










Artigo original / Original article

Efeitos da exposição aguda e crônica à diferentes salinidades da água em juvenis de *Piaractus brachypomus*. Hematologia, bioquímica sanguínea, desempenho e histologia de fígado e brânquias

Effects of acute and chronic exposure to different water salinities in juvenile *Piaractus brachypomus*. Hematology, blood biochemistry, liver and gill performance and histology

André de Sena-Souza ¹; Fabil Aremil Costa-Santos ¹; Gustavo Soares da Costa-Júlio ¹; Sidney dos Santos-Silva ¹; Imaculada de Moraes Carvalho-Ananias ¹; Camila Gomes-de Oliveira ¹; Pedro Paulo Cortezzi-Pedras ¹; Gisele Cristina Favero ¹; Ronald Kennedy Luz ^{1*}

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Esse estudo avaliou o efeito da exposição aguda e crônica a diferentes salinidades em juvenis de pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). O experimento 1 avaliou a exposição aguda ao sal por 96 horas. O experimento 2 avaliou a exposição crônica a diferentes salinidades por 60 dias. Em ambos os experimentos foram identificadas alterações nos parâmetros sanguíneos e histológicos dos animais. No experimento 1, a salinidade de 12 g de sal L⁻¹ se mostrou letal, com salinidades mais adequadas próximas a 3 g de sal L⁻¹. No experimento 2, os melhores resultados de desempenho, após 60 dias, foram obtidos com até 2 g de sal L⁻¹. Os maiores distúrbios nos parâmetros sanguíneos e as alterações teciduais mais intensas foram registrados para 4 e 6 g de sal L⁻¹. Portanto, salinidade de até 2 g de sal L⁻¹ se mostrou mais adequada para o cultivo de *P. brachypomus*.

Palavras chave: espécie neotropical; fisiologia; crescimento; choque osmótico

ABSTRACT

This study evaluated the effect of acute and chronic exposure to different salinities on juvenile pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Experiment 1 evaluated acute exposure to salt for 96 hours. Experiment 2 evaluated chronic exposure to different salinities for 60 days. In both experiments, changes in the animals' blood and histological parameters were identified. In Experiment 1, a salinity of 12 g of salt L⁻¹ proved lethal, with more suitable salinities close to 3 g of salt L⁻¹. In Experiment 2, the best performance after 60 days was observed at up to 2 g L⁻¹ of salt. Greater disturbances in blood parameters and more pronounced tissue changes were recorded at 4 and 6 g of salt L⁻¹. Therefore, salinities of up to 2 g of salt L⁻¹ proved to be more suitable for the cultivation of *P. brachypomus*.

Keywords: neotropical species; physiology; growth; osmotic shock

Citação / Citation: de Sena Souza, A., Costa Santos, F. A., da Costa Júlio, G.S., dos Santos Silva, S., Carvalho Ananias, I.M., Gomes de Oliveira, C., Cortezzi Pedras, P.P., Favero, G.C. & Luz, R.K. (2026). Efeitos da exposição aguda e crônica à diferentes salinidades da água em juvenis de *Piaractus brachypomus*. Hematologia, bioquímica sanguínea, desempenho e histologia de fígado e brânquias. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, 5(1), e147. <https://doi.org/10.56926/repia.v5i1.147>

Editor: Dr. Fred William Chu Koo 

Recebido: 16/02/2026

Aceito: 30/03/2026

Publicado: 20/04/2026

* luzrk@yahoo.com (autor de correspondência)



© Authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura vem se consolidando no setor produtivo como um segmento em expansão, alcançando valores que superam os obtidos a partir da pesca extrativista (FAO, 2024). Segundo o mesmo documento, esse crescimento nos números de produção de organismos aquáticos é reflexo do aumento da demanda de mercado e do consumo per capita de pescado em cenário mundial.

Acompanhando essa intensificação produtiva, o uso de insumos de baixo custo que auxiliam em questões relacionadas à prevenção de enfermidade (Khor et al., 2024), tratamentos profiláticos (Tavares-Dias, 2022), bem-estar animal (Huang et al., 2025) e desempenho zootécnico (Abdel-Latif et al., 2023) é comumente utilizado dentro de diversos segmentos da cadeia produtiva.

Dentre esses produtos, podemos citar o sal comum (NaCl). Esse insumo, em concentrações adequadas, apresenta baixos índices de toxicidade e é considerado um produto de fácil acesso e de custo relativamente baixo. O sal já vem sendo utilizado com diferentes propósitos na aquicultura; Alterações na salinidade da água podem ser utilizadas em diferentes fases de cultivo, buscando melhores resultados relacionados ao desempenho zootécnico (Abdel-Latif et al., 2023; Araújo et al., 2020; Ferreira et al., 2023; Jomori et al., 2013), tratamentos profiláticos (Oladosu & Oladosu, 2019) e agente mitigador de estresse em manejos frequentes na piscicultura como transportes (Luz & Favero, 2024), biometrias e abate (Uehara et al., 2021).

Em contrapartida, o uso inadequado de sal pode causar danos estruturais e fisiológicos aos animais. Alterações na bioquímica sanguínea podem ser observadas em diferentes espécies de peixes de água doce submetidos a banhos em água salinizada por diferentes períodos de exposição (Demska-Zakeš et al., 2021; dos Santos Silva et al., 2026; Mattioli et al., 2017). Essas alterações também são relatadas em exposições à água salinizada por períodos mais prolongados (Fiúza et al., 2015; Mohamed et al., 2021; Zidan et al., 2022).

Além de afetar a bioquímica sanguínea, a utilização de salinidades inadequadas no cultivo de peixes pode levar a alterações histopatológicas em algumas estruturas, como fígado e brânquias (dos Santos Silva et al., 2026; Mohamed et al., 2021; Takata et al., 2021; Zidan et al., 2022).

A pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) é uma espécie nativa da América do Sul, endêmica das bacias dos rios Amazonas e Orinoco (Escobar L. et al., 2019). Além de ser uma das espécies de peixes nativas mais produzidas na América Latina, a *P. brachypomus* já é amplamente cultivada e encontrada no continente asiático (Prathib, 2025; Seshagiri et al., 2022). Isso se deve a fatores como a rusticidade, a adaptabilidade a diferentes sistemas de cultivo e o interesse de mercado (Angeles-Escobar et al., 2022; de Moraes Carvalho Ananias et al., 2025).

Deste modo, considerando a crescente produção dessa espécie e a possibilidade de utilização do sal comum como insumo produtivo aquícola, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de exposições agudas e crônicas a diferentes salinidades, considerando parâmetros sanguíneos, indicadores de desempenho e análises histológicas em juvenis de *P. brachypomus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local e instalações experimentais

Esse estudo foi realizado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, Brasil), no setor de Larvicultura do Laboratório de Aquicultura (LAQUA). Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Uso de Animais (CEUA - UFMG - nº 102/2024, CEUA - UFMG - nº 150/2023).

Experimento 1. Exposição aguda a salinidade da água por 96 horas

Foram utilizados 120 juvenis de *P. brachypomus*, pesando $32,45 \pm 6,52$ g e com comprimento de $13,26 \pm 0,97$ cm. Os juvenis foram distribuídos em cinco sistemas de recirculação de água (RAS). Cada RAS é composto por um depósito de água de 200 L contendo filtro mecânico e biológico e quatro tanques de cultivo (repetições) de 28 L, conforme o modelo utilizado por Ferreira et al. (2021). Foram estocados seis juvenis por bacia, totalizando 24 animais por tratamento.

Nos primeiros 14 dias, os animais foram aclimatados às condições experimentais, e mantidos em água doce. A alimentação foi fornecida duas vezes ao dia (08:00 e 16:00 h) até a saciedade aparente, utilizando dieta comercial extrusada (Aquos Starter, 2 a 3 mm), contendo 45% de proteína bruta, 4% de fibra bruta, 15% de matéria mineral, 8% de extrato etéreo, 2% de cálcio e 0,8% de fósforo.

Após o período de aclimação, os animais foram transferidos para outros RAS nas mesmas condições, porém previamente preparados com as diferentes salinidades: água doce (Controle); S3 - 3 g de sal L⁻¹; S6 - 6 g de sal L⁻¹; S9 - 9 g de sal L⁻¹ e S12 - 12 g de sal L⁻¹. Para a salinidade, foi utilizado sal da Refinaria sal garça LTFA, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil (Ingrediente: cloreto de sódio). Os animais foram mantidos nas diferentes salinidades por 96 h.

Durante esse período, foi realizada a primeira oferta de alimento após 24 h. As alimentações posteriores foram realizadas diariamente às 08:00 e 16:00 h.

Durante o período de exposição, os parâmetros de qualidade da água, como temperatura, salinidade, condutividade elétrica e pH, foram medidos por meio de sonda modelo HI9146 (Hanna Instruments); o oxigênio dissolvido, por meio de sonda YSI 6920VZ2 multiparameter probe; e a amônia total, por meio de kit colorimétrico (LabconTest, Alcon®, Camboriú, SC, Brasil), após 24, 48 e 96 h de exposição. A temperatura média dos sistemas foi de $27,49 \pm 0,32$ °C; o pH se manteve em $7,79 \pm 0,34$; o oxigênio dissolvido foi de $6,68 \pm 0,71$ mg L⁻¹; e a amônia total se manteve abaixo de 0,5 mg L⁻¹ em todos os tratamentos. A salinidade e a condutividade elétrica variam conforme os tratamentos.

A sobrevivência foi observada diariamente durante o período experimental por meio de contagem direta dos animais, e a mortalidade foi registrada.

Experimento 2. Desempenho e fisiologia de juvenis em diferentes salinidades

Para este experimento foram utilizados 224 juvenis de *P. brachypomus*, pesando $5,74 \pm 0,90$ g e com comprimento de $5,63 \pm 0,22$ cm. O peso dos animais foi menor que no experimento 1, pois o experimento terá duração de 60 dias para avaliar o desempenho. Os juvenis foram distribuídos em quatro RAS, como descrito no experimento 1. Cada RAS foi preparado com as seguintes salinidades, com base nos resultados do experimento 1: S0- água doce (controle); S2 - 2 g de sal L⁻¹; S4 - 4 g de sal L⁻¹ e S6 - 6 g de sal L⁻¹ na água.

Os juvenis foram estocados diretamente nas diferentes salinidades. O experimento consistiu em duas fases. Na fase 1, adotou-se a densidade de 0,5 juvenis L⁻¹ (14 animais por tanque) durante 30 dias de cultivo. Na fase 2, do 31º ao 60º dia de cultivo, os animais foram mantidos na densidade de 0,25 juvenis L⁻¹ (7 animais por tanque). Essa repicagem foi necessária devido ao crescimento observado nos animais nos primeiros 30 dias do experimento.

A temperatura média dos sistemas foi de 28,34 ± 0,27 °C; o pH se manteve em 6,42 ± 0,69; o oxigênio dissolvido foi de 4,28 ± 0,31 mg L⁻¹; e a amônia total permaneceu abaixo de 0,5 mg L⁻¹ em todos os tratamentos. A salinidade e a condutividade elétrica variam conforme os tratamentos.

Os juvenis foram alimentados à vontade em duas refeições diárias (08:00 e 15:00 h) com dieta comercial extrusada. A ração foi a Nanolis 45% - Socil 0,8 mm de diâmetro, contendo 45% de proteína bruta, 8 – 9 % de extrato etéreo, 15% de matéria mineral, 3,5 – 4 % de fibra bruta, 2 - 3% de cálcio e 1 % de fósforo (dados do fabricante). Ao atingir a saciedade (em média, 30 min após a alimentação), as sobras foram coletadas e, em seguida, secas em estufa (Nova Ética/Ethink) a 55 °C para o cálculo do consumo dos animais. Foram adotados manejos de limpeza dos tanques diariamente pela manhã, para a retirada das fezes, e trocas parciais de 50% do volume de água de cada tanque a cada 15 dias, com reposição de água na mesma salinidade e temperatura de cada RAS.

Sobrevivência e desempenho zootécnico

No experimento 2, o crescimento foi determinado através de biometrias de peso com balança semianalítica (Balança analítica Ay-220–220 g × 0,0001 g Marte - Brasil) e medido com paquímetro digital (Starrett Electronic, Massachusetts - EUA). As biometrias ocorreram após 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo. Com os dados foram calculados:

- Peso final (PF) (g) = Biomassa (g) / número de animais por bacia;
- Comprimento final (CF) (cm) = Comprimento total dos animais;
- Ganho de peso (GD (g)) = Peso Final (PF) (g) – Peso Inicial (PI) (g);
- Ganho de peso diário (GPD (g dia⁻¹)) = Peso Final (W) (g) – Peso Inicial (PI) (g) / número de dias;
- Consumo total diário de ração (CD) (g) = Consumo total de ração (g) / número de animais por tanque / número de dias;
- Conversão alimentar aparente (CA) = Consumo total aparente de ração (g) / ganho de peso (g);
- Taxa de crescimento específico diária (TCE % dia⁻¹) = 100 x (lnPf – lnPi) / intervalo entre biometrias (dias), onde Pi é o peso inicial, Pf é o peso final;

A sobrevivência (%) foi determinada em cada biometria por meio de contagem direta dos indivíduos.

Análises sanguíneas

No experimento 1, após 24 h e 96 h de exposição (E) às diferentes salinidades, três peixes de cada tanque (n = 12 peixes/tratamento) foram anestesiados com 50 mg L⁻¹ de eugenol (Ferreira et al., 2021) e submetidos à coleta de sangue por punção venosa caudal com seringas heparinizadas. No

experimento 2, após 30 e 60 dias de cultivo, também foi realizada uma coleta de sangue ($n = 12$ juvenis por tratamento por coleta). Após a coleta de sangue, os peixes foram eutanasiados com solução contendo 285 mg L^{-1} de eugenol (Mattioli et al., 2017) para coleta de tecidos.

As amostras de sangue foram dispensadas em microtubos contendo anticoagulante heparina sódica (10 %) para determinação de hemoglobina por meio de kit colorimétrico comercial (Quibasa-Bioclin, Belo Horizonte, MG, Brasil) e de hematócrito pelo método do microhematócrito (Goldenfarb et al., 1971), utilizando tubos capilares. A proteína plasmática total (TPP) foi determinada com um refratômetro analógico (0 a 90 % Brix) - RHB0-90 após a ruptura do tubo de microhematócrito. Com os dados obtidos de eritrócitos, hemoglobina e hematócrito, o volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração média de hemoglobina corpuscular (CHCM) foram calculados segundo as formulações estabelecidas por Wintrobe (1934).

O restante do sangue total foi centrifugado a 4000 RPM por 10 min para separação do plasma e determinação dos parâmetros bioquímicos. Em seguida, os parâmetros bioquímicos, como glicose, triglicerídeos, colesterol, lactato, cloretos, alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), foram determinados por método colorimétrico utilizando kits comerciais (Quibasa-Bioclin, Belo Horizonte, MG, Brasil), com leituras realizadas em espectrofotômetro (Analisador Semi Automático Bioclin 100®). O lactato foi mensurado apenas na coleta realizada 60 dias após o experimento 2.

Índices

No experimento 2, após a eutanásia, foi realizada a coleta de peso do fígado e vísceras para a determinação dos índices hepatossomático (IHS) = $100 \times (\text{Peso do fígado}/\text{Peso corporal do animal})$ e viscerossomático (IVS) = $100 \times (\text{Peso das vísceras}/\text{Peso corporal do animal})$.

Análises histológicas

No experimento 1, após a coleta de sangue e a eutanásia, foi coletada uma porção de brânquias e de fígado. Amostras de tecido branquial e hepático foram então fixadas em solução de Bouin para análises histológicas, conforme a metodologia de Usman et al. (2021). Os tecidos foram removidos da solução de Bouin após 12 h, lavados em álcool a 70% e, em seguida, incluídos em parafina. As amostras foram cortadas em seções de $5 \mu\text{m}$ de espessura utilizando um micrótomo (Leica RM2125 RTS). Lâminas histológicas foram preparadas por coloração com hematoxilina e eosina (HE). Foi utilizado um microscópio óptico (Nikon Eclipse 50i) para analisar e, posteriormente, identificar e registrar a frequência de alterações morfológicas. As lâminas foram examinadas em busca de anormalidades, e o número de amostras afetadas foi registrado. As lâminas foram identificadas por códigos numéricos e analisadas aleatoriamente. Para cada repetição, duas seções histológicas não sequenciais foram avaliadas. A avaliação levou em consideração a presença ou ausência de cada alteração histológica em nível individual e a frequência de lesões foi calculada com base na proporção de indivíduos afetados em relação ao número total de indivíduos em cada tratamento. Esses dados foram posteriormente convertidos em porcentagens para categorizar a gravidade das alterações histológicas: menos de 5% foi considerado ausente (-), entre 5% e 25% leve (+), entre 25% e 50% moderado (++) e acima de 50% grave (+++). A avaliação do envolvimento tecidual seguiu os

critérios de gravidade das alterações descritos por Abdel-Moneim et al. (2012), Jahan et al. (2024) e de Oliveira et al. (2025).

O mesmo procedimento foi realizado após 60 dias de cultivo do experimento 2.

Análise estatística

Os dados dos dois experimentos foram testados quanto à homoscedasticidade e à normalidade usando os testes de Levene e de Shapiro-Wilk. Posteriormente, os dados do experimento 1 foram submetidos à ANOVA de dois fatores, considerando as concentrações salinas (S0, S3, S6, S9, S12) e os diferentes tempos de coleta (24hE e 96hE), seguida do teste post hoc de Tukey, com nível de significância de 5%. Para o experimento 2, os dados hematológicos e os índices somáticos seguiram as análises realizadas no primeiro experimento, com ANOVA de dois fatores, considerando as concentrações salinas (S0, S2, S4, S6) em relação aos diferentes tempos de cultivo (30 e 60 dias), seguida do teste post hoc de Tukey, com nível de significância de 5%. Para os dados de desempenho, foi realizada uma ANOVA, seguida do teste post hoc de Tukey, com nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS

Experimento 1.

Durante o período, foi relatada a mortalidade total dos animais em S12, que ocorreu entre 24 e 48 h de exposição à salinidade. Nos outros tratamentos não foram observadas mortalidades.

As concentrações de hemoglobina sofreram alterações para salinidades ($P = 0,0039$), diferentes tempos de coleta ($P < 0,0001$) e para as interações desses fatores ($P = 0,0001$) (**Tabela 1**). Após 24hE as maiores concentrações foram em S9. Em relação à coleta feita após 96hE concentrações mais baixas de hemoglobina foram observadas em S3, enquanto as mais elevadas em S0. Quando comparados os diferentes tempos de coleta, observamos uma redução nas concentrações de hemoglobina em S9 entre as coletas de 24hE e 96hE.

A concentração de hematócrito não apresentou diferença entre as salinidades ($P = 0,1133$), mas apresentou diferenças no tempo de coleta ($P = 0,0002$) e na interação entre esses fatores ($P = 0,0058$) (**Tabela 1**). Para a coleta de 24hE, os maiores valores foram observados em S9 e os menores em S0. Para a coleta de 96hE, os maiores valores foram para S6 e os menores para S3. Foi observada uma redução na concentração de hematócritos da coleta de 24hE para a de 96hE em S3 e S9.

O número de eritrócitos apresentou diferença somente para a salinidade ($P < 0,0001$), com menores valores em S9 (**Tabela 1**).

O VCM apresentou diferenças na salinidade ($P = 0,0009$) e nos tempos de coleta ($P = 0,0057$), mas não houve diferença na interação entre esses fatores ($P = 0,099$) (**Tabela 1**). O índice mais elevado foi observado para S9. Considerando os tempos de coleta, há uma redução de 24hE para 96hE.

O índice HCM seguiu o mesmo padrão do VCM, apresentando diferenças entre as salinidades ($P = 0,0002$) e os tempos de coleta ($P = 0,002$) mas sem diferenças para a interação dos fatores ($P = 0,1874$) (**Tabela 1**). S9 apresentou maior índice de HCM e uma queda do tempo de 24hE para o de 96hE. Os valores de CHCM, não diferiram entre as salinidades ($P = 0,1284$), os tempos de coleta ($P = 0,1675$) e a interação entre eles ($P = 0,5075$) (**Tabela 1**).

Tabela 1.

Parâmetros hematológicos (média ± erro padrão) de juvenis de P. brachypomus submetidos à exposição aguda a diferentes salinidades por um período de 96 horas.

Tempo	Salinidade (g de sal L ⁻¹)					Média	P-valor Salinidade	P-valor Tempo	P-valor Interação
	0	3	6	9	12				
Hemoglobina (g dL⁻¹)									
24hE	6,35 ± 0,21 Ba	6,43 ± 0,18 Ba	6,84 ± 0,16 Ba	8,04 ± 0,32 Aa	6,55 ± 0,25 B	6,87 ± 0,13	0,0039	<0,0001	0,0001
96hE	6,45 ± 0,17 Aa	5,75 ± 0,18 Ba	6,40 ± 0,28 Aba	5,92 ± 0,30 ABb		6,14 ± 0,12			
Média	6,41 ± 0,13	6,10 ± 0,14	6,62 ± 0,16	6,98 ± 0,31					
Hematócrito (%)									
24hE	22,58 ± 0,98 Ca	24,0 ± 0,89 BCa	23,75 ± 0,76 BCa	27,16 ± 1,14 Aa	25,83 ± 1,33 AB	24,67 ± 0,60	0,1133	0,0002	0,0058
96hE	22,09 ± 0,73 ABa	20,36 ± 1,13 Bb	23,58 ± 0,67 Aa	21,00 ± 0,75 ABb		21,78 ± 0,44			
Média	22,34 ± 0,60	22,18 ± 0,80	23,66 ± 0,49	24,08 ± 0,92					
Eritrócitos (x 10⁶ µL⁻¹)									
24hE	0,39 ± 0,02	0,35 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,29 ± 0,03	0,34 ± 0,01 A	<0,0001	0,1264	0,8226
96hE	0,39 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,32 ± 0,01		0,37 ± 0,01 A			
Média	0,39 ± 0,01 a	0,37 ± 0,01 a	0,39 ± 0,01 a	0,32 ± 0,01 b					
VCM (fL⁻¹)									
24hE	555,7 ± 29,33	684,0 ± 46,14	639,3 ± 24,47	817,8 ± 55,92	885,0 ± 66,70	709,9 ± 25,36 A	0,0009	0,0057	0,099
96hE	579,2 ± 13,43	534,7 ± 37,91	585,6 ± 31,37	643,6 ± 31,56		587,0 ± 18,19 B			
Média	561,9 ± 21,65 b	609,3 ± 33,38 b	612,5 ± 20,25 b	726,5 ± 36,19 a					
HCM (pg⁻¹)									
24hE	165,98 ± 10,91	185,85 ± 12,49	184,73 ± 6,65	239,30 ± 12,33	216,51 ± 21,79	196,19 ± 6,44 A	0,0002	0,002	0,1874
96hE	172,74 ± 15,28	151,78 ± 11,26	158,77 ± 9,37	184,71 ± 9,02		165,91 ± 5,57 B			
Média	168,10 ± 8,4 b	169,56 ± 9,02 b	171,75 ± 6,23 b	210,71 ± 9,54 a					
CHCM (g dL⁻¹)									
24hE	29,98 ± 1,27	26,92 ± 0,96	29,17 ± 1,16	29,99 ± 1,36	26,53 ± 1,11	28,55 ± 0,55 A	0,1284	0,1675	0,5075
96hE	29,40 ± 1,43	27,54 ± 0,59	27,24 ± 1,06	27,11 ± 1,54		27,81 ± 0,61 A			
Média	29,69 ± 0,94	27,21 ± 0,56	28,20 ± 0,79	28,61 ± 1,04					

* Letras maiúsculas na mesma linha comparam os tempos de coleta dentro de cada salinidade, e letras minúsculas na mesma coluna comparam as salinidades dentro de cada tempo de coleta, pelo teste de Tukey, com 5% de significância. Quando a interação não foi significativa, as letras nas médias marginais indicam as comparações dos efeitos principais: maiúsculas para tempos de coleta e minúsculas para os níveis de salinidade pelo teste de Tukey com 5% de significância. VCM - volume corpuscular médio, HCM - hemoglobina corpuscular média, CHCM - concentração de hemoglobina corpuscular média.

Tabela 2.

Parâmetros bioquímicos sanguíneos (média ± erro padrão) de juvenis de *P. brachypomus* submetidos a exposição aguda à diferentes salinidades por um período de 96 horas.

Tempo	Salinidade (g de sal L ⁻¹)					Média	P-valor Salinidade	P-valor Tempo	P-valor Interação
	0	3	6	9	12				
Glicose (mg dL⁻¹)									
24hE	68,07 ± 2,50 Bb	63,34 ± 2,74 Bb	83,66 ± 3,25 Ab	88,26 ± 3,08 6 Ab	28,42 ± 3,94 C	66,53 ± 3,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001
96hE	110,6 ± 0,41 Aa	112,2 ± 0,53 Aa	111,0 ± 0,57 Aa	108,5 ± 0,64 Aa		110,6 ± 0,33			
Média	89,33 ± 4,60	87,78 ± 5,27	97,32 ± 3,27	99,81 ± 2,60					
Colesterol (mg dL⁻¹)									
24hE	90,18 ± 2,33 Bb	100,5 ± 2,74 ABb	106,9 ± 4,17 Ab	99,72 ± 3,79 ABa	59,64 ± 3,88 C	91,39 ± 2,64	<0,0001	<0,0001	0,0039
96hE	117,5 ± 4,71 Ba	133,3 ± 3,95 Aa	124,0 ± 3,98 ABa	101,8 ± 7,93 Ca		119,1 ± 3,13			
Média	103,2 ± 3,83	116,2 ± 4,18	115,1 ± 3,36	100,7 ± 4,18					
Triglicerídeos (mg dL⁻¹)									
24hE	148,4 ± 14,86	102,6 ± 21,39	138,0 ± 23,43	111,7 ± 13,37	144,4 ± 28,30	129,1 ± 3,60 A	<0,0001	<0,0001	0,3791
96hE	102,1 ± 18,16	73,72 ± 21,68	97,42 ± 25,72	84,31 ± 21,81		88,94 ± 3,54 B			
Média	125,3 ± 6,12 a	87,52 ± 5,35 b	118,6 ± 6,60 a	98,00 ± 4,60 b					
Proteínas (g dL⁻¹)									
24hE	4,30 ± 0,06	4,40 ± 0,06	4,53 ± 0,06	4,63 ± 0,06	4,16 ± 0,09	4,40 ± 0,03 A	0,0194	0,7333	0,1911
96hE	4,35 ± 0,05	4,46 ± 0,06	4,58 ± 0,10	4,40 ± 0,11		4,45 ± 0,04 A			
Média	4,33 ± 0,03 b	4,42 ± 0,04 ab	4,55 ± 0,05 a	4,52 ± 0,06 ab					
Lactato (mg dL⁻¹)									
24hE	34,33 ± 1,53 Ba	29,16 ± 205 Ca	30,33 ± 2,52 BCa	25,91 ± 1,62 Ca	176,4 ± 2,19 A	41,41 ± 5,63	<0,0001	<0,0001	0,0059
96hE	9,46 ± 1,89 Ab	10,38 ± 1,88 Ab	11,89 ± 1,50 Ab	14,90 ± 2,09 Ab		11,76 ± 0,96			
Média	23,67 ± 2,98	20,17 ± 2,42	21,55 ± 2,52	20,64 ± 1,73					
Cloretos (mEq L⁻¹)									
24hE	166,9 ± 4,11	160,5 ± 2,54	160,2 ± 5,05	167,4 ± 7,11	220,9 ± 2,57	176,0 ± 3,73 A	<0,0001	0,0022	0,6311
96hE	154,4 ± 4,82	150,7 ± 5,28	147,1 ± 3,12	164,6 ± 3,28		154,1 ± 2,25 B			
Média	160,4 ± 3,39 ab	155,8 ± 2,97 ab	153,4 ± 3,16 b	165,9 ± 3,57 a					
ALT (U L⁻¹)									
24hE	9,18 ± 0,69 Aa	7,90 ± 0,85 Aa	8,33 ± 0,46 Aa	9,27 ± 0,72 Aa	8,66 ± 0,62 A	8,66 ± 0,30	0,7787	<0,0001	0,0021
96hE	5,36 ± 0,60 Bb	7,54 ± 0,60 Aa	6,00 ± 0,21 ABb	5,40 ± 0,49 Bb		6,09 ± 0,27			
Média	7,27 ± 0,61	7,72 ± 0,51	7,16 ± 0,34	7,42 ± 0,61					

AST (U L⁻¹)

24hE	172,8 ± 19,88	169,9 ± 34,09	170,6 ± 30,49	169,5 ± 23,84	191,1 ± 8,43	174,6 ± 12,56 A	0,6647	0,4309	0,765
96hE	177,9 ± 31,57	160,5 ± 28,84	185,2 ± 17,65	217,5 ± 19,40		185,4 ± 13,67 A			
Média	175,0 ± 17,19 a	165,2 ± 21,76 a	178,9 ± 16,12 a	191,3 ± 20,25 a					

* Letras maiúsculas na mesma linha comparam os tempos de coleta dentro de cada salinidade, e letras minúsculas na mesma coluna comparam as salinidades dentro de cada tempo de coleta, pelo teste de Tukey, com 5% de significância. Quando a interação não foi significativa, as letras nas médias marginais indicam as comparações dos efeitos principais: maiúsculas para tempos de coleta, e minúsculas para os níveis de salinidade, pelo teste de Tukey, com 5% de significância. ALT - alanina aminotransferase, AST - aspartato aminotransferase.

Para os níveis de glicemia, foram observadas diferenças para salinidade ($P < 0,0001$), tempo de coleta ($P < 0,0001$) e a interação desses fatores ($P < 0,0001$) (**Tabela 2**). Após 24hE, S6 e S9 apresentaram níveis mais elevados, enquanto os menores foram em S12. Após 96hE foi observado aumento dos níveis de glicemia em relação a 24hE para todos os tratamentos.

O colesterol apresentou diferenças entre as salinidades ($P < 0,0001$), os diferentes tempos de coleta ($P < 0,0001$) e a interação entre esses fatores ($P = 0,0039$) (Tabela 2). Após 24hE, níveis mais altos de colesterol foram observados em S6 e níveis menores em S12. Após 96hE, os níveis de colesterol mais elevados foram para S3 e os mais baixos em S9. Em relação ao tempo de coleta, observou-se aumento em S0, S3 e S6 após 96hE.

Foram observadas diferenças para salinidades ($P < 0,0001$) e tempo de coleta ($P < 0,0001$), mas sem efeito da interação para os níveis de triglicerídeos ($P = 0,3791$) (**Tabela 2**). Níveis mais altos foram registrados para S0 e S6. Em relação ao tempo de coleta, foi maior após 24hE.

A proteína total apresentou diferença em relação às salinidades ($P = 0,0194$), mas sem diferença em relação ao tempo de coleta ($P = 0,7333$) e à interação dos fatores ($P = 0,1911$). Níveis mais baixos foram observados em S0.

Os níveis de lactato sofreram alterações em relação à salinidade ($P < 0,0001$), aos tempos de coleta ($P < 0,0001$) e a interação entre esses fatores ($P = 0,0059$) (**Tabela 2**). Após 24hE, níveis mais baixos de lactato foram observados em S9 e S3 e os mais altos em S12, enquanto após 96hE não foram observadas diferenças. Comparando os tempos de coleta, 96hR apresentou os menores valores para as diferentes salinidades.

Os níveis de cloretos apresentaram diferenças entre as salinidades ($P < 0,0001$), tempos de coleta ($P = 0,0022$), mas sem diferenças na interação ($P = 0,6311$) (**Tabela 2**). Para o tempo de coleta, os maiores valores foram após 24hE. Em relação às salinidades, o maior valor foi para S9 e o menor para S6.

A enzima ALT apresentou diferenças entre os tempos de coleta ($P < 0,0001$) e interação entre esses fatores ($P = 0,0021$) (**Tabela 2**). Os níveis de ALT permaneceram inalterados entre as diferentes salinidades testadas após 24hE. Porém, após 96hE, o maior nível foi para S3. A enzima AST não apresentou alterações (**Tabela 2**).

Análises histológicas

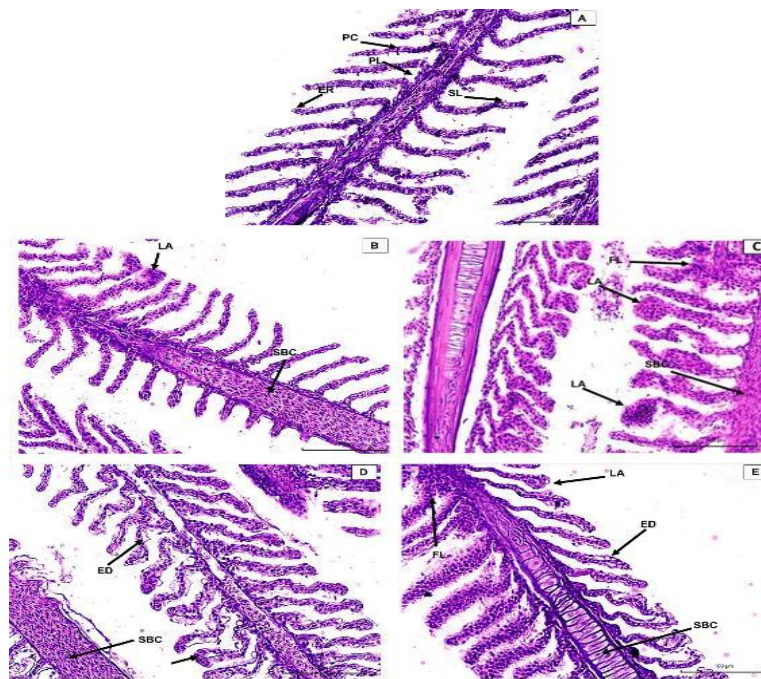


Figura 1. Alterações histopatológicas nas brânquias de juvenis de *P. brachypomus* após 24hE de exposição a diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 3 g de sal L^{-1} ; [C] 6 g de sal L^{-1} ; [D] 9 g de sal L^{-1} ; [E] 12 g de sal L^{-1} . Lamelas primárias, PL; Lamelas secundárias, SL; Células pilares, PC; Eritrócitos, ER; Descolamento epitelial, ED; Aneurisma lamelar, LA; Congestão sanguínea grave, SBC; Fusão lamelar, FL

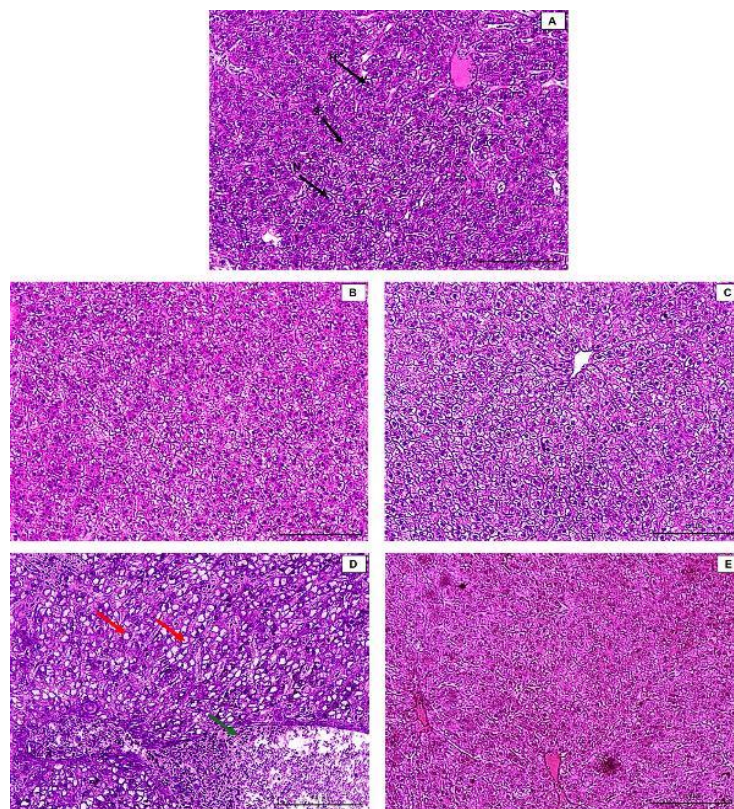


Figura 2. Alterações histopatológicas no fígado de juvenis de *P. brachypomus* após 24hE de exposição a diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 3 g de sal L^{-1} ; [C] 6 g de sal L^{-1} ; [D] 9 g de sal L^{-1} ; [E] 12 g de sal L^{-1} . Hepatócitos, H; Núcleos, N; Sinusoides, S; Vaso sanguíneo congestionado (seta verde); Vacuolização (seta vermelha)

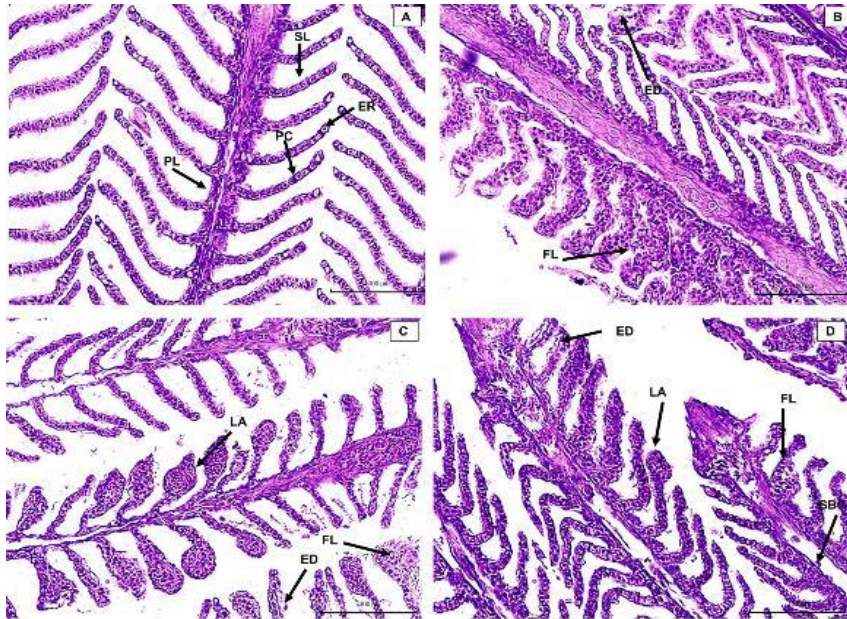


Figura 3. Alterações histopatológicas nas brânquias de juvenis de *P. brachypomus* após 96hE de exposição a diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 3 g de sal L^{-1} ; [C] 6 g de sal L^{-1} ; [D] 9 g de sal L^{-1} ; Lamelas primárias, PL; Lamelas secundárias, SL; Células pilares, PC; Eritrócitos, ER; Descolamento epitelial, ED; Aneurisma lamelar, LA; Congestão sanguínea grave, SBC; Fusão lamelar, FL

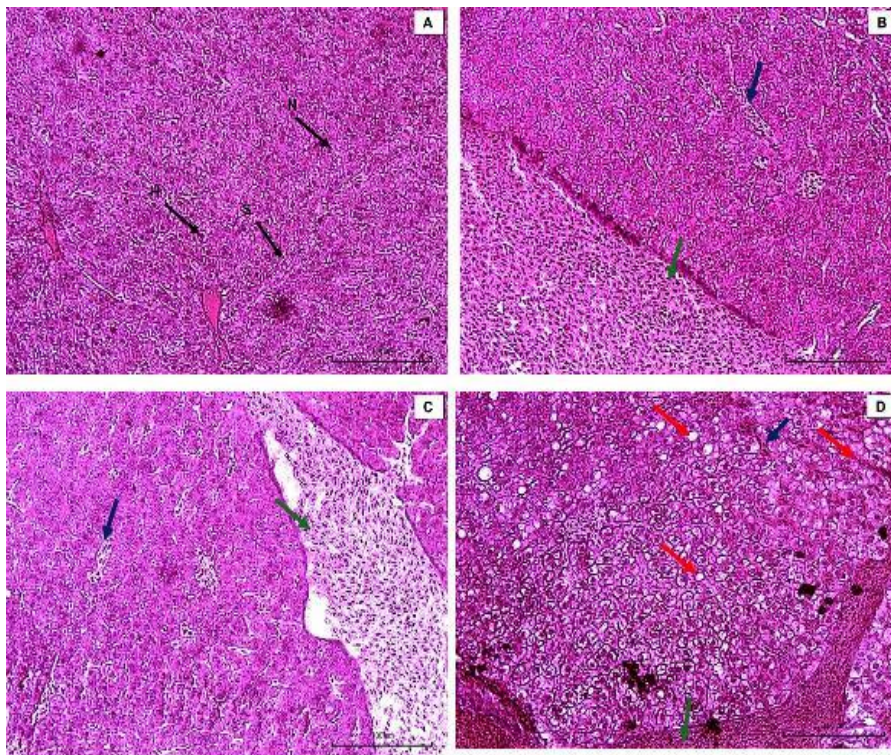


Figura 4. Alterações histopatológicas no fígado de juvenis de *P. brachypomus* após 96hE de exposição a diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 3 g de sal L^{-1} ; [C] 6 g de sal L^{-1} ; [D] 9 g de sal L^{-1} . Hepatócitos, H; Núcleos, N; Sinusoides, S; Vaso sanguíneo congestionado (seta verde); dilatação sinusoidal (seta azul); Vacuolização (seta vermelha)

Tabela 3.

Alterações histopatológicas em juvenis de P. brachypomus após exposição aguda a diferentes salinidades por 96 horas.

Órgão	Alterações	Salinidade (g de sal L ⁻¹)						
		0	3	6	9	12		
24hE	Fígado	Dilatação sinusoidal	-	-	-	-	-	
		Vacuolização	-	-	-	++	-	
		Vaso sanguíneo congestionado	-	-	-	+	-	
		Congestão sinusoidal	-	-	-	-	-	
		Núcleos picnóticos	-	-	-	-	-	
		Hepatócitos degenerados	-	-	-	-	-	
		Necrose	-	-	-	-	-	
24hE	Brânquias	Hiperplasia do epitélio branquial	-	-	-	-	-	
		Deslocamento epitelial	-	-	-	+	+++	
		Fusão lamelar	-	+	+	++	+++	
		Congestão sanguínea grave	-	++	++	++	+++	
		Aneurisma lamelar	-	++	++	++	+++	
		Ruptura de células epiteliais com hemorragia	-	-	-	-	-	
		Ruptura do epitélio lamelar	-	-	-	-	-	
96hE	Fígado	Necrose	-	-	-	-	-	
		Dilatação sinusoidal	-	++	++	++	*	
		Vacuolização	-	-	-	++	*	
		Vaso sanguíneo congestionado	-	+	++	++	*	
		Congestão sinusoidal	-	-	-	-	*	
		Núcleos picnóticos	-	-	-	-	*	
		Hepatócitos degenerados	-	-	-	-	*	
	Necrose	-	-	-	-	*		
	96hE	Brânquias	Hiperplasia do epitélio branquial	-	-	-	-	*
			Deslocamento epitelial	-	+	+	+++	*
			Fusão lamelar	-	++	+++	+++	*
			Congestão sanguínea grave	-	++	+++	+++	*
			Aneurisma lamelar	-	-	++	+++	*
			Ruptura de células epiteliais com hemorragia	-	-	-	-	*
Ruptura do epitélio lamelar			-	-	-	-	*	
Necrose	-	-	-	-	*			

* A histopatologia registrada em <5% dos casos foi relatada como ausente (-), de 5 a 25% como fraca (+), de >25 a 50% como moderada (++) e >50% como grave (+++). * Os animais não sobreviveram ao período de exposição.

A intensidade das alterações histopatológicas é apresentada na Tabela 3. Em relação à análise do tecido branquial, não foram observadas alterações no grupo controle S0 para os diferentes tempos de coleta.

Foi observado, em 24hE, deslocamento epitelial com intensidade leve em S9 (**Figura. 1D**) e com intensidade grave em S12 (**Figura. 1E**). Essa mesma alteração foi observada após 96hE em S3 (**Figura. 3B**), com intensidade leve; em S6 (**Figura. 3C**), com intensidade leve; e em S9 (**Figura. 3D**), com intensidade grave.

Foi observada fusão das lamelas branquiais em E24 h para S3 (**Figura. 1B**), S6 com intensidade leve (**Figura. 1C**), S9 com intensidade moderada (**Figura. 1D**) e S12 com intensidade grave (**Figura. 1E**). Para a coleta de 96hE, foi observada fusão lamelar na salinidade S3 com intensidade moderada (**Figura. 3B**) e intensidade grave nos tratamentos S6 (**Figura. 3C**) e S9 (**Figura. 3D**).

Para a coleta de 24hE, foi observada congestão sanguínea severa em S3 (**Figura. 1B**), S6 (**Figura. 1C**) e S9 com intensidade moderada (**Figura. 1D**). Para S12, a intensidade dessa alteração foi considerada grave nesse tempo de coleta (**Figura. 1E**). Para 96hE, congestão sanguínea severa foi observada em intensidade moderada em S3 (**Figura. 3B**) e em intensidade grave em S6 (**Figura. 3C**) e S9 (**Figura. 3D**).

Em 24hE, foram observados aneurismas lamelares em S3 (**Figura. 1B**) e S6 (**Figura. 1C**). Em S9, foi verificada intensidade moderada (**Figura. 1D**) e intensidade grave em S12 (**Figura. 1E**). Para 96hE, foi observado aneurisma lamelar com intensidade moderada em S6 (**Figura. 3C**) e com intensidade grave em S9 (**Figura. 3D**).

As demais alterações analisadas no tecido branquial não foram observadas ou apresentaram intensidade muito baixa nas diferentes salinidades testadas em ambos os tempos de coleta.

Em relação ao tecido hepático, não foram observadas alterações histopatológicas em S0, em ambos os tempos de coleta.

Para coleta de 24hE, não foi observada dilatação sinusoidal no fígado. Já para 96hE, S3 (**Figura 4B**), S6 (**Figura 4C**) e S9 (**Figura 4D**) apresentaram essa alteração classificada como moderada.

Foi observada vacuolização do tecido hepático em S9 para coleta de 24hE (**Figura. 2D**) e 96hE (**Figura. 4D**). Em ambos os tempos, o grau de intensidade.

Congestão de vasos sanguíneos foi observada em 24hE para S9 (**Figura 2D**) com intensidade leve. Para 96hE essa alteração foi encontrada com intensidade leve em S3 (**Figura 4B**) e S6 (**Figura 4C**) e com intensidade moderada em S9 (**Figura 4D**).

Outras alterações histopatológicas relevantes não foram observadas no tecido hepático dos animais submetidos aos diferentes tratamentos em nenhum dos tempos de coleta.

Experimento 2.

As concentrações de hemoglobina só apresentaram diferença para os dias de cultivo ($P < 0,0001$) com maiores valores após 60 dias (**Tabela 4**).

Para hematócritos houve diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$), dias de cultivo ($P < 0,0001$) e interação entre os fatores ($P = 0,0001$) (**Tabela 4**). Após 30 dias, os maiores valores foram para S2. Após 60 dias, as maiores concentrações foram para S0. Foi observado um aumento nas concentrações de hematócritos em S0, S4 e S6 após 60 dias.

O número de eritrócitos seguiu o mesmo padrão, com diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$), dias de cultivo ($P < 0,0001$) e interação entre os fatores ($P < 0,0001$) (**Tabela 4**). Menores valores de eritrócitos foram observados em S0 após 30 dias. Após 60 dias, os menores valores foram para S6 e os maiores para S4. Foi observado um aumento no número de eritrócitos após 60 em relação a S0, S2 e S4.

O VCM apresentou diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$) e interação entre os fatores ($P < 0,0001$) (**Tabela 4**). Índices mais elevados foram observados em S0 e S2 após 30 dias e em S0 e S6 após 60 dias. Foi observado um aumento do VCM em S6 e uma redução em S2 após 60 dias.

O HCM apresentou efeito somente da interação entre os fatores ($P = 0,0016$) (**Tabela 4**). Não foi observada diferença entre as salinidades após 30 dias. Após 60 dias, maiores valores de HCM foram observados em S6. Também foi observado aumento nos valores de HMC em S6 e diminuição em S2 após 60 dias.

Os valores de CHCM apresentaram diferença somente para a salinidade ($P = 0,0065$) (**Tabela 4**) com maiores concentrações para S4.

A proteína total apresentou diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$) e os dias de cultivo ($P < 0,0001$) (**Tabela 5**), com maiores valores para S6 e após 30 dias de cultivo.

Os valores de glicose seguiram o mesmo padrão com diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$) e os dias de cultivo ($P = 0,0028$) (**Tabela 5**). Maiores índices glicêmicos foram observados em S6 e após 60 dias.

Para o colesterol foram observadas diferenças entre as salinidades ($P < 0,0001$) e interação entre os fatores ($P < 0,0001$) (**Tabela 5**). Os maiores valores foram observados em S6 em ambos os tempos de coleta, sendo que após 30 dias o menor valor foi em S2. Em S4, houve uma redução; em S6, houve um aumento após 60 dias de cultivo

Para triglicerídeos houve diferença entre os tempos ($P < 0,0001$) e as salinidades ($P < 0,0001$) (**Tabela 5**). Maiores valores foram encontrados em S0 e após 30 dias.

A concentração de cloretos apresentou diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$), tempos de cultivo ($P < 0,0001$) e interação entre os fatores ($P < 0,0001$) (**Tabela 5**). Após 30 dias, as maiores concentrações foram observadas para S6. Após 60 dias, as maiores concentrações foram para S0. Foi observada diminuição nas concentrações de cloreto em todas as salinidades após 60 dias.

A enzima ALT apresentou diferença somente entre os dias de cultivo ($P < 0,0001$) com maiores valores após 30 dias (**Tabela 5**).

A enzima AST apresentou diferença entre as salinidades ($P = 0,0031$), os dias de cultivo ($P < 0,0001$) e a interação entre os fatores ($P = 0,0105$) (**Tabela 5**). Os maiores valores foram observados em S2 e S6 após 30 dias, enquanto após 60 dias não houve diferença. Houve uma diminuição da atividade dessa enzima em todas as salinidades após 30 dias.

O IVS não apresentou diferença entre os dias de cultivo ($P = 0,0842$), mas foram observadas diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$) e interação entre esses fatores ($P = 0,0426$) (**Tabela 6**). Os maiores valores ocorreram em S4 e S6 após 30 dias. Após 60 dias, o maior valor foi para S6. Um aumento do IVS foi observado apenas em S6 após 60 dias.

O IHS apresentou diferença entre as salinidades ($P < 0,0001$) e os dias de cultivo ($P < 0,0001$) (**Tabela 6**). Os maiores valores foram observados no S6 e ocorreram após 30 dias.

Tabela 4.

Parâmetros hematológicos (média ± erro padrão) de juvenis de P. brachypomus mantidos em diferentes salinidades após 30 e 60 dias de cultivo.

Dias de cultivo	Salinidade (g de sal L ⁻¹)				Média	P-valor Salinidade	P-valor Dias de cultivo	P-valor Interação
	0	2	4	6				
Hemoglobina (g dL⁻¹)						0,253	<0,0001	0,0501
30 dias	6,67 ± 0,56	7,98 ± 1,34	7,36 ± 1,17	6,76 ± 1,12	7,22 ± 1,19 B			
60 dias	8,50 ± 1,28	8,09 ± 0,36	8,54 ± 0,87	8,26 ± 1,21	8,36 ± 1,00 A			
Média	7,62 ± 0,28 a	8,03 ± 0,21 a	7,95 ± 0,23 a	7,54 ± 0,28 a				
Hematócrito (%)						<0,0001	<0,0001	0,0001
30 dias	23,27 ± 3,10 Bb	27,09 ± 2,58 Aa	22,45 ± 1,36 Bb	22,30 ± 2,05 Bb	23,81 ± 3,02			
60 dias	30,25 ± 1,13 Aa	27,72 ± 2,49 Ba	26,09 ± 2,34 Ba	26,25 ± 1,38 Ba	27,73 ± 2,55			
Média	26,91 ± 0,87	27,40 ± 0,53	24,27 ± 0,56	24,05 ± 0,62				
Eritrócitos (x 10⁶ µL⁻¹)						<0,0001	<0,0001	<0,0001
30 dias	0,97 ± 0,11 Bb	1,22 ± 0,10 Ab	1,23 ± 0,11 Ab	1,14 ± 0,09 Aa	1,14 ± 0,14			
60 dias	1,40 ± 0,08 Ba	1,43 ± 0,12 ABa	1,50 ± 0,11 Aa	1,17 ± 0,09 Ca	1,38 ± 0,16			
Média	1,18 ± 0,05	1,33 ± 0,03	1,37 ± 0,03	1,16 ± 0,02				
VCM (fL⁻¹)						<0,0001	0,5933	<0,0001
30 dias	229,7 ± 31,96 Aa	225,1 ± 29,76 Aa	186,5 ± 21,66 Ba	181,1 ± 9,40 Bb	207,6 ± 32,91			
60 dias	215,8 ± 15,59 Aa	193,5 ± 22,21 Bb	172,6 ± 20,05 Ca	229,0 ± 0,09 Aa	200,6 ± 28,04			
Média	222,4 ± 5,74	209,3 ± 6,77	179,2 ± 4,92	205,0 ± 7,52				
HCM (pg⁻¹)						0,1246	0,3424	0,0016
30 dias	68,02 ± 6,87 Aa	67,03 ± 13,26 Aa	59,28 ± 11,33 Aa	58,79 ± 12,39 Ab	63,26 ± 11,76			
60 dias	60,03 ± 7,19 Ba	54,96 ± 5,36 Bb	57,12 ± 8,53 Ba	72,08 ± 12,93 Aa	61,26 ± 10,99			
Média	63,81 ± 1,83	61,95 ± 2,77	58,15 ± 2,13	65,44 ± 3,14				
CHCM (g dL⁻¹)						0,0065	0,6266	0,7877
30 dias	29,95 ± 4,39	29,66 ± 5,05	33,82 ± 5,17	30,94 ± 4,78	31,10 ± 4,98			
60 dias	28,07 ± 3,91	29,16 ± 3,24	33,10 ± 5,50	32,06 ± 3,92	30,47 ± 4,62			
Média	28,97 ± 0,86 b	29,42 ± 0,91 b	33,46 ± 1,11 a	31,47 ± 1,04 ab				

* Letras maiúsculas na mesma linha comparam os tempos de coleta dentro de cada salinidade, e letras minúsculas na mesma coluna comparam as salinidades dentro de cada tempo de coleta, pelo teste de Tukey com 5% de significância. Quando a interação não foi significativa, as letras nas médias marginais indicam as comparações dos efeitos principais: maiúsculas para os tempos de coleta e minúsculas para os níveis de salinidade, pelo teste de Tukey com 5% de significância. VCM - volume corpuscular médio, HCM - hemoglobina corpuscular média, CHCM - concentração de hemoglobina corpuscular média.

Tabela 5.

Parâmetros bioquímicos sanguíneos (média ± erro padrão) de juvenis de P. brachypomus mantidos em diferentes salinidades após 30 e 60 dias de cultivo.

Dias de cultivo	Salinidade (g de sal L ⁻¹)				Média	P-valor Salinidade	P-valor Dias de cultivo	P-valor Interação
	0	2	4	6				
Proteína total (g dL⁻¹)						<0,0001	<0,0001	0,0641
30 dias	5,02 ± 0,19	4,69 ± 0,16	4,91 ± 0,28	5,32 ± 0,26	4,98 ± 0,32 A			
60 dias	4,53 ± 0,35	4,30 ± 0,27	4,36 ± 0,36	5,24 ± 0,34	4,56 ± 0,47 B			
Média	4,75 ± 0,08 b	4,48 ± 0,06 c	4,60 ± 0,09 bc	5,28 ± 0,06 a				
Glicose (mg dL⁻¹)						<0,0001	0,0028	0,7802
30 dias	65,01 ± 7,38	64,31 ± 6,09	63,60 ± 9,37	71,80 ± 6,97	66,42 ± 8,08 B			
60 dias	68,48 ± 6,93	67,71 ± 4,25	67,85 ± 5,98	78,85 ± 6,09	70,98 ± 7,52 A			
Média	66,92 ± 1,60 b	66,01 ± 1,20 b	65,73 ± 1,70 b	75,32 ± 1,49 a				
Colesterol (mg dL⁻¹)						<0,0001	0,3861	<0,0001
30 dias	83,55 ± 8,52 Ca	70,86 ± 14,12 Da	104,12 ± 13,63 Ba	112,66 ± 15,52 Ab	92,56 ± 21,08			
60 dias	77,92 ± 10,84 Ba	78,76 ± 10,40 Ba	82,74 ± 10,24 Bb	140,74 ± 7,83 Aa	92,16 ± 26,48			
Média	81,14 ± 2,12	74,64 ± 2,68	92,97 ± 3,33	123,89 ± 4,25				
Triglicerídeos (mg dL⁻¹)						<0,0001	<0,0001	0,1809
30 dias	319,95 ± 75,65	217,73 ± 84,50	247,92 ± 61,14	260,31 ± 49,21	261,48 ± 76,39 A			
60 dias	206,07 ± 52,88	145,98 ± 32,22	140,69 ± 20,75	211,09 ± 32,55	175,18 ± 48,54 B			
Média	260,53 ± 17,91 a	180,30 ± 14,90 c	194,31 ± 15,07 bc	236,87 ± 10,51 ab				
Cloretos (mEq L⁻¹)						<0,0001	<0,0001	<0,0001
30 dias	159,2 ± 17,55 Ca	171,4 ± 7,94 Ba	175,1 ± 17,97 Ba	199,1 ± 8,16 Aa	173,5 ± 19,27			
60 dias	142,1 ± 9,53 Ab	126,9 ± 11,09 Bb	133,6 ± 11,62 ABb	135,8 ± 12,86 ABb	134,6 ± 12,25			
Média	151,0 ± 3,43	149,1 ± 5,25	151,4 ± 5,54	159,1 ± 7,63				
ALT (U L⁻¹)						0,0855	<0,0001	0,1138
30 dias	17,16 ± 4,91	17,63 ± 4,03	13,66 ± 4,22	18,70 ± 2,31	16,68 ± 4,35 A			
60 dias	9,30 ± 3,09	10,27 ± 2,53	9,16 ± 4,60	8,81 ± 2,18	9,38 ± 3,21 B			
Média	13,59 ± 1,22 a	13,95 ± 1,06 a	11,41 ± 0,99 a	13,52 ± 1,20 a				
AST (U L⁻¹)						0,0031	<0,0001	0,0105
30 dias	57,25 ± 24,13 Ba	98,25 ± 26,48 Aa	65,75 ± 24,77 Ba	91,45 ± 22,46 Aa	79,81 ± 29,11			
60 dias	52,62 ± 22,02 Aa	50,37 ± 10,91 Ab	35,66 ± 6,65 Ab	45,54 ± 11,07 Ab	46,63 ± 14,58			
Média	54,93 ± 5,61	79,10 ± 7,17	55,72 ± 5,88	68,50 ± 6,21				

* Letras maiúsculas na mesma linha comparam os tempos de coleta dentro de cada salinidade, e letras minúsculas na mesma coluna comparam as salinidades dentro de cada tempo de coleta, pelo teste de Tukey com 5% de significância. Quando a interação não foi significativa, as letras nas médias marginais indicam as comparações dos efeitos principais: maiúsculas para os tempos de coleta e minúsculas para os níveis de salinidade, pelo teste de Tukey com 5% de significância. ALT - alanina aminotransferase, AST - aspartato aminotransferase.

Tabela 6.

Índices somáticos (média ± erro padrão) de juvenis de P. brachypomus mantidos em diferentes salinidades após 30 e 60 dias de cultivo.

Dias de cultivo	Salinidade (g de sal L ⁻¹)				Média	P-valor Salinidade	P-valor Dias de cultivo	P-valor Interação
	0	2	4	6				
IVS (%)						<0,0001	0,0842	0,0426
30 dias	6,78 ± 0,69 Ba	6,81 ± 0,62 Ba	7,78 ± 0,84 Aa	7,88 ± 0,50 Ab	7,31 ± 0,84			
60 dias	7,00 ± 1,05 Ba	6,88 ± 1,11 Ba	7,57 ± 0,81 Ba	9,11 ± 1,19 Aa	7,65 ± 1,36			
Média	6,89 ± 0,18	6,84 ± 0,18	7,68 ± 0,17	7,68 ± 0,17				
IHS (%)						<0,0001	<0,0001	0,1916
30 dias	1,76 ± 0,19	1,53 ± 0,23	1,93 ± 0,33	2,10 ± 0,36	1,83 ± 0,35 A			
60 dias	1,24 ± 0,28	1,27 ± 0,22	1,39 ± 0,30	1,78 ± 0,17	1,43 ± 0,32 B			
Média	1,51 ± 0,07 bc	1,40 ± 0,05 c	1,65 ± 0,08 b	1,94 ± 0,06 a				

* Letras maiúsculas na mesma linha comparam os tempos de coleta dentro de cada salinidade, e letras minúsculas na mesma coluna comparam as salinidades dentro de cada tempo de coleta, pelo teste de Tukey com 5% de significância. Quando a interação não foi significativa, as letras nas médias marginais indicam as comparações dos efeitos principais: maiúsculas para os tempos de coleta e minúsculas para os níveis de salinidade, pelo teste de Tukey com 5% de significância. IVS - índice viscerossomático, IHS - índice hepatossomático.

A intensidade das alterações histopatológicas são apresentadas na **(Tabela 7)**. Alterações histopatológicas foram observadas no fígado e nas brânquias de juvenis de *P. brachypomus* a partir da salinidade S2. O tecido branquial dos animais cultivados nas salinidades S2 **(Figura 5B)**, S4 **(Figura 5C)** e S6 **(Figura 5D)** apresentou deslocamento epitelial. Essa alteração foi observada em S6 com grau de intensidade mais elevado. Foi observada fusão das lamelas branquiais em S4, com intensidade leve **(Figura. 5C)**, e em S6, com intensidade grave **(Figura. 5D)**. S2 apresentou aneurisma lamelar com intensidade moderada **(Figura. 5B)** e intensidade grave em S4 **(Figura. 5C)** e S6 **(Figura. 5D)**.

No tecido hepático, observou-se congestão dos vasos sanguíneos, com incidência leve em S4 **(Figura. 6C)** e em S6 **(Figura. 6D)**.

As demais alterações analisadas não foram encontradas ou não apresentaram incidência suficiente para classificação.

Análises histológicas

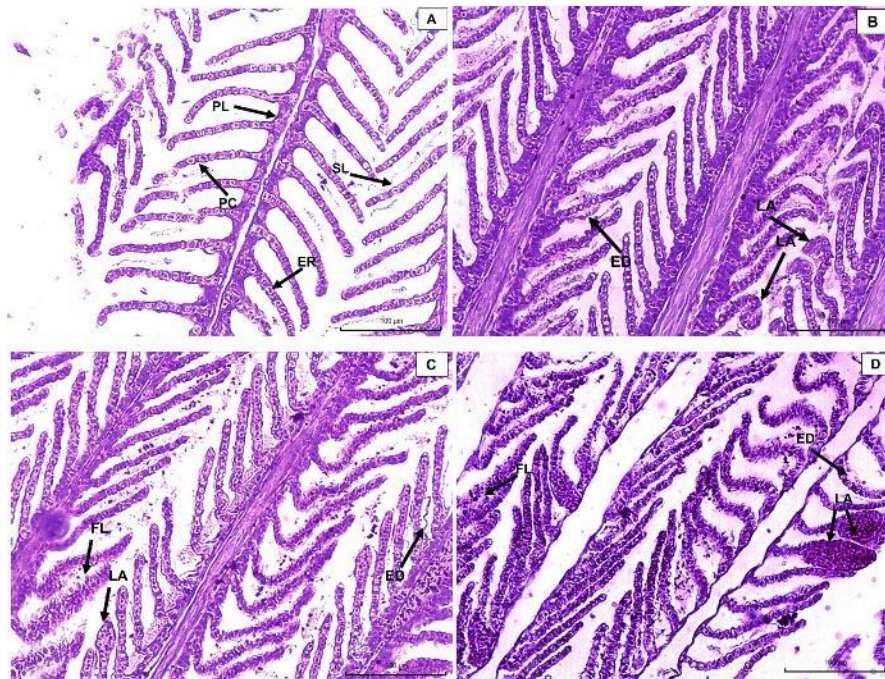


Figura 5. Alterações histológicas nas brânquias de juvenis de *P. brachypomus* após 60 dias de cultivo em diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 2 g de sal L^{-1} ; [C] 4 g de sal L^{-1} ; [D] 6 g de sal L^{-1} . Lâminas primárias, PL; Lâminas secundárias, SL; Células pilares, PC; Eritrócitos, ER; Descolamento epitelial, ED; Aneurisma lamelar, LA; Fusão lamelar, FL.

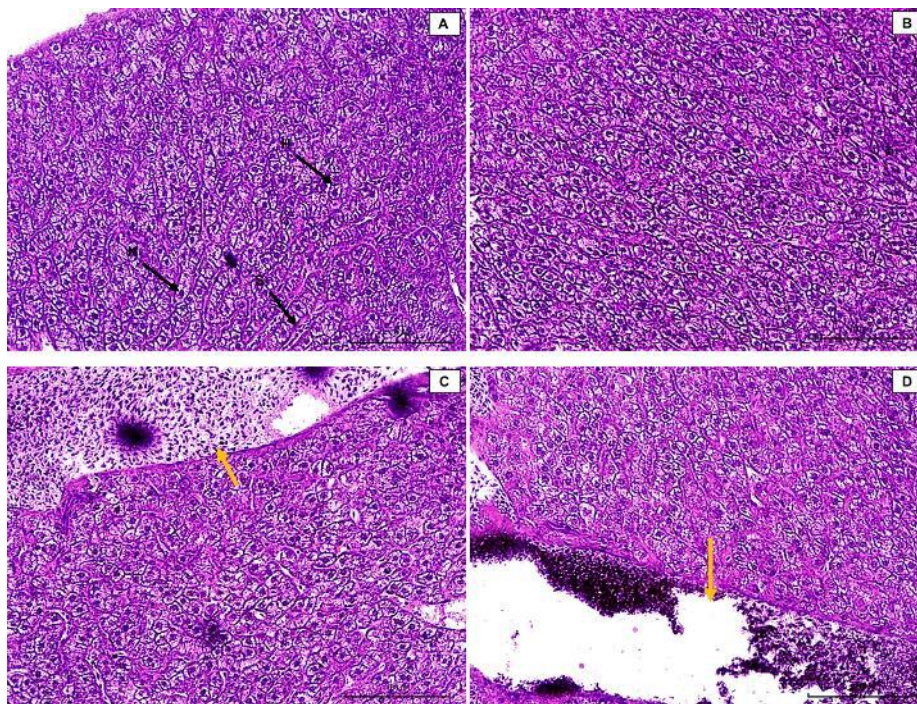


Figura 6. Alterações histológicas no fígado de juvenis de *P. brachypomus* após 60 dias de cultivo em diferentes salinidades. [A] Controle; [B] 2 g de sal L^{-1} ; [C] 4 g de sal L^{-1} ; [D] 6 g de sal L^{-1} . Hepatócitos, H; Núcleos, N; Sinusoides, S; Vaso sanguíneo congestionado (seta amarela).

Tabela 7.*Alterações histopatológicas em juvenis de P. brachypomus após.*

Órgão	Alterações	Salinidade (g de sal L ⁻¹)			
		0	2	4	6
Fígado	Dilatação sinusoidal	-	-	-	-
	Vacuolização	-	-	-	-
	Vaso sanguíneo congestionado	-	-	+	+
	Congestão sinusoidal	-	-	-	-
	Núcleos picnóticos	-	-	-	-
	Hepatócitos degenerados	-	-	-	-
	Necrose	-	-	-	-
Brânquias	Hiperplasia do epitélio branquial	-	-	-	-
	Deslocamento epitelial	-	++	+	+++
	Fusão lamelar	-	-	+	+++
	Congestão sanguínea grave	-	-	-	-
	Aneurisma lamelar	-	++	+++	+++
	Ruptura de células epiteliais com hemorragia	-	-	-	-
	Ruptura do epitélio lamelar	-	-	-	-
	Necrose	-	-	-	-

* A histopatologia registrada em <5% dos casos foi relatada como ausente (-), de 5 a 25% como fraca (+), de >25 a 50% como moderada (++) e >50% como grave (+++).

Desempenho zootécnico

Não houve diferença na taxa de sobrevivência dos animais em nenhum período avaliado (**Tabela 8**). Após 15 dias de cultivo, foi verificada diferença somente para comprimento total, com menor valor para S₆ (P < 0,05). Após 30 dias, o peso final foi maior para S₄ e S₆ (P < 0,05). O ganho de peso, ganho de peso diário, consumo diário e taxa de crescimento específico foram maiores para S₆ (P < 0,05). Após 45 dias de cultivo, não foi observada diferença entre as salinidades (P > 0,05). Após 60 dias, o consumo diário foi maior em S₆.

Tabela 8.

Desempenho zootécnico (média ± erro padrão) de juvenis de P. brachypomus mantidos em diferentes salinidades após 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo.

Salinidade (g de sal L ⁻¹)	PF (g)	CF (cm)	TCE (% dia ⁻¹)	GP (g)	GPD (g dia ⁻¹)	CD (g)	CA	SOB (%)
1 - 15 dias								
0	15,51 ± 1,65	9,75 ± 0,23 a	6,61 ± 0,69	9,78 ± 1,65	0,65 ± 0,11	0,72 ± 0,01	1,13 ± 0,20	100,00 ± 0,00
2	16,62 ± 0,59	9,97 ± 0,14 a	7,07 ± 0,26	10,87 ± 0,61	0,72 ± 0,04	0,71 ± 0,02	0,98 ± 0,03	92,85 ± 8,24
4	15,88 ± 1,45	9,82 ± 0,02 a	6,76 ± 0,62	10,14 ± 1,46	0,67 ± 0,09	0,70 ± 0,04	1,05 ± 0,09	96,42 ± 7,14
6	14,72 ± 1,14	9,13 ± 0,20 b	6,26 ± 0,52	8,97 ± 1,16	0,59 ± 0,07	0,67 ± 0,01	1,13 ± 0,12	94,64 ± 6,83
P-valor	0,2571	<0,0001	0,2685	0,2651	0,2651	0,1122	0,3362	0,4708
16 - 30 dias								
0	25,04 ± 2,51 b	11,25 ± 0,25	3,19 ± 1,18 c	9,52 ± 3,58 c	0,63 ± 0,29 c	0,53 ± 0,10 b	0,89 ± 0,23	85,71 ± 2,91
2	28,27 ± 1,93 ab	11,48 ± 0,21	3,53 ± 0,45 bc	11,65 ± 1,86 bc	0,77 ± 0,12 bc	0,60 ± 0,06 b	0,78 ± 0,13	91,07 ± 5,35
4	30,26 ± 2,37 a	11,70 ± 0,37	4,30 ± 0,59 ab	14,37 ± 2,16 ab	0,95 ± 0,14 ab	0,66 ± 0,05 b	0,69 ± 0,08	94,64 ± 3,41
6	30,17 ± 2,71 a	11,48 ± 0,56	4,77 ± 0,26 a	15,44 ± 1,75 a	1,02 ± 0,11 a	0,81 ± 0,11 a	0,79 ± 0,06	94,64 ± 3,42
P-valor	0,0316	0,4579	0,0324	0,0207	0,0207	0,0044	0,3453	0,3599
31 - 45 dias								
0	43,42 ± 7,66	12,82 ± 0,73	3,19 ± 0,66	16,70 ± 4,89	0,55 ± 0,16	1,24 ± 0,26	2,31 ± 0,44	100,00 ± 0,00
2	46,38 ± 6,00	12,98 ± 0,40	3,31 ± 0,76	18,18 ± 5,07	0,60 ± 0,16	1,11 ± 0,20	1,89 ± 0,32	100,00 ± 0,00
4	45,64 ± 2,70	13,02 ± 0,16	2,75 ± 0,51	15,44 ± 2,89	0,51 ± 0,09	1,12 ± 0,05	2,24 ± 0,45	100,00 ± 0,00
6	52,52 ± 5,03	13,19 ± 0,59	3,57 ± 0,29	21,83 ± 3,07	0,72 ± 0,10	1,39 ± 0,12	1,93 ± 0,22	100,00 ± 0,00
P-valor	0,1823	0,8059	0,3039	0,1992	0,1992	0,1705	0,3189	1,0000
46 - 60 dias								
0	59,21 ± 10,35	14,71 ± 0,89	2,07 ± 0,26	15,78 ± 3,40	1,05 ± 0,22	1,20 ± 0,26 b	1,14 ± 0,10	96,42 ± 3,57
2	60,86 ± 10,20	14,76 ± 0,63	1,78 ± 0,25	14,47 ± 4,31	0,96 ± 0,28	1,24 ± 0,13 b	1,33 ± 0,23	100,00 ± 0,00
4	59,36 ± 5,18	14,68 ± 0,27	1,74 ± 0,25	13,72 ± 2,87	0,91 ± 0,19	1,15 ± 0,09 b	1,29 ± 0,25	92,85 ± 7,14
6	70,86 ± 7,76	14,95 ± 0,50	1,99 ± 0,16	18,34 ± 3,00	1,22 ± 0,20	1,65 ± 0,07 a	1,37 ± 0,18	96,42 ± 3,57
P-valor	0,2265	0,9275	0,2024	0,2944	0,944	0,003	0,4386	0,7256

* Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna, indicam diferenças pelo teste de Tukey (P < 0,05). PF (g) - peso final, CF (cm) – comprimento final, TCE (% dia⁻¹) – taxa de crescimento específico, GP (g) – ganho de peso, GPD (g dia⁻¹) – ganho de peso diário, CD (g) – consumo diário, CA – conversão alimentar, SOB (%) – sobrevivência.

DISCUSSÃO

Experimento 1

Alterações na salinidade podem impactar a osmorregulação em peixes de água doce (Souza-Bastos et al., 2016), elevando o gasto energético à medida que tentam se adaptar a essa condição (Griffith, 2016). Alterações nos parâmetros bioquímicos e hematológicos foram observadas em *P. brachypomus* após exposição às salinidades em distintos tempos de coleta. Como no presente estudo, salinidades próximas a 12 g de sal L⁻¹, também se mostraram letais para carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) (D. Liu et al., 2023; Zhu et al., 2025), achigã (*Micropterus salmoides*) (Y. Liu et al., 2025) pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) (Mattioli et al., 2017).

As concentrações de hemoglobina mostraram-se mais elevadas em S9 em relação às salinidades mais baixas e ao controle nas primeiras 24 horas. Maiores concentrações de hemoglobina nesse período podem estar relacionadas à maior demanda de oxigênio decorrente de um quadro de estresse (Bao et al., 2018). Para essa salinidade, observou-se queda nas concentrações de hemoglobina em função do tempo de coleta, fato também observado em tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetida a estresse (Bao et al., 2018).

Os valores de hematócrito, eritrócitos, volume corpuscular médio (VCM) e hemoglobina corpuscular média (HCM) seguiram esse padrão com maiores concentrações para S9. Esses dados evidenciam uma mobilização fisiológica do animal, buscando suprir demandas de oxigênio e energia que podem estar relacionadas com o estresse salino. Esse comportamento para hematócrito e eritrócitos corrobora o encontrado para um híbrido de bagre amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco* × *P. vachellii*) em diferentes situações de estresse (Dagoudo et al., 2021, 2023).

Outra resposta importante relacionada ao estresse em peixes é o aumento dos níveis glicêmicos (Wells & Pankhurst, 1999). No presente estudo, as concentrações de glicose foram maiores em S6 e S9 nas primeiras 24 horas de exposição. Esse fato pode estar relacionado à glicogenólise, onde ocorre a liberação de glicose do fígado para a corrente sanguínea (Mattioli et al., 2017). Os mesmos autores relataram níveis glicêmicos mais elevados em salinidades mais altas para o *L. alexandri* após 24 horas. Após 96 horas, observou-se um aumento desses em todos os tratamentos. Esses altos índices glicêmicos nesse período podem indicar uma recuperação mais prolongada de *P. brachypomus* em resposta ao estresse osmótico. Esse fato corrobora o relatado para um híbrido derivado dessa espécie (*Colossoma macropomum* × *P. brachypomus*) (dos Santos Silva et al., 2026).

O colesterol apresentou valores menores em S12 após 24 horas. Segundo dos Santos Silva et al. (2026), esses baixos valores podem ser uma resposta compensatória relacionada à estabilização das membranas celulares em uma situação de estresse osmótico. Os mesmos autores observaram reduções nos níveis de colesterol em híbrido (*C. macropomum* × *P. brachypomus*) quando submetidos a um choque osmótico por 1 e 24 horas. No presente estudo, após 96 horas, os menores valores de colesterol foram para S9. Esse fato pode indicar a utilização de fontes lipídicas como mecanismo de regulação fisiológica e fonte energética para a espécie.

Os níveis mais elevados de triglicerídeos foram observados nas primeiras 24 horas. Este fato também foi observado em *L. alexandri* (Mattioli et al., 2017). Uma redução dos níveis de triglicerídeos indica

a utilização de fontes lipídicas em situações de demanda energética (dos Santos Silva et al., 2026). Em relação às salinidades, valores mais baixos foram registrados em S9, o que pode indicar maior gasto de reservas lipídicas para essa salinidade, seguindo os mesmos padrões dos níveis de colesterol observados no presente trabalho. Souza et al. (2025) observaram, para *P. brachypomus*, uma queda nos níveis de triglicerídeos quando os animais foram submetidos a um estresse térmico. Os autores também associaram essa queda a um aumento da demanda energética decorrente de distúrbios metabólicos.

Os valores mais baixos de proteína total foram observados no grupo controle. Segundo D. Liu et al. (2023), valores mais altos de proteínas podem indicar uma redução da concentração de água no sangue. Menor concentração de água no sangue pode indicar perturbação osmótica em juvenis de *P. brachypomus* submetidos à água salinizada.

Níveis mais elevados de lactato foram observados em S12 após 24 horas. Elevações na concentração de lactato podem indicar metabolismo anaeróbico e maior demanda de oxigênio do animal (Yousefi et al., 2022). Esse aumento também foi observado para carpa comum (*Cyprinus carpio*) submetida ao estresse por transporte (Hoseini et al., 2022) e para *C. macropomum* submetida à hipóxia (do Carmo Neves et al., 2020). Após 96 h, foi observada em comparação com 24 h. Quedas nesses níveis podem indicar uma resposta adaptativa em que peixes submetidos a um estresse prolongado diminuem sua atividade metabólica anaeróbia, buscando economizar energia (Chen et al., 2025).

Os níveis de cloreto foram maiores em todas as salinidades nas primeiras 24 horas. Esse valor mais elevado pode estar relacionado ao estresse decorrente de um possível desequilíbrio osmótico (Perry, 1998). Observou-se uma diminuição nos níveis de cloreto após 96 horas, sugerindo adaptação de *P. brachypomus* a diferentes salinidades. Essa adaptação também foi observada na mesma espécie quando submetida a estresse térmico (Souza et al., 2025). Os mesmos autores observaram uma redução nos níveis de cloreto ao comparar dois tempos de estresse térmico: 1 e 24 horas. Os maiores níveis de cloreto ao final de 96 horas foram observados em S9, o que pode estar relacionado ao maior impacto sofrido pela *P. brachypomus* nessa salinidade.

A ALT apresentou níveis semelhantes sob diferentes salinidades nas primeiras 24 horas de exposição. Essa transaminase, juntamente com a AST, pode ser indicadora de danos e disfunções hepáticas (Motamedi-Tehrani et al., 2025). Diferentemente do observado no presente trabalho, dos Santos Silva et al. (2026) observaram aumento nos níveis de ALT em juvenis do híbrido (*C. macropomum* x *P. brachypomus*) submetidos a choque osmótico por 24 horas. Em relação à AST, não foi observada diferença na salinidade em nenhum dos tempos de coleta. Esse fato corrobora o observado em *C. macropomum* e no híbrido (*C. macropomum* x *P. brachypomus*) submetidos a choque osmótico por 24 horas (dos Santos Silva et al., 2026).

Alterações no fígado podem indicar contaminação e falhas no metabolismo energético (Xing et al., 2025). Esse órgão pode mobilizar reservas energéticas para suprir as demandas do processo de osmorregulação (Nakadate et al., 2023). Para juvenis de *P. brachypomus*, as alterações mais significativas foram registradas em S6 e S9. Este fato também foi observado para *Perca fluviatilis* (Xing et al., 2025) e em *Pangasionodon hypophthalmus* (Hossain et al., 2022) em salinidades mais altas.

O tecido branquial é um órgão vulnerável a alterações na qualidade da água (Strzyzewska et al., 2016). Foram observadas para *P. brachypomus* aumento na intensidade dessas alterações para salinidades superiores assim como registrado para o *L. alexandri* (Takata et al., 2021).

Experimento 2

Exposições crônicas a salinidades inadequadas podem comprometer funções fisiológicas e hematológicas, prejudicar o desempenho e causar mortalidade em diferentes espécies de peixes de água doce (Fiúza et al., 2015; D. Liu et al., 2023; Mattioli et al., 2017; Takata et al., 2021; Zidan et al., 2022). A sobrevivência não diferiu entre as salinidades testadas após 60 dias de cultivo, indicando resistência da *P. brachypomus* à exposição de até 6 g de sal L⁻¹. Resultados semelhantes foram observados em juvenis de *C. idella*, expostos a salinidades de até 6 g de sal L⁻¹ por 8 semanas (D. Liu et al., 2023). Essa tolerância de *P. brachypomus* corrobora o observado no experimento 1, em que a salinidade de até 9 g de sal L⁻¹ não foi letal à espécie durante 96 horas.

Após 15 dias de cultivo, observou-se menor comprimento final em S6. Já, após 30 dias, o peso final foi maior para S4 e S6, enquanto a taxa de crescimento específico, ganho de peso, ganho de peso diário e consumo diário foram maiores para S6. Salinidades mais elevadas, de até 10 g de sal L⁻¹, não influenciaram negativamente o crescimento de *O. niloticus* cultivadas por 60 dias (Dawood et al., 2022).

Após 45 dias, o desempenho foi semelhante em todas as salinidades. O desempenho de juvenis de *Clarias gariepinus* em salinidades de até 8 g de sal L⁻¹ também foi igual ao do cultivo em água doce (Dawood et al., 2022). Após 60 dias, foi observada apenas maior consumo diário para os animais cultivados em S6. Esses dados podem indicar um impacto inicial das salinidades mais elevadas nos juvenis de *P. brachypomus*. Contudo, após 30, observou-se um melhor desempenho em salinidades mais elevadas, e essa melhora pode estar relacionada a um ganho compensatório no pós-período de adaptação. Analisando os dados fisiológicos dos experimentos 1 e 2, sugere-se que o aumento da ingestão de alimento nas salinidades mais elevadas pode ser reflexo de uma maior demanda metabólica.

As concentrações de hemoglobina foram semelhantes entre os tratamentos. Esse fato também foi observado no experimento 1, no qual alterações nas concentrações de hemoglobina foram observadas a partir de S9 após 24 horas. Também foi observado um aumento da hemoglobina ao longo dos dias de cultivo em todas as salinidades. Esse aumento também foi observado em juvenis de *L. alexandri* em salinidades de 0, 2,5 e 7,5 g de sal L⁻¹, em 28 dias de cultivo (Mattioli et al., 2017). O aumento da hemoglobina pode estar relacionado a uma adaptação fisiológica, na qual concentrações mais altas elevam a capacidade de transporte de oxigênio no organismo do animal (Abdel-Tawwab et al., 2019).

Os valores de hematócrito foram maiores após 30 dias de cultivo em S2. Esse aumento pode indicar uma resposta inicial mais rápida a essa salinidade, em comparação com salinidades mais altas, diante de uma situação de estresse mais moderada. Redução nas concentrações de hematócrito também foi observada no experimento 1 para S9. Esse fato corrobora o encontrado para juvenis de *L. alexandri*, em que houve redução no hematócrito para as salinidades testadas, quando comparados os dois tempos de coleta, 24 e 96 horas (Mattioli et al., 2017). Após 60 dias, os maiores valores foram

observados para S0, o que pode estar relacionado a condições mais estáveis e ao aumento da produção de hematócritos. Em relação as salinidades superiores, o aumento no hematócrito também foi observado para juvenis de *L. alexandri* em salinidades mais elevadas (Mattioli et al., 2017).

O número de eritrócitos seguiu o mesmo padrão, com valores menores para S0 após 30 dias. Após 60 dias, observou-se aumento nas concentrações de eritrócitos para S0, S2 e S4. Esse aumento pode representar uma adaptação metabólica a salinidades intermediárias ao longo do tempo. Os menores valores após 60 dias foram observados em S6, e, para essa salinidade, não foi observada diferença entre os tempos de cultivo. Menores concentrações de eritrócitos em salinidades mais elevadas também foram observadas em *P. hypophthalmus* cultivados por 90 dias (Riaz et al., 2025).

O volume corpuscular médio (VCM) foi menor em S4 e S6 após 30 dias. Menores valores também foram observados em *Clarias gariepinus* (Okomoda et al., 2024). Após 60 dias, os maiores valores foram para S6 e S0, com aumento nos valores de S6, indicando uma resposta compensatória.

Valores de hemoglobina corpuscular média (HCM) não diferiram entre *P. brachypomus* e o controle após 30 dias de cultivo. Porém, após os 60 dias, os maiores valores foram para S6. Esse aumento pode estar relacionado a uma resposta adaptativa às menores concentrações de eritrócitos observadas nessa salinidade. A concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) foi semelhante entre as salinidades após 30 e 60 dias de cultivo. Em geral, as maiores concentrações ocorreram em S4.

Ao analisarem-se os parâmetros bioquímicos do sangue de juvenis de *P. brachypomus* após 60 dias de cultivo, observou-se que o aumento da salinidade, especialmente em S6, promoveu alterações significativas nos valores de glicose, colesterol, proteína plasmática, triglicerídeos e cloretos.

Os maiores valores de glicose, sobretudo após 60 dias, sugerem níveis mais elevados de estresse em *P. brachypomus* para S6. Maiores valores de glicose também foram observados em salinidades mais elevadas para *P. hypophthalmus* cultivados por 56 dias (Abdel-Latif et al., 2023) e para *C. idellus* cultivados por 60 dias (Chen et al., 2025). De forma semelhante, foram observados níveis de colesterol mais elevados em S6 após 60 dias. Também foi observado aumento nos níveis de colesterol no experimento 1 para S6 quando comparados os tempos de coleta de 24 e 96 horas. Segundo Souza et al. (2025), juvenis dessa espécie submetidos a estresse por baixas temperaturas apresentaram valores de colesterol mais elevados em *C. macropomum*. Outros fatores que podem estar relacionados a esses níveis mais altos de colesterol em S6 são os índices somáticos e o maior consumo diário de ração.

Os valores de proteína total foram mais elevados em S6. Esse fato corrobora o observado no experimento 1. Em relação ao tempo, maiores valores foram observados após 30 dias, indicando uma resposta inicial ao estresse, em que os animais podem estar se ajustando às salinidades. Quando analisada após 60 dias, a queda nos níveis de proteína pode ser decorrente do aumento de sua utilização para a produção de energia, em resposta ao distúrbio metabólico causado pelo estresse (Monier et al., 2025). Quedas nos níveis de proteína plasmática decorrentes do aumento da salinidade foram observadas em *C. idellus* (Chen et al., 2025).

De modo geral, os valores de triglicerídeos foram maiores em S0. Em relação aos dias de cultivo, esses valores foram maiores após 30 dias. A menor disponibilidade de triglicerídeos nas salinidades

mais elevadas pode estar relacionada ao maior gasto energético da *P. brachypomus* para manter os processos de osmorregulação. Esse fato também foi observado no experimento 1, em que houve queda nos valores de triglicerídeos após 96 horas de exposição. Menores concentrações de triglicerídeos em função do aumento da salinidade também foram observadas para *C. idella*, as quais podem ter ocorrido no intuito de obter energia adicional para manter a homeostase (D. Liu et al., 2023).

As concentrações de cloretos foram maiores em S6 após 30 dias de cultivo, sugerindo maior desequilíbrio osmótico nessa salinidade. Em juvenis de *C. idellus*, observou-se aumento das células de cloreto em função do aumento da salinidade (Chen et al., 2025). No presente trabalho, foi observada uma queda nas concentrações de cloretos para todas as salinidades após 60 dias, assim como registrado no experimento 1 o que reforça a capacidade adaptativa de *P. brachypomus*.

A ALT não apresentou diferença em relação às salinidades, diferindo apenas quanto aos dias de cultivo, com valores maiores após 30 dias. Possivelmente, as salinidades não foram suficientes para causar danos hepáticos consideráveis nesse período. Um fato semelhante foi observado no experimento 1. Após 24 horas de exposição as salinidades afetaram essa transaminase. Essa redução observada após 60 dias de cultivo pode indicar estresse osmótico inicial, seguido de estabilização da atividade hepática. Também foi observada redução na ALT para S6 e S9 no experimento 1. Segundo Blewett et al. (2022), a manutenção de níveis baixos de ALT pode estar relacionada a uma adaptação fisiológica, dentro do aceitável, em algumas espécies, para prevenir danos celulares graves ou mortalidade.

Em relação à AST, foram observadas concentrações mais altas de S6 após 30 dias, indicando maior estresse inicial devido à salinidade mais elevada. Para juvenis de *Aplodinotus grunniens*, os níveis de AST apresentaram aumento progressivo com a salinidade, com valores mais elevados em 15 g de sal L⁻¹ (Amankwah et al., 2025). Quando analisadas após 60 dias, as concentrações dessa transaminase não diferiram entre as salinidades; ainda assim, observou-se queda nesses valores em todas as salinidades. Queda nas concentrações de AST e valores semelhantes para as salinidades após 60 dias de cultivo sugerem adaptação da *P. brachypomus* à exposição crônica.

Os índices somáticos podem estar relacionados ao peso, ao comprimento e à saúde dos peixes (Mazumder et al., 2016). Para juvenis de *P. brachypomus*, a salinidade afetou o IVS, com valores mais elevados em S4 e S6 após 30 dias. Esses resultados sugerem associação ao maior peso final e ao consumo de alimento observados nesses animais. Após 60 dias, houve um aumento do IVS para S6, e essa salinidade também apresentou o maior valor em comparação às demais para esse período. O índice hepatossomático foi maior em S6. Quanto aos dias de cultivo, o maior ocorreu após 30 dias. Índices mais elevados para essa salinidade e esse tempo de cultivo podem estar relacionados aos dados de desempenho, como o maior consumo de alimento dos animais estocados em S6. Índices somáticos mais elevados em 12 g de sal L⁻¹ foram observados em *P. hypophthalmus* (Riaz et al., 2025).

Juvenis de *P. brachypomus* apresentaram congestão vascular no tecido hepático em S4 e S6 após 60 dias. Salinidades de até 2 g de sal L⁻¹ não causaram alterações no tecido hepático. Juvenis de *P.*

hypophthalmus suportaram salinidades de até 4 g de sal L⁻¹ por 56 dias sem apresentar alterações no fígado (Hossain et al., 2022).

O tecido branquial de juvenis de *P. brachypomus* apresentou alterações mais graves em S4 e S6. O surgimento e a intensificação de alterações no tecido branquial correlacionadas com o aumento da salinidade também foram observados em *L. alexandri* (Mattioli et al., 2017; Takata et al., 2021), *C. gariepinus* (Dawood et al., 2022) e *P. schrenkii* (Xing et al., 2025).

CONCLUSÕES

Juvenis de *P. brachypomus* toleram até 9 g de sal L⁻¹ por 96 horas, com alterações bioquímicas, hematológicas e histopatológicas mais severas a partir de 6 g de sal L⁻¹. Já durante o cultivo, após 30 dias, *P. brachypomus* mostrou-se tolerante à alta salinidade com melhor desempenho, mas sem diferença entre 0 e 6 g de sal L⁻¹ após 60 dias. No entanto, após 60 dias, salinidades de 4 e 6 g de sal L⁻¹ causaram mais distúrbios metabólicos e fisiológicos, além de promover alterações histopatológicas mais graves. Dessa forma, salinidades de até 2 g de sal L⁻¹ são mais indicadas para o cultivo de *P. brachypomus*, com peso médio inicial de 5,6 g, por 60 dias.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil—316901/2021-0, 402840/2023-2 e 310170/2023-0); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG-Brasil) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-Brasil—código financeiro 001).

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há nenhum conflito de interesse relacionado ao material do trabalho.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Conceitualização: Sena-Souza, A.; Costa-Santos, F. A.; Costa-Júlio, G. S.; Santos-Silva, S.; Carvalho-Ananias, I. M.; Cortezzi-Pedras, P. P.; Oliveira-Gomes, C.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Metodologia: Sena-Souza, A.; Costa-Santos, F. A.; Costa-Júlio, G. S.; Santos-Silva, S.; Carvalho-Ananias, I. M.; Cortezzi-Pedras, P. P.; Oliveira-Gomes, C.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Validação: Sena-Souza, A.; Costa-Santos, F. A.; Costa-Júlio, G. S.; Santos-Silva, S.; Carvalho-Ananias, I. M.; Cortezzi-Pedras, P. P.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Análise formal: Sena-Souza, A.; Costa-Santos, F. A.; Costa-Júlio, G. S.; Santos-Silva, S.; Carvalho-Ananias, I. M.; Cortezzi-Pedras, P. P.; Oliveira-Gomes, C.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Investigação: Sena-Souza, A.; Costa-Santos, F. A.; Costa-Júlio, G. S.; Santos-Silva, S.; Carvalho-Ananias, I. M.; Cortezzi-Pedras, P. P.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Recursos: Sena-Souza, A. & Luz, R. K.; Curadoria de dados: Luz, R. K.; Redação – Rascunho original: Sena-Souza, A. & Luz, R. K.; Redação – Revisão e edição: Sena-Souza, A.; Favero, G. C. & Luz, R. K.; Visualização: Sena-Souza, A. & Luz, R. K.; Supervisão: Luz, R. K.; Administração do projeto: Luz, R. K.; Obtenção de financiamento: Sena-Souza, A. & Luz, R. K.; Análise histológica: Oliveira-Gomes, C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Latif, H. M. R., Ahmed, H. A., Shukry, M., Khafaga, A. F., Elkhayat, B. K., Abdel-Tawwab, M., & Abd-elaziz, R. A. (2023). Growth performance, physiological responses, and histoarchitectural changes in juvenile *Pangasianodon hypophthalmus* under different environmental salinities. *Fishes*, *8*(6), 282. <https://doi.org/10.3390/fishes8060282>
- Abdel-Moneim, A. M., Al-Kahtani, M. A., & Elmenshawy, O. M. (2012). Histopathological biomarkers in gills and liver of *Oreochromis niloticus* from polluted wetland environments, Saudi Arabia. *Chemosphere*, *88*(8), 1028–1035. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.001>
- Abdel-Tawwab, M., Monier, M. N., Hoseinifar, S. H., & Faggio, C. (2019). Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry*, *45*(3), 997–1013. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00614-9>
- Amankwah, J. F., Jin, W., Ma, X., Xu, P., Wen, H., Amuneke, K. E., Munganga, B. P., Li, K., Liu, J., & Li, H. (2025). Salinity tolerance in freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens*): Investigating biochemical, antioxidant, digestive enzyme, and gene expression responses to acute salinity stress. *Animals*, *15*(7), 1015. <https://doi.org/10.3390/ani15071015>
- Angeles-Escobar, B. E., da Silva, S. M. B. C., & Severi, W. (2022). Growth, red blood cells, and gill alterations of red pacu (*Piaractus brachypomus*) fingerlings by chronic exposure to different total suspended solids in biofloc. *Journal of the World Aquaculture Society*, *53*(3), 652–668. <https://doi.org/10.1111/jwas.12837>
- Araújo, L. M. de, Gonçalves Junior, L. P., Silva, W. de S. e, & Luz, R. K. (2020). Salinity and prey concentration on larviculture of killifish *Hypselebias radiseriatus* (Cyprinodontiformes: Rivulidae). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, *43*, e52075. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.52075>
- Bao, J.-W., Qiang, J., Tao, Y.-F., Li, H.-X., He, J., Xu, P., & Chen, D.-J. (2018). Responses of blood biochemistry, fatty acid composition and expression of microRNAs to heat stress in genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Thermal Biology*, *73*, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.02.007>
- Blewett, T. A., Binning, S. A., Weinrauch, A. M., Ivy, C. M., Rossi, G. S., Borowiec, B. G., Lau, G. Y., Overduin, S. L., Aragao, I., & Norin, T. (2022). Physiological and behavioural strategies of aquatic animals living in fluctuating environments. *Journal of Experimental Biology*, *225*(9). <https://doi.org/10.1242/jeb.242503>
- Chen, X., Li, B., Hou, Y., Wei, K., Zhou, L., Zhang, C., Zhang, L., Zhu, J., & Jia, R. (2025). Physiological responses and serum metabolite alterations in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) under chronic salinity exposure. *Antioxidants*, *14*(11), 1287. <https://doi.org/10.3390/antiox14111287>
- Dagoudo, M., Mutebi, E. T., Qiang, J., Tao, Y.-F., Zhu, H.-J., Ngoepe, T. K., & Xu, P. (2023). Effects of acute heat stress on haemato-biochemical parameters, oxidative resistance ability, and immune responses of hybrid yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* × *P. vachelli*) juveniles. *Veterinary Research Communications*, *47*(3), 1217–1229. <https://doi.org/10.1007/s11259-022-10062-1>
- Dagoudo, M., Qiang, J., Bao, J.-W., Tao, Y.-F., Zhu, H.-J., Tumukunde, E. M., Ngoepe, T. K., & Xu, P. (2021). Effects of acute hypoxia stress on hemato-biochemical parameters, oxidative resistance ability, and immune responses of hybrid yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* × *P. vachelli*) juveniles. *Aquaculture International*, *29*(5), 2181–2196. <https://doi.org/10.1007/s10499-021->

00742-1

- Dawood, M. A. O., Gewaily, M. S., & Sewilam, H. (2022). The growth performance, antioxidative capacity, and histological features of intestines, gills, and livers of Nile tilapia reared in different water salinities and fed menthol essential oil. *Aquaculture*, *554*, 738122. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738122>
- de Moraes Carvalho Ananias, I., dos Santos Silva, S., de Sena Souza, A., dos Santos, F. A. C., Magalhães, T. B., de Freitas Martins, W. J., Favero, G. C., & Luz, R. K. (2025). Effects of stocking densities on the growth performance and physiology of juvenile *Piaractus brachypomus* in recirculating aquaculture system. *Fishes*, *10*(4), 171. <https://doi.org/10.3390/fishes10040171>
- de Oliveira, C. G., Boaventura, T. P., Santos, F. A. C. dos, Souza, A. de S., Silva, S. dos S., Gil, C. S. B., Luz, R. K., & Oréfice, R. L. (2025). Effects of polypropylene microparticles ingestion on the growth and physiology of *Piaractus brachypomus*, and its accumulation and tissue damage. *Aquatic Toxicology*, *283*, 107338. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2025.107338>
- Demska-Zakęś, K., Gomułka, P., Rożyński, M., & Zakęś, Z. (2021). Effect of a short-term sodium chloride bath on juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) welfare. *Aquaculture Reports*, *19*, 100569. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100569>
- do Carmo Neves, L., Favero, G. C., Beier, S. L., Ferreira, N. S., Palheta, G. D. A., de Melo, N. F. A. C., & Luz, R. K. (2020). Physiological and metabolic responses in juvenile *Colossoma macropomum* exposed to hypoxia. *Fish Physiology and Biochemistry*, *46*(6), 2157–2167. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00868-8>
- dos Santos Silva, S., Ananias, I. de M. C., Magalhaes, T. B., Martins, W. J. de F., Souza, A. de S., dos Santos, F. A. C., Melo, N., Murgas, L. D. S., Paschoalini, A. L., Bazzoli, N., Favero, G. C., & Luz, R. K. (2026). Effects of osmotic shock on survival, hematological and metabolic responses, antioxidant status and gill histology of juveniles of tambaqui (*Colossoma macropomum*) and the hybrid tambatinga (*C. macropomum* × *Piaractus brachypomus*). *Aquaculture*, *612*, 743077. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743077>
- Escobar L., M. D., Ota, R. P., Machado-Allison, A., Andrade-López, J., Farias, I. P., & Hrbek, T. (2019). A new species of *Piaractus* (Characiformes: Serrasalminidae) from the Orinoco Basin with a redescription of *Piaractus brachypomus*. *Journal of Fish Biology*, *95*(2), 411–427. <https://doi.org/10.1111/jfb.13990>
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Ferreira, A. L., Bonifácio, C. T., de Souza e Silva, W., Takata, R., Favero, G. C., & Luz, R. K. (2021). Anesthesia with eugenol and menthol for *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): Induction and recovery times, ventilation frequency and hematological and biochemical responses. *Aquaculture*, *544*, 737076. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737076>
- Ferreira, A. L., dos Santos, F. A. C., Bonifácio, C. T., & Luz, R. K. (2023). Effects of live prey concentration, salinity, and weaning age on larviculture of *Piaractus brachypomus* reared in a recirculating aquaculture system. *Tropical Animal Health and Production*, *55*(2), 99. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03514-6>
- Fiúza, L. S., Aragão, N. M., Ribeiro Junior, H. P., de Moraes, M. G., Rocha, Í. R. C. B., Lustosa Neto, A. D., de Sousa, R. R., Madrid, R. M. M., de Oliveira, E. G., & Costa, F. H. F. (2015). Effects of salinity on the growth, survival, haematological parameters and osmoregulation of tambaqui *Colossoma macropomum* juveniles. *Aquaculture Research*, *46*, 1–9.

<https://doi.org/10.1111/are.12224>

- Griffith, M. B. (2016). Toxicological perspective on the osmoregulation and ionoregulation physiology of major ions by freshwater animals: Teleost fish, crustacea, aquatic insects, and Mollusca. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *36*(3), 576–600. <https://doi.org/10.1002/etc.3676>
- Hoseini, S. M., Gupta, S. K., Yousefi, M., Kulikov, E. V., Drukovsky, S. G., Petrov, A. K., Taheri Mirghaed, A., Hoseinifar, S. H., & Van Doan, H. (2022). Mitigation of transportation stress in common carp, *Cyprinus carpio*, by dietary administration of turmeric. *Aquaculture*, *546*, 737380. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737380>
- Hossain, F., Islam, S. M., Islam, M. S., & Shahjahan, M. (2022). Behavioral and histo-pathological indices of striped catfish (*Pangasionodon hypophthalmus*) exposed to different salinities. *Aquaculture Reports*, *23*, 101038. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101038>
- Huang, G., Li, H., Wang, J., Liao, T., Qiu, L., Xiong, G., Wang, L., Bai, C., & Zhang, Y. (2025). Pre-transport salt baths mitigate physiological stress and tissue damage in Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) fingerlings: Evidence from multi-biomarker assessment and histopathology. *Animals*, *15*(15), 2249. <https://doi.org/10.3390/ani15152249>
- Jahan, I., Chowdhury, G., Rafi, S., Ashab, M. A., Sarker, M., Chakraborty, A., Couetard, N., Kabir, M. A., Hossain, M. A., & Iqbal, M. M. (2024). Assessment of dietary polyvinylchloride, polypropylene and polyethylene terephthalate exposure in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Bioaccumulation, and effects on behaviour, growth, hematology and histology. *Environmental Pollution*, *345*, 123548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123548>
- Jomori, R. K., Luz, R. K., Takata, R., Fabregat, T. E. H. P., & Portella, M. C. (2013). Água levemente salinizada aumenta a eficiência da larvicultura de peixes neotropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *48*(8), 809–815. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800001>
- Khor, L., Bodunde, O. A., Wills, R., Hanson, L., Adeyemo, O. K., Aina, O. O., Alarape, S. A., Delamare-Deboutteville, J., & Chadag, V. M. (2024). Understanding aquaculture biosecurity to improve catfish disease management in Ogun and Delta states, Nigeria. *Aquaculture*, *584*, 740664. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740664>
- Liu, D., Zhang, Z., Song, Y., Yang, J., Lu, Y., Lai, W., Wu, Z., Zhao, D., Lin, H., Zhang, Y., Zhang, J., & Li, S. (2023). Effects of salinity on growth, physiology, biochemistry and gut microbiota of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquatic Toxicology*, *258*, 106482. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106482>
- Liu, Y., Tian, J., Song, H., Zhu, T., Lei, C., Du, J., & Li, S. (2025). Osmoregulation and physiological response of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) juvenile to different salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(8), 3847. <https://doi.org/10.3390/ijms26083847>
- Luz, R. K., & Favero, G. C. (2024). Use of salt, anesthetics, and stocking density in transport of live fish: A review. *Fishes*, *9*(7), 286. <https://doi.org/10.3390/fishes9070286>
- Mattioli, C. C., Takata, R., Paes Leme, F. de O., Costa, D. C., Melillo Filho, R., de Souza e Silva, W., & Luz, R. K. (2017). The effects of acute and chronic exposure to water salinity on juveniles of the carnivorous freshwater catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture*, *481*, 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.016>
- Mazumder, S. K., Das, S. K., Bakar, Y., & Ghaffar, M. A. (2016). Effects of temperature and diet on length-weight relationship and condition factor of the juvenile Malabar blood snapper

- (*Lutjanus malabaricus* Bloch & Schneider, 1801). *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 17(8), 580–590. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1500251>
- Mohamed, N. A., Saad, M. F., Shukry, M., El-Keredy, A. M. S., Nasif, O., Van Doan, H., & Dawood, M. A. O. (2021). Physiological and ion changes of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under the effect of salinity stress. *Aquaculture Reports*, 19, 100567. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100567>
- Monier, M. N., Shady, S. H. H., Grana, Y. S., El-Ghaffar, H. A. A., Samir, F., El-Werwary, S. O. M., Ahmed, A. A., & Abdel-Tawwab, M. (2025). Interactive impact of salinity and oxygen level on the growth performance, digestive enzymes, serum biochemistry, antioxidative, immunity, and histological status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 51(6), 200. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01608-6>
- Motamedi-Tehrani, J., Peyghan, R., Shahriari, A., Razijalali, M., & Ebrahimi, E. (2025). The influence of ammonia-N and salinity levels on oxidative stress markers, hepatic enzymes, and acid phosphatase activity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports*, 15(1), 559. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84136-2>
- Nakadate, K., Sono, C., Mita, H., Itakura, Y., & Kawakami, K. (2023). Severe acute liver dysfunction induces delayed hepatocyte swelling and cytoplasmic vacuolization, and delayed cortical neuronal cell death. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7351. <https://doi.org/10.3390/ijms24087351>
- Okomoda, V. T., Isah, S., Solomon, S. G., & Ikhwanuddin, M. (2024). Salinity tolerance in *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): insight on blood parameter variations and gill histological changes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 50(2), 605–616. <https://doi.org/10.1007/s10695-023-01293-3>
- Oladosu, G. A., & Oladosu, O. O. (2019). Antibiotic sensitivity and sodium chloride susceptibility patterns of *Flavobacterium columnare* isolated from clinical columnaris in cultured *Clarias gariepinus*. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, 11(3), 59–63. <https://doi.org/10.5897/JVMAH2018.0724>
- Perry, S. F. (1998). Relationships between branchial chloride cells and gas transfer in freshwater fish. In *Biochem. Physiol (Vol. 119, Number 1)*.
- Prathib, P. S. (2025). *The Red-Bellied Pacu: A South American fish making waves in Indian aquaculture*.
- Riaz, M. N., Hafeez-ur-Rehman, M., Azmat, H., & Mehmood, S. (2025). Salinity-induced variations in growth performance, stress biomarkers and biochemical profiles of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878). *Journal of Fish Biology*, 107(6), 2046–2055. <https://doi.org/10.1111/jfb.70211>
- Seshagiri, B., Kumar, A., Pradhan, P. K., Sood, N., Kumar, U., Satyavati, C., Sravanti, Y., Prasoon, K., Ghosh, A., Kantharajan, G., Basheer, V. S., Chakrabarti, P. P., Das, P. C., Lal, K. K., & Jena, J. K. (2022). Farming practices and farmers' perspective of a non-native fish red-bellied Pacu, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818) in India. *Aquaculture*, 547, 737483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737483>
- Souza-Bastos, L. R., Bastos, L. P., Carneiro, P. C. F., & Freire, C. A. (2016). Acute salt exposure of the freshwater Characiformes: Pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887), Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818), and their hybrid "Tambacu" *Aquaculture*, 465, 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.028>

- Souza, R. J. F., dos Santos Silva, S., da Silva, N. C. S., de Moraes Carvalho Ananias, I., dos Santos, F. A. C., de Sena Sousa, A., Magalhães, T. B., de Oliveira, C. G., de Sales, S. C. M., & Luz, R. K. (2025). Hematological and blood biochemical responses of *Colossoma macropomum* and *Piaractus brachipomus* subjected to sudden temperature reduction and thermal readjustment. *Fish Physiology and Biochemistry*, *51*(3), 87. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01499-7>
- Strzyzewska, E., Szarek, J., & Babinska, I. (2016). Morphologic evaluation of the gills as a tool in the diagnostics of pathological conditions in fish and pollution in the aquatic environment: a review. *Veterinární Medicína*, *61*(3), 123–132. <https://doi.org/10.17221/8763-VETMED>
- Takata, R., Mattioli, C. C., Bazzoli, N., Júnior, J. D. C., & Luz, R. K. (2021). The effects of salinity on growth, gill tissue and muscle cellularity in *Lophiosilurus alexandri* juvenile, a Neotropical freshwater catfish. *Aquaculture Research*, *52*(9), 4064–4075. <https://doi.org/10.1111/are.15244>
- Tavares-Dias, M. (2022). Toxicity, physiological, histopathological, handling, growth and antiparasitic effects of the sodium chloride (salt) in the freshwater fish aquaculture. *Aquaculture Research*, *53*(3), 715–734. <https://doi.org/10.1111/are.15616>
- Uehara, S. A., Walter, E. H. M., Cunha, D. M., Calixto, F. A. A., Furtado, A. A. L., Takata, R., & Mesquita, E. de F. M. (2021). Effects of salinity gradients on the skin and water microbial community and physiological responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the pre-slaughter. *Aquaculture Research*, *52*(10), 4638–4647. <https://doi.org/10.1111/are.15298>
- Usman, S., Abdull Razis, A. F., Shaari, K., Amal, M. N. A., Saad, M. Z., Mat Isa, N., & Nazarudin, M. F. (2021). Polystyrene microplastics exposure: An insight into multiple organ histological alterations, oxidative stress and neurotoxicity in Javanese Medaka Fish (*Oryzias javanicus* Bleeker, 1854). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(18), 9449. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189449>
- Wells, R. M. G., & Pankhurst, N. W. (1999). Evaluation of simple instruments for the measurement of blood glucose and lactate, and plasma protein as stress indicators in fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, *30*(2), 276–284. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00876.x>
- Xing, G., Zhang, K., Gao, S., Hao, Y., Nie, Z., Wei, J., Ai, T., Zhang, S., Zhang, J., & Huang, Z. (2025). Structural adaptations to saline stress: Histomorphological changes in the osmoregulatory and metabolic organs of *Perca schrenkii* under acute and chronic challenges. *Biology*, *14*(12), 1775. <https://doi.org/10.3390/biology14121775>
- Yousefi, M., Hoseini, S. M., Weber, R. A., da Silva, E., Rajabiesterabadi, H., Arghideh, M., & Delavar, F. H. (2022). Alleviation of transportation-induced stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, using brackish water. *Aquaculture Reports*, *27*, 101378. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101378>
- Zhu, Z., Li, S., Lei, C., Zhu, T., Tian, J., Du, J., Wei, S., & Song, H. (2025). Survival and acute osmoregulatory response of grass carp under salinity stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, *308*, 111905. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2025.111905>
- Zidan, E. M., Goma, A. A., Tohamy, H. G., Soliman, M. M., & Shukry, M. (2022). Insight study on the impact of different salinity levels on behavioural responses, biochemical stress parameters and growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture Research*, *53*(7), 2750–2759. <https://doi.org/10.1111/are.15790>