratégias de restrição alimentar seguidas de realimentação em diferentes sistemas de produção de peixes para reduzir custos com alimentação [27; 28] e a degradação ambiental [6].

As concentrações de glicose, triglicerídeos e colesterol não foram influenciadas pelos períodos quinzenais de restrição alimentar seguidos de realimentação durante ambas as fases experimentais do presente estudo. Os valores de glicose permaneceram inalterados, provavelmente devido à glicogenólise (quebra do glicogênio hepático em glicose) como forma de suprir a demanda energética dos animais [29]. A restrição alimentar aplicada consistiu apenas na limitação da ração fornecida, o que pode ter contribuído para a manutenção da estabilidade metabólica durante o período experimental. Os triglicerídeos são fonte de energia encontrada no músculo e fígado de peixes teleósteos e são mobilizados durante atividade metabólica excessiva [30]. O colesterol (lipídio estrutural) pode ser sintetizado e/ou utilizado em resposta à restrição alimentar [31]. Entretanto, as respostas das concentrações de colesterol e triglicerídeos à restrição alimentar em peixes são conflitantes, pois podem variar de acordo com a espécie [32] e o período de restrição alimentar [33; 34], podendo diminuir, aumentar [35] ou permanecer inalteradas [36].

O modelo lipostático proposto por Jobling e Johansen [22] sugere que a hiperfagia pós-jejum e a rápida reposição lipídica promovem crescimento compensatório via sinalização de IGF, resultando em hiperanabolismo [37]. Esse mecanismo foi evidenciado em *P. mesopotamicus* criados em sistema de recirculação aquícola (RAS), submetidos a 30 dias de jejum seguidos de 50 dias de realimentação, com recuperação dos parâmetros hepáticos e crescimento compensatório significativo [38]. No presente estudo, apesar da ausência de avaliações fisiológicas intermediárias, o protocolo quinzenal em tanques-rede também manteve estabilidade bioquímica e desempenho de crescimento comparável ao grupo controle, exceto para hemoglobina e eritrócitos na fase I. Esses resultados reforçam a elevada plasticidade fisiológica da espécie, capaz de se recuperar sob diferentes regimes e sistemas de produção, destacando o potencial da estratégia de restrição alimentar seguida de realimentação para otimizar o desempenho produtivo e, além disso, constituir uma estratégia viável para redução dos custos operacionais na aquicultura, como alimentação e mão de obra.

As proteínas plasmáticas totais são constituintes fundamentais do plasma, e grande parte do metabolismo basal dos peixes ocorre por meio do catabolismo proteico; entretanto, a proteína deve ser o último recurso energético a ser degradado pelos animais [39]. A proteína plasmática total não diferiu entre os tratamentos no presente estudo, o que pode estar relacionado à preservação dos recursos proteicos. Silva et al. [8] avaliaram diferentes estratégias de restrição alimentar para juvenis de pacamã, *Lophiosilurus alexandri*, e observaram que os valores de proteína foram maiores após o jejum, inclusive para os peixes do tratamento controle. Esses resultados demonstram a capacidade dos peixes de poupar a degradação proteica durante períodos de restrição alimentar. Por outro lado, os níveis de proteínas plasmáticas são regulados pelo fígado e utilizados para indicar o funcionamento desse órgão em peixes [40].

A avaliação dos parâmetros hematológicos é útil para verificar o estado de saúde dos peixes na aquicultura [41], especialmente durante períodos de restrição alimentar. Na Fase I do presente estudo, os peixes submetidos à restrição alimentar seguida de realimentação apresentaram maiores valores de hemoglobina e eritrócitos, o que pode estar relacionado a uma resposta compensatória para otimizar o transporte de oxigênio sob condições de estresse [42], como a restrição alimentar. Além disso, os índices eritrocitários também foram alterados nessa fase, com maior VCM observado nos peixes FR, enquanto os peixes CF apresentaram maiores HCM e CHCM. Essas alterações podem refletir ajustes na morfologia eritrocitária e no conteúdo de hemoglobina, indicando diferentes estratégias fisiológicas para manter a capacidade de transporte de oxigênio sob distintos regimes alimentares. Diversos estudos demonstraram que alterações hematológicas, incluindo hematócrito, hemoglobina, contagem de eritrócitos e índices derivados, podem ocorrer em peixes submetidos à restrição alimentar.

A organização estrutural do fígado é crucial para o desempenho de crescimento e a saúde dos peixes, uma vez que o fígado desempenha papel fundamental na síntese, regulação e degradação de substâncias envolvidas no crescimento animal e na resposta imunológica [43; 44]. As variáveis histomorfométricas dos hepatócitos em *P. mesopotamicus* foram semelhantes durante ambas as fases experimentais, indicando que, pelo menos em nível celular, não houve efeito entre os tratamentos de restrição e realimentação. Ostaszewska et al. [45] observaram alterações no tamanho dos hepatócitos e de seus núcleos em resposta a mudanças no fornecimento alimentar em *P. mesopotamicus* submetidos a dietas com diferentes fontes proteicas. Além disso, características nucleolares, tamanho e número de células hepáticas diploides em peixes podem demonstrar a atividade funcional dos genomas no núcleo e podem ser moduladas por fatores ambientais, como disponibilidade de alimento, o que pode afetar o crescimento e a condição corporal dos animais. Em geral, hepatócitos com deposição lipídica apresentam vacúolos arredondados no citoplasma, podendo também ocorrer deslocamento periférico do núcleo [46; 47]. Portanto, pode-se concluir que os peixes do presente estudo submetidos a ciclos quinzenais de restrição alimentar seguidos de realimentação não apresentaram condições lesivas.

Por fim, reforçando os efeitos positivos da estratégia alimentar avaliada no presente estudo com *P. mesopotamicus*, o crescimento final dos peixes submetidos à restrição alimentar seguida de realimentação não foi comprometido, alcançando o mesmo peso e tamanho corporal ao final de cada fase experimental em comparação aos animais alimentados continuamente. Assim, pode-se inferir que *P. mesopotamicus*, quando submetido a protocolos de restrição alimentar, apresenta notável capacidade de recuperar o crescimento após a realimentação, como também observado em outros estudos com a mesma espécie em diferentes condições experimentais [5; 19].

5. Conclusão

O presente estudo demonstrou que o uso de 15 dias de restrição alimentar seguidos por 15 dias de alimentação foi satisfatório para o desempenho de crescimento de *P. mesopotamicus* e causou alterações mínimas nos parâmetros bioquímicos e hematológicos. Além disso, não ocorreram alterações nas variáveis histomorfométricas dos hepatócitos nas duas fases experimentais. Esses resultados demonstram a importante aplicabilidade da restrição alimentar para *P. mesopotamicus* criados em tanques-rede, uma vez que essa estratégia pode reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade da água pela redução da excreção de compostos nitrogenados, devido à diminuição de 48 % no consumo de ração. Entretanto, mais estudos são necessários para avaliar as diferentes fases de desenvolvimento de *P. mesopotamicus* criados em tanques-rede sob condições reais de produção utilizando diferentes protocolos experimentais.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados e materiais que sustentam os achados deste estudo estão disponíveis com o autor correspondente mediante solicitação razoável.

Contribuições do autor

Conceitualização: Davalo, M. R.; Acunha, R. M. G.; Campos, C. M.; Curadoria de dados: Davalo, M. R. S.; Acunha, R. M. G.; Zottesso, L. R.; Campos, C. M.; Análise formal: Acunha, R. M. G.; Ferreira, A. L.; Campos, C. M.; Aquisição de financiamento: Campos, C. M.; Administração do projeto: Campos, C. M.; Metodologia: Acunha, R. M. G.; Oliveira, F. C.; Honorato da Silva, C. A.; Campos, C. M.; Fernandes, C. E.; Honorato da Silva, C. A.; Supervisão: Campos, C. M.; Investigação: Davalo, M. R. S.; Acunha, R. M. G.; Oliveira, F. C.; Vieira, G. K.; Zottesso, L. R.; Validação: Davalo, M. R.; Oliveira, F. C.; Vieira, G. K.; Campos, C. M.; Visualização: Acunha, R. M. G.; Ferreira, A. L.; Campos, C. M.; Redação – rascunho original: Acunha, R. M. G.; Campos, C. M.; Redação – revisão e edição: Davalo, M. R. S.; Acunha, R. M. G.; Oliveira, F. C.; Ferreira, A. L.; Honorato da Silva, C. A.; Campos, C. M.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Agradecmentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelo apoio acadêmico e institucional ao desenvolvimento desta pesquisa. Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores R. M. G. Acunha, F. C. Oliveira e G. K. Vieira agradecem à CAPES pela concessão de bolsas de estudos. Os autores agradecem à Fazenda São Judas Tadeu pela disponibilização da área experimental utilizada na condução deste estudo.

Referências

1 Acunha RMG, Simões ARP, Oliveira FC, Fernandes CEDS, Soares MP, Barros AFD, Campos CMD. Food restriction in hybrid catfish *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus* produced in cages: zootechnical performance, physiological metabolism and economic viability. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2025;47: e73187. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v47i1.73187

2 Mohanta KN, et al. 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. Aquac Nutr. 2017;23(3):460–9. Disponível em: https://doi.org/10.1111/anu.12414

3 Ali M, Nicieza A, Wootton RJ. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. Fish Fish. 2003;4(2):147–90. Disponível em: https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00120.x

4 McCue MD. Starvation physiology: reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2010;156(1):1–18. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.002

5 Favero GC, Gimbo RY, Montoya LNF, Carneiro DJ, Urbinati EC. A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. Aquaculture. 2020;524:735242. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735242

6 Yengkokpam S, Sahu NP, Pal AK, Debnath D, Kumar S, Jain KK. Compensatory growth, feed intake and body composition of *Labeo rohita* fingerlings following feed deprivation. Aquac Nutr. 2014;20(2):101–8. Disponível em: https://doi.org/10.1111/anu.12056

7 Oliveira LCC, et al. Feeding strategy induces compensatory growth in *Heros severus* fingerlings, an Amazonian ornamental fish. Aquac Rep. 2020;18:100436. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100436

8 Silva WS, et al. Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous Neotropical catfish. Aquaculture. 2019;505:12–7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.047

9 Assis YPAS, Assis PL, Melo NFAC, Palheta GDA, Luz RK, Favero GC. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS). Aquaculture. 2020;529:735689. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689

10 Bull CD, Metcalfe NB. Regulation of hyperphagia in response to varying energy deficits in overwintering juvenile Atlantic salmon. J Fish Biol. 1997;50(3):498–510. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01945.x

11 Takahashi LS, Biller JD, Criscuolo-Urbinati E, Urbinati EC. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. J Anim Physiol Anim Nutr. 2011;95(2):259–66. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01050.x

12 Sevgili H, Hoşsu B, Emre Y, Kanyilmaz M. Compensatory growth after various levels of dietary protein restriction in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture. 2012;344:126–34. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.030

13 Carriquiriborde P, De Luca JC, Dulout FN, Ronco AE. Nucleolar variation in response to nutritional condition in juvenile pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes). J Fish Biol. 2007;70(3):947–58. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01357.x

14 Rodrigues RA, Saturnino KC, Fernandes CE. Liver histology and histomorphometry in hybrid sorubim (*Pseudoplatystoma reticulatum* × *Pseudoplatystoma corruscans*) reared on intensive fish farming. Aquac Res. 2017;48(9):5083–93. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.13325

15 Godoy MP. Peixes do Brasil: subordem Characoidei. Bacia do Rio Mogi-Guassu. Piracicaba: Franciscana; 1975. 216 p.

16 Gomes LC, Baldisserotto B. Espécies nativas para piscicultura no Brasil: Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: Baldisserotto B, editor. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. 3rd ed. Santa Maria: UFSM; 2019. p. 147–68

17 Kojima JT, et al. Short periods of food restriction do not affect growth, survival or muscle development on pacu larvae. Aquaculture. 2015;436:137–42. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.004

18 Paula TGD, et al. Food restriction increases the expression of mTORC1 complex genes in the skeletal muscle of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*). PLoS One. 2017;12(5):e0177679. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177679

19 Favero GC, Gimbo RY, Franco Montoya LN, Zanuzzo FS, Urbinati EC. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquac Res. 2018;49(1):359–66. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.13466

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

21 Ferreira AL, Bonifácio CT, Silva WS, Takata R, Favero GC, Luz RK. Anesthesia with eugenol and menthol for *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): induction and recovery times, ventilation frequency and hematological and biochemical responses. Aquaculture. 2021;544:737076. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737076

22 Collier HB. Standardization of blood haemoglobin determinations. Can Med Assoc J. 1944;50(6):550–2.

23 Goldenfarb PB, Bowyer FP, Hall E, Brosious E. Reproducibility in the hematology laboratory: the microhematometric determination. Am J Clin Pathol. 1971;56:35–9. Disponível em: https://doi.org/10.1093/ajcp/56.1.35

24 Torfi-Mozanzadeh M, Marammazi JG, Yaghoubi M, Yavari V, Agh N, Gisbert E. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*, Valenciennes 1830). Aquac Nutr. 2017;23(1):181–91. Disponível em: https://doi.org/10.1111/anu.12379

25 Urbinati EC, Sarmiento SJ, Takahashi LS. Short-term cycles of feed deprivation and refeeding promote full compensatory growth in the Amazon fish matrinxã (*Brycon amazonicus*). Aquaculture. 2014;433:430–3. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.06.030

26 Favero GC, Boaventura TP, Ferreira AL, Silva AC, Porto LA, Luz RK. Fasting/re-feeding and water temperature promote the mobilization of body reserves in juvenile freshwater carnivorous catfish *Lophiosilurus alexandri*. Aquaculture. 2021;511:734223. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734223

27 Passinato EB, et al. Performance and analysis of the production of Nile tilapia submitted to different feeding management. Semina Ciênc Agrár. 2015;36(6 Suppl):4481–92. Disponível em: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4481

28 Roa FGB, et al. Production performance of tambaqui juveniles subjected to short feed-deprivation and refeeding cycles. Bol Inst Pesca. 2019;45(4):1–9. Disponível em: https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.4.466

29 Navarro I, Gutiérrez J. Fasting and starvation. In: Hochachka PW, Mommsen TP, editors. Biochemistry and molecular biology of fishes. Vol. 4. Amsterdam: Elsevier; 1995. p. 393–434. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1873-0140(06)80020-2

30 Lermen CL, et al. Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen*. Aquaculture. 2004;239(1–4):497–507. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.021

31 Godavarthy P, Kumari YS, Bikshapathy E. Starvation induced cholesterogenesis in hepatic and extra hepatic tissues of climbing perch, Anabas testudineus (Bloch). Saudi J Biol Sci. 2012;19(4):489–94. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.07.004

32 Kim JH, Jeong MH, Jun JC, Kim TI. Changes in hematological, biochemical and non-specific immune parameters of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, following starvation. Asian-Australas J Anim Sci. 2014;27(9):1360. Disponível em: https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14110

33 Figueroa RI, Rodríguez-Sabarís R, Aldegunde M, Soengas JL. Effects of food deprivation on 24 h-changes in brain and liver carbohydrate and ketone body metabolism of rainbow trout. J Fish Biol. 2000;57(3):631–46. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00265.x

34 Chatzifotis S, Papadaki M, Despoti S, Roufidou C, Antonopoulou E. Effect of starvation and re-feeding on reproductive indices, body weight, plasma metabolites and oxidative enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture. 2011;316(1–4):53–9. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.044

35 Hevrøy EM, Azpeleta C, Shimizu M, et al. Effects of short-term starvation on ghrelin, GH-IGF system, and IGF-binding proteins in Atlantic salmon. Fish Physiol Biochem. 2011;37:217–32. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10695-010-9434-3

36 Jobling M, Johansen SJS. Lipostat, hiperfagia e crescimento de recuperação. Aquac Res. 1999;30(7):473–8. Disponível em: http://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00358.x

37 Won ET, Borski RJ. Regulação endócrina do crescimento compensatório em peixes. Front Endocrinol. 2013;4:74. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fendo.2013.00074

38 Farias KNN, et al. Effects of days-fasting and refeeding on growth, biochemical and histometric liver parameters in pacu *Piaractus mesopotamicus*. Braz J Biol. 2024;84:e287072. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1519-6984.287072

39 Hung SS, Liu W, Li H, Storebakken T, Cui Y. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. Aquaculture. 1997;151(1–4):357–63. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01506-2

40 Tamadoni R, Nafisi Bahabadi M, Morshedi V, Bagheri D, Mozanzadeh MT. Effect of short-term fasting and re-feeding on growth, digestive enzyme activities and antioxidant defence in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus* (Houttuyn, 1782). Aquac Res. 2020;51(4):1437–45. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.14489

41 Burgos-Aceves MA, Lionetti L, Faggio C. Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish. Sci Total Environ. 2019;670:1170–83. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.275

42 Nikinmaa M, Cech JJ, McEnroe M. Blood oxygen transport in stressed striped bass (*Morone saxatilis*): role of beta-adrenergic responses. J Comp Physiol B. 1984;154:365–9. Disponível em: https://doi.org/10.1007/BF00684443

43 Prisingkorn W, et al. Transcriptomics, metabolomics and histology indicate that high-carbohydrate diet negatively affects the liver health of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). BMC Genomics. 2017;18:856. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12864-017-4246-9

44 Liu Y, et al. Resveratrol inclusion alleviated high-dietary-carbohydrate-induced glycogen deposition and immune response of largemouth bass, Micropterus salmoides. Br J Nutr. 2022;127(2):165–76. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0007114521000544

45 Ostaszewska T, et al. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. Aquaculture. 2005;245(1–4):273–86. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.005

46 Gisbert E, Ortiz-Delgado JB, Sarasquete C. Nutritional cellular biomarkers in early life stages of fish. Histol Histopathol. 2008;23(12):1525–39. https://doi.org/10.14670/hh-23.1525

47 Darias MJ, Gómez MA, Tello S, Gisbert E. Growth, survival and the histology of the digestive tract of juvenile *Osteoglossum bicirrhosum* (Cuvier, 1829) fed three diets containing different protein and lipid levels. J Appl Ichthyol. 2015;31(4):67–73. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jai.12977