RITMOS CIRCADIANOS EM PEIXES CULTIVADOS: IMPACTOS NO COMPORTAMENTO, METABOLISMO E BEM-ESTAR

Felipe Chavão da Cunha Nogueira, Drielly Gomes Bizarria, José Geraldo de Vargas Junior.

Universidade Federal do Espirito Santo, Campus de Alegre-ES, Alto Universitário, s/n, Bairro Guararema, Alegre – ES, CEP 29.500-000. Alegre-ES, Brasil, felipevet97@outlook.com.

Resumo

Os ritmos circadianos regulam funções fisiológicas e comportamentais dos peixes ao longo do dia. Na aquicultura, fatores como fotoperíodo e alimentação podem alterar esses ritmos, influenciando metabolismo, crescimento, comportamento e resposta ao estresse, com possíveis impactos sobre o bem-estar dos animais. O presente trabalho teve como objetivo revisar a literatura sobre ritmos circadianos em peixes cultivados, com enfoque no comportamento, metabolismo, estresse e bem-estar. Foram abordados os mecanismos de regulação do relógio biológico, a influência ambiental e suas aplicações no manejo aquícola. A literatura analisada evidencia a importância dos ritmos circadianos para a organização temporal dos peixes e indica que sua consideração no manejo pode contribuir para estratégias que favoreçam o bem-estar e o desempenho dos animais.

Palavras-chave: Ritmo circadiano. Peixes cultivados. Aquicultura. Estresse. Bem-estar animal.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Aquicultura

Introdução

A aquicultura tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, assumindo papel cada vez mais importante na produção mundial de alimentos aquáticos. Em 2024, a produção aquícola de animais aquáticos ultrapassou 100 milhões de toneladas pela primeira vez (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2026).

O bem-estar animal tem se tornado cada vez mais relevante na aquicultura, sendo o conhecimento das características específicas das espécies fundamental para a otimização dos sistemas de produção. Nesse contexto, os ritmos circadianos desempenham importante papel na regulação de processos metabólicos e podem ser influenciados por fatores abióticos presentes no ambiente de cultivo (Petereit *et al*., 2024).

As variáveis ambientais podem atuar como sinais preditivos para os animais, permitindo ajustes antecipados do comportamento diante das mudanças diárias. Os relógios biológicos internos e os ritmos circadianos contribuem para a organização temporal das atividades e para a adaptação dos organismos às condições ambientais (Pintos *et al*., 2024). Os ritmos circadianos são oscilações biológicas que se repetem aproximadamente a cada 24 horas e estão associados à organização temporal de processos fisiológicos e comportamentais. Em peixes, essa organização temporal está relacionada a processos importantes para sua sobrevivência, desenvolvimento, crescimento e reprodução, permitindo respostas antecipadas às mudanças previsíveis do ambiente (Al-Emran *et al*., 2024; Krylov *et al*., 2021).

Nos peixes, os ritmos circadianos estão associados à organização temporal da atividade locomotora, com variações entre os períodos claro e escuro. Em peixe-zebra (Danio rerio), a atividade locomotora é mais elevada durante a fase clara, enquanto a fase escura é caracterizada por comportamento semelhante ao sono (Krylov *et al.,* 2021). Em espécies cultivadas, como a tilápia-do-Nilo (Oreochromis niloticus), também são observados padrões de atividade predominantemente diurnos, e alterações nesses padrões podem estar associadas à exposição a condições estressoras (Pintos *et al*., 2024).

O horário e a regularidade da alimentação também podem atuar sobre a organização circadiana dos peixes. A interrupção do ciclo regular de alimentação e jejum pode alterar padrões de atividade locomotora, ingestão alimentar e metabolismo energético, evidenciando a importância da

previsibilidade das refeições para a manutenção da homeostase fisiológica (Saiz *et al*., 2026). Além disso, diferentes horários de alimentação podem modificar a expressão de genes relacionados ao relógio circadiano e ao metabolismo, demonstrando a interação entre o ciclo alimentar, a organização circadiana e a regulação metabólica (Samorì *et al*., 2026).

A resposta fisiológica ao estresse também apresenta variações ao longo do ciclo diário, indicando que o momento em que um estímulo estressor ocorre pode influenciar sua intensidade. Em peixes, indicadores como cortisol, glicose e lactato podem apresentar ritmicidade diária e respostas distintas à exposição a estressores conforme o período do dia. Além disso, componentes relacionados às defesas antioxidantes também podem apresentar variações ao longo das 24 horas, evidenciando a interação entre o sistema circadiano e os mecanismos fisiológicos envolvidos na resposta ao estresse (Samorì *et al*., 2024). Dessa forma, a compreensão da organização temporal da resposta ao estresse pode ser relevante para o desenvolvimento de estratégias de manejo que reduzam os impactos negativos sobre o bem-estar dos peixes.

A alteração dos ciclos ambientais pode promover a cronodisrupção, interferindo na organização dos ritmos biológicos. Em peixes, mudanças na regularidade da alimentação e no ciclo de iluminação podem alterar processos fisiológicos relacionados ao metabolismo, ao comportamento e ao equilíbrio energético (Saiz *et al*., 2026). Nesse contexto, a compreensão da cronodisrupção torna-se relevante para avaliar seus possíveis impactos sobre a fisiologia e o bem-estar dos peixes em sistemas aquícolas.

Apesar dos avanços na compreensão dos ritmos circadianos em peixes, os efeitos dos diferentes sincronizadores ambientais ainda apresentam respostas dependentes da espécie, das condições de cultivo e do contexto fisiológico. Estudos recentes demonstram que alterações nos ciclos de alimentação e iluminação podem produzir respostas distintas sobre o comportamento, o metabolismo e o equilíbrio energético, enquanto trabalhos sobre estresse evidenciam que a resposta fisiológica também pode variar ao longo do ciclo diário (Saiz *et al*., 2026; Samorì *et al*., 2024; Al-Emran *et al*., 2024). Nesse sentido, a integração desses conhecimentos é relevante para compreender de que forma a organização temporal pode ser considerada no manejo e no bem-estar de peixes cultivados.

Diante do exposto, o objetivo desta revisão de literatura foi reunir e discutir evidências científicas sobre a influência dos ritmos circadianos na fisiologia, no comportamento e no bem-estar de peixes, com ênfase nos efeitos dos ciclos de alimentação, iluminação e outros fatores ambientais sobre a organização temporal dos animais e suas possíveis implicações para a aquicultura.

Metodologia

Foi realizada uma revisão de literatura de caráter narrativo sobre a influência dos ritmos circadianos na fisiologia, no comportamento e no bem-estar de peixes de interesse aquícola. O levantamento bibliográfico contemplou artigos científicos publicados entre 2020 e 2026, consultados no Portal de Periódicos CAPES, Google Acadêmico e Scopus. As buscas bibliográficas foram realizadas exclusivamente em língua inglesa.

Foram utilizados descritores em inglês, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, incluindo circadian rhythms, biological clock, fish, aquaculture, photoperiod, feeding, metabolism, stress, welfare e chronodisruption. A seleção dos trabalhos considerou sua pertinência ao tema e aos objetivos da revisão, mediante análise dos títulos, resumos e, posteriormente, do texto completo.

Foram incluídos estudos que abordassem os ritmos circadianos em peixes e sua relação com fatores ambientais, comportamento, alimentação, metabolismo, resposta ao estresse e bem-estar. Após a seleção, os trabalhos foram analisados qualitativamente e agrupados de acordo com os principais aspectos identificados na literatura, permitindo a integração dos conhecimentos disponíveis, a identificação de lacunas e a discussão de perspectivas para o manejo de peixes em sistemas aquícolas.

Resultados e Discussão

A literatura recente demonstra que a organização circadiana dos peixes se manifesta por meio de variações temporais em diferentes processos fisiológicos. Em truta-arco-íris (Oncorhynchus mykiss), Alborja-Valado *et al.* (2025) observaram variações diárias na expressão de genes relacionados ao

relógio circadiano em diferentes regiões do trato gastrointestinal, evidenciando a presença de padrões temporais também em tecidos periféricos.

Além disso, os resultados demonstraram que esses ritmos podem ser modificados pelas condições ambientais. A alteração do horário de alimentação para o período noturno provocou deslocamentos na fase de expressão de diversos genes, enquanto a exposição à escuridão constante e o jejum alteraram ou, em alguns casos, eliminaram determinados padrões rítmicos. Por outro lado, a realimentação foi capaz de recuperar padrões semelhantes aos observados nos animais mantidos em condições normais. Esses resultados indicam que a disponibilidade de alimento e o ciclo de iluminação participam da organização temporal dos relógios periféricos dos peixes, podendo modificar o momento de ocorrência e a intensidade dos ritmos fisiológicos (Alborja-Valado *et al*., 2025).

As diferenças no padrão de atividade entre espécies também evidenciam que a organização circadiana não ocorre de maneira uniforme entre os peixes. Pintos *et al*. (2024), ao compararem a tilápia-do-Nilo (Oreochromis niloticus), de hábito diurno, e a tenca (Tinca tinca), de hábito noturno, observaram padrões locomotores distintos ao longo do ciclo de 24 horas. A tilápia concentrou 72,16% de sua atividade locomotora durante a fase clara, enquanto a tenca apresentou 88,75% de sua atividade durante a fase escura. Além disso, os indicadores comportamentais relacionados ao estresse, como o comportamento de imobilidade, apresentaram variações diárias distintas entre as espécies, com maior ocorrência durante a fase escura na tilápia e durante a fase clara na tenca. Esses resultados demonstram que a interpretação de respostas comportamentais ao longo do dia deve considerar o padrão temporal característico de cada espécie, uma vez que o mesmo período do ciclo claro-escuro pode representar diferentes estados de atividade e repouso entre os peixes (Pintos *et al*., 2024).

O horário de fornecimento do alimento pode atuar como um sinal temporal capaz de modificar a organização dos ritmos circadianos em peixes. Thraya *et al*. (2025) observaram que diferentes horários de alimentação alteraram os ritmos de genes relacionados ao relógio circadiano em juvenis de salmão Chinook (Oncorhynchus tshawytscha), embora os efeitos tenham variado de acordo com o tecido analisado. No fígado, a alimentação realizada apenas pela manhã foi associada à desorganização da expressão de genes relacionados ao relógio circadiano. No coração, foram observadas reduções na amplitude e alterações na fase de determinados ritmos, enquanto no músculo esquelético foram identificados ritmos de baixa amplitude e alterações de fase em diferentes condições de alimentação. O intestino, por outro lado, apresentou maior estabilidade, mantendo ritmos diários nas diferentes condições de alimentação. Esses resultados indicam que a influência do horário alimentar sobre a organização circadiana não ocorre de maneira uniforme, podendo variar entre diferentes tecidos e funções fisiológicas (Thraya *et al*., 2025).

A importância da regularidade temporal da alimentação também pode ser observada quando esse sinal é desorganizado. Saiz *et al*. (2026) avaliaram juvenis de peixe-dourado (Carassius auratus) submetidos à alimentação em horários aleatórios e à exposição à luz contínua. Os animais submetidos à alimentação aleatória mantiveram inicialmente a atividade antecipatória ao fornecimento do alimento, mas esse comportamento foi progressivamente reduzido até desaparecer. Já os animais expostos à luz contínua apresentaram níveis de atividade praticamente constantes ao longo das 24 horas, com exceção de um pico após a alimentação. Além disso, os grupos submetidos à alimentação aleatória e à luz contínua apresentaram maior consumo de oxigênio em comparação ao grupo controle, enquanto a alimentação aleatória também esteve associada ao aumento da glicose plasmática, do ganho de peso e da taxa de crescimento específico. Dessa forma, os resultados sugerem que a regularidade do fornecimento de alimento pode estar relacionada à manutenção dos padrões temporais de atividade e de respostas fisiológicas nos peixes (Saiz *et al*., 2026).

O fotoperíodo constitui outro importante sinal ambiental envolvido na sincronização dos ritmos biológicos dos peixes. Al-Emran *et al*. (2024) destacaram que a manipulação da duração do período de luz pode influenciar processos fisiológicos relacionados ao crescimento e à reprodução, porém seus efeitos variam conforme a espécie, a duração da exposição, a fase de desenvolvimento e as condições de cultivo. Os autores ressaltam ainda que alterações inadequadas do fotoperíodo podem afetar a homeostase fisiológica, indicando que sua utilização como ferramenta de manejo na aquicultura deve considerar as características específicas de cada espécie e as condições de criação.

A resposta ao estresse também apresenta variações ao longo do ciclo diário, o que pode influenciar a forma como os peixes respondem às práticas de manejo. Samorì *et al*. (2024), ao avaliarem o robalo-europeu (Dicentrarchus labrax) submetido a estresse por manejo e exposição ao ar, observaram ritmos diários nos níveis plasmáticos de cortisol, com maiores valores durante a fase escura. Além disso, a

magnitude da resposta ao estresse variou conforme o horário em que o estímulo foi aplicado, especialmente para cortisol e glicose, enquanto os níveis de lactato aumentaram após o estresse independentemente do período do dia. Os resultados também demonstraram influência da estação do ano sobre a presença dos ritmos e sobre a intensidade da resposta fisiológica. Dessa forma, o estudo evidencia que tanto o horário quanto a época do ano devem ser considerados na realização de procedimentos de manejo, uma vez que podem modificar a resposta fisiológica dos peixes ao estresse.

A desorganização dos sinais temporais ambientais pode provocar alterações no sistema circadiano e repercutir sobre respostas metabólicas e neuroendócrinas. Saiz *et al*. (2026) demonstraram que a alteração dos ciclos de alimentação e iluminação provocou desregulação do controle da alimentação, aumento do consumo alimentar e alterações no balanço energético, com respostas distintas entre os protocolos de cronodisrupção. Enquanto a alimentação irregular esteve associada ao aumento do peso corporal e do armazenamento de energia no fígado, a exposição à luz contínua não alterou o peso ou o crescimento, possivelmente em razão do aumento do gasto energético. Esses achados reforçam a importância do controle adequado dos horários de alimentação e das condições de iluminação na aquicultura, visando preservar o bem-estar, o crescimento e o desempenho dos peixes.

Os achados apresentados indicam que o conhecimento sobre os ritmos circadianos pode ser aplicado ao planejamento de práticas de manejo na aquicultura. A definição dos horários de alimentação, a adequação do fotoperíodo e o planejamento de procedimentos potencialmente estressantes podem considerar os padrões temporais característicos de cada espécie, buscando reduzir alterações fisiológicas e comportamentais decorrentes de manejos realizados em períodos inadequados. Dessa forma, a utilização dos ritmos circadianos como ferramenta de manejo pode contribuir para a manutenção do bem-estar, do desempenho produtivo e da eficiência dos sistemas aquícolas, desde que sejam consideradas as particularidades de cada espécie e as condições de criação (Saiz *et al*., 2026; Thraya *et al*., 2025; Al-Emran *et al*., 2024; Samorì *et al*., 2024).

Apesar dos avanços apresentados, ainda existem lacunas quanto à compreensão dos ritmos circadianos em diferentes espécies de peixes e em condições próximas à realidade dos sistemas de produção. A variação das respostas conforme a espécie, o tecido, o horário, o fotoperíodo e as condições ambientais evidenciam a complexidade da organização circadiana e indica a necessidade de ampliar os estudos sobre essas relações (Alborja-Valado *et al.,* 2025; Thraya *et al*., 2025; Al-Emran *et al*., 2024). Além disso, são necessários trabalhos que estabeleçam protocolos de manejo baseados em horários biologicamente adequados para diferentes espécies aquícolas, especialmente quanto à alimentação, iluminação e realização de procedimentos potencialmente estressantes. O desenvolvimento dessas estratégias pode contribuir para o bem-estar e o desempenho dos peixes.

Conclusão

Os ritmos circadianos desempenham papel importante na organização de processos fisiológicos e comportamentais dos peixes, sendo influenciados por sinais ambientais como alimentação e fotoperíodo. As evidências analisadas demonstram que alterações nesses sinais podem modificar respostas metabólicas, comportamentais e relacionadas ao estresse. Dessa forma, a consideração dos padrões temporais específicos de cada espécie apresenta potencial para aprimorar o manejo aquícola, especialmente quanto aos horários de alimentação, iluminação e realização de procedimentos estressantes. Entretanto, ainda são necessários estudos em condições de cultivo que permitam estabelecer estratégias de manejo temporal específicas para diferentes espécies, visando promover o bem-estar e o desempenho dos peixes.

Referências

ALBORJA-VALADO, M.; CHIVITE, M.; CALO, J.; VERDE, A.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, C. A.; MÍGUEZ, J. M.; LÓPEZ PATIÑO, M. A. A circadian clock controls the daily function of the intestine in rainbow trout. Influence of light and food as synchronizers. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 303, p. 111821, 2025. DOI: 10.1016/j.cbpa.2025.111821.

AL-EMRAN, M.; ZAHANGIR, M. M.; BADRUZZAMAN, M.; SHAHJAHAN, M. Influences of photoperiod on growth and reproduction of farmed fishes - prospects in aquaculture. **Aquaculture Reports**, v. 35,

2024. 101978. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.101978.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. SOFIA 2026: global fisheries and aquaculture production reaches new highs. Rome, 16 June 2026. Disponível em: https://www.fao.org/newsroom/detail/sofia-2026--global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-new-highs/. Acesso em: 30 ago. 2026.

PETEREIT, J.; LANNIG, G.; BAßMANN, B.; BOCK, C.; BUCK, B. H. Circadian rhythm in turbot (*Scophthalmus maximus*): daily variation of blood metabolites in recirculating aquaculture systems. **Metabolomics**, v. 20, n. 23, 2024. DOI: 10.1007/s11306-023-02077-9.

PINTOS, S.; DE ALBA, G.; LUCON-XICCATO, T.; CAMPOS, F. G.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; BERTOLUCCI, C.; VERA, L. M. Circadian modulation of behavioural stress indicators varies between diurnal and nocturnal fish species. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 281, 2024. 106458. DOI: 10.1016/j.applanim.2024.106458.

KRYLOV, V. V.; IZVEKOV, E. I.; PAVLOVA, V. V.; PANKOVA, N. A.; OSIPOVA, E. A. Circadian rhythms in zebrafish (*Danio rerio*) behaviour and the sources of their variability. **Biological Reviews**, v. 96, p. 785-797, 2021. DOI: 10.1111/brv.12678.

SAMORÌ, E.; RODRÍGUEZ, I.; PAULLADA-SALMERÓN, J. A.; SÁNCHEZ-ALACID, L.; MUÑOZ-CUETO, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; LÓPEZ-OLMEDA, J. F. Daily rhythms of acute stress responses and antioxidant systems in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Effects of the time of the year. ***Aquaculture*****,** v. 584, 2024, 740616. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.740616.

SAMORÌ, E.; FRIGATO, E.; DALLA VALLE, L.; TESORIERE, A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; BERTOLUCCI, C**.** Feeding entrainment of the primary and accessory loops of the molecular circadian clock and epigenetic processes in zebrafish brain: the importance of the glucocorticoid signalling. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 317, 2026, 112018. DOI: 10.1016/j.cbpa.2026.112018.

SAIZ, N.; ISORNA, E.; HERRERA-CASTILLO, L.; DELGADO, M. J.; RUIZ-JARABO, I.; DE PEDRO, N. Feeding and light cycle disruptions have distinct effects on energy balance and neuroendocrine regulators in goldfish**. Fish Physiology and Biochemistry**, v. 52, n. 3, 2026, 66. DOI: 10.1007/s10695-026-01685-1

THRAYA, M.; PATEL, A.; STEWART, K.; ABOU-AKL, H.; ROBERTS, D.; HEATH, D.; PITCHER, T. E.; CARMONA-ALCOCER, V.; KARPOWICZ, P. Integration of photoperiod and time-restricted feeding on the circadian gene rhythms in juvenile salmon. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 16156, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-01069-0.