



GALILEU CROVATTO VERAS

**FOTOPERÍODOS NO COMPORTAMENTO
LOCOMOTOR E DESENVOLVIMENTO DE
ALEVINOS DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

LAVRAS - MG

2011

GALILEU CROVATTO VERAS

**FOTOPERÍODOS NO COMPORTAMENTO LOCOMOTOR E
DESENVOLVIMENTO DE ALEVINOS DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Luis David Solis Murgas

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Veras, Galileu Crovatto.

Fotoperíodos no comportamento locomotor e desenvolvimento de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Galileu Crovatto Veras. – Lavras : UFLA, 2011.

97 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Luis David Solis Murgas.

Bibliografia.

1. Peixes de água doce. 2. Ritmo locomotor. 3. Crescimento. 4. Desenvolvimento gonadal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 639.3758

GALILEU CROVATTO VERAS

**FOTOPERÍODOS NO COMPORTAMENTO LOCOMOTOR E
DESENVOLVIMENTO DE ALEVINOS DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de janeiro de 2011.

Dra. Ana Lúcia Salaro	UFV
Dra. Elissandra Ulbricht Winkaler	UFRB
Dr. Márcio Gilberto Zangeronimo	UFLA
Dra. Priscila Vieira e Rosa	UFLA

Dr. Luis David Solis Murgas
Orientador

LAVRAS - MG

2011

A Deus, por sempre me guiar

A minha esposa Tatiana, por iluminar minha vida a cada dia que estamos juntos, sendo, além de uma mulher maravilhosa, uma verdadeira companheira que está sempre ao meu lado

Aos meus pais, João Carlos Veras e Maria Aparecida Crovatto Veras, por saberem da importância da educação e por terem me permitido desfrutar desse privilégio. Hoje estou aqui graças a vocês...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida durante o Doutorado.

A Universidade Federal de Lavras, em destaque aos Departamentos de Zootecnia e Medicina Veterinária pelo suporte fornecido.

Ao Professor, orientador Luis David Solis Murgas pela amizade, oportunidade, confiança e ensinamentos ao longo desses dois anos de convivência.

A Professora, co-orientadora, Priscila Vieira Rosa, pela amizade e confiança depositada durante o tempo de convivência.

Ao Professor, Co-orientador Márcio Gilberto Zangeronimo, pela amizade, ensinamento e pela disponibilidade em ajudar ao longo desse tempo.

Às professoras Ana Lúcia Salaro, Elissandra Ulbricht Winkaler, Priscila Vieira e Rosa e ao professor Márcio Gilberto Zangeronimo por se disponibilizarem a fazer parte da banca.

Ao funcionário do Laboratório de Fisiologia e Farmacologia do DMV/UFLA, Willian César Cortez pela amizade e por toda sua ajuda ao longo da execução do projeto.

Aos funcionários da piscicultura Eleci Pereira e José Roberto dos Santos pela amizade e o apoio no que foi preciso.

Aos colegas de Doutorado: Matheus, Mariana, Marinez, Estefânia, Daniela, Vivian e Viviane, pelo companheirismo e auxílio durante a execução do projeto.

À Dra. Mônica Rodrigues Ferreira pelo auxílio durante o experimento.

À Dra Gilmara Junqueira pelo auxílio nas análises bioquímicas do projeto.

Ao Dr. Daniel Okamura pela amizade e discussões sobre o projeto.

Aos alunos de iniciação científica: Marina, Tháís Nakane, Athalita, Luiz Gustavo, Victor, Eric e David.

À minha esposa pelo apoio e dedicação ao longo desses dois anos em que muitas vezes estive ausente.

Aos meus pais pelo incentivo constante.

A todos que contribuíram de alguma forma para realização deste projeto

RESUMO

O fotoperíodo age como um relógio artificial ao regular os ritmos endógenos em peixes sobre o crescimento, atividade locomotora, taxas metabólicas, pigmentação corpórea e reprodução. Com o primeiro experimento objetivou-se avaliar o ritmo diário de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo submetidos a três fotoperíodos diferentes: zero hora de luz (0L); doze horas de luz (12L) e vinte e quatro horas de luz (24L). Para avaliar a atividade locomotora dos peixes foram utilizadas fotocélulas que registravam a atividade dos animais em computador a cada intervalo de 10min. Noventa e seis alevinos com peso inicial de $3,21 \pm 0,05$ g foram distribuídos em 12 aquários de 20 L em sistema de recirculação com temperatura controlada em 27 °C e densidade de oito peixes por aquário. A alimentação foi realizada sempre às 9 e 17 horas. Quando submetidos ao fotoperíodo de 12L os alevinos apresentaram maior atividade locomotora durante o período de luz (80,12%) em relação ao período de escuro ($P < 0,05$). Além disso, os peixes submetidos a 24L também apresentaram maior atividade locomotora do que aqueles submetidos ao fotoperíodo de 0L ($P < 0,05$). A alimentação em horários fixos também influenciou sobre a atividade locomotora dos animais submetidos aos três fotoperíodos ($P < 0,05$). Em todos os fotoperíodos, os animais apresentaram maior atividade locomotora nos horários da alimentação do que em relação à média de atividade ao longo das 24 horas ($P < 0,05$). Esta maior atividade durante o período de luz caracteriza a fase de desenvolvimento da espécie como sendo predominantemente diurna, seja pelo efeito do ciclo circadiano ou pelo fornecimento de ração em horários fixo. Com o segundo experimento objetivou-se avaliar o desempenho, a atividade locomotora, o desenvolvimento gonadal e o estresse de alevinos de tilápia do Nilo submetidos a diferentes fotoperíodos. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (0L; 6L; 12L; 18L; 24L) e quatro repetições, sendo o aquário a unidade experimental. Cento e sessenta alevinos com $3,21 \pm 0,05$ g e $4,35 \pm 0,07$ cm foram distribuídos em 20 aquários de 20 L em sistema de recirculação com temperatura controlada em 27 °C e densidade de oito peixes por aquário. A alimentação foi realizada duas vezes ao dia com ração comercial extrusada contendo 40% de proteína bruta, por um período de 75 dias. Os alevinos submetidos ao fotoperíodo de 12L, assim como os peixes sob os fotoperíodos 18L e 24L apresentaram os maiores registros de atividade locomotora ($P < 0,05$). Os peixes do fotoperíodo 18L e 24L apresentaram os maiores índices de desempenho do que os submetidos aos demais fotoperíodos, enquanto os animais submetidos aos fotoperíodos mais curtos apresentaram maior desenvolvimento gonadal ($P < 0,05$). A manipulação do fotoperíodo provavelmente não alterou a homeostase dos alevinos de tilápia do Nilo, uma vez que não houve diferença

sobre a sobrevivência, a glicose sanguínea, o hematócrito e o cortisol dos animais submetidos aos diferentes fotoperíodos ($P>0,05$). Portanto, além do fotoperíodo modular a atividade locomotora dos animais, sob fotoperíodos longos (18L e 24L) os animais priorizam sua energia para o crescimento somático, enquanto sob fotoperíodos curtos (0L e 6L) estes animais redirecionam a energia para o desenvolvimento gonadal.

Palavras-chave: Atividade locomotora. Ciclo circadiano. Estresse. Gônadas. Peixes.

ABSTRACT

The photoperiod acts as an artificial clock to regulate the endogenous rhythms in fish on growth, locomotor activity, metabolic rates, body pigmentation, and reproduction. In the first experiment aimed to evaluate the daily rhythm of locomotor activity of Nile tilapia fingerlings submitted to three photoperiods: zero hour of light (0L), twelve hours of light (12L) and twenty four hours of light (24L). To evaluate the locomotor activity for fish, photocells that recorded the activity of the animals in the computer every 10min interval, were used. Ninety-six tilapia with initial weight of 3.21 ± 0.05 g were distributed in 12 aquariums of 20 L in a recirculation system controlled temperature at 27 °C and density of eight fish per aquarium. The food was always performed at 9 and 17 hours. When submitted to a photoperiod of 12L the fingerlings had higher locomotor activity during the light period (80.12%) compared to the dark period ($P < 0.05$). In addition, the fingerlings of treatment 24L also showed higher locomotor activity than those undergoing photoperiod 0L ($p < 0.05$). The fed on a schedule also influence on the locomotor activity of animals submitted to three photoperiods ($P < 0.05$). In all of the photoperiods, the animals showed higher locomotor activity during the hours of feed than the average activity over 24 hours ($P < 0.05$). This increased activity during the light periods of characterizes the species at that stage of development, as being predominantly diurnal, either by effect of the circadian cycle or by providing food regularly. In the second experiment aimed to evaluate the performance, locomotor activity, gonadal development and stress in Nile tilapia fingerlings subjected to different photoperiods. A randomized design with five treatments (0L: 24E; 6L: 18E, 12L: 12D, 18L: 6D, 24L: 0D) and four replications, with the aquarium as the experimental unit, was used. One hundred and sixty tilapia fingerlings with 3.21 ± 0.05 g and 4.35 ± 0.07 cm, were distributed in 20 aquariums of 20 L in a recirculation system with temperature controlled at 27 °C and a density of eight fish per aquarium. Feeding was done twice daily with extruded commercial diet containing 40% crude protein, for 75 days. The fingerlings submitted to a photoperiod of 12L, as well as the fish under the photoperiods 18L and 24L presented the highest values of locomotor activity ($P < 0.05$). The fish in the photoperiod 18L and 24L demonstrated the highest levels of performance than the other treatments, while fish subjected to shorter photoperiods had higher gonadal development. The manipulation of photoperiod probably did not alter the homeostasis of the Nile tilapia, since there was no difference on survival, blood glucose, hematocrit, and cortisol of animals subjected to different photoperiods ($P > 0.05$). Therefore, photoperiod modulates the

locomotor activity of animals. Further, under long photoperiod (18L and 24L) animals directs their energy to somatic growth, while under short photoperiods (0L and 6L) these animals to redirect energy to gonadal development.

Keywords: Circadian rhythm. Fish. Gonads. Locomotor activity. Stress.

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 1

- Gráfico 1 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob condições de 12L. As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 58
- Gráfico 2 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob constante condição de 24L. A barra branca acima do gráfico representa a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 59
- Gráfico 3 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob constante condição de 0L. A barra preta, acima do gráfico, representa o período de escuro. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 59

CAPÍTULO 2

- Gráfico 1 Efeito do fotoperíodo sobre a atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo (médias \pm desvio padrão). Valores seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$). Coeficiente de variação igual a 12,62% 79
- Gráfico 2 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob condição de 12L (4324 ± 160 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 80
- Gráfico 3 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob constante condição de 24L (3932 ± 456 registros de atividade/ dia). A barra branca, acima do gráfico, representa a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 80
- Gráfico 4 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob condição de 18L (3446 ± 405 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes 81

Gráfico 5 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob a condição de 6L (2890 ± 654 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas acima da barra indicam os horários de alimentação dos peixes	81
Gráfico 6 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob constante condição de 0L (946 ± 70 registros de atividade/ dia). A barra preta, acima do gráfico, representa o período de escuro. As setas pretas acima da barra indicam os horários de alimentação dos peixes	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Efeito do fotoperíodo sobre o desempenho, parâmetro reprodutivo e sobrevivência em alevinos de tilápia do Nilo.....	83
Tabela 2	Efeito do fotoperíodo sobre o hematócrito, glicose e cortisol em alevinos de tilápia do Nilo.....	85

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Ritmos biológicos	17
2.2	O ciclo circadiano e alimentar sobre a atividade locomotora em peixes	18
2.3	Controle do relógio biológico em peixes	22
2.4	Fotoperíodo e crescimento em peixes	25
2.5	Fotoperíodo e reprodução em peixes	29
2.6	Fotoperíodo e estresse em peixes	32
2.7	A tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	35
	REFERÊNCIAS	37
	CAPÍTULO 2 Modulação do ritmo circadiano da atividade locomotora em alevinos de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) com alimentação em horário fixo	50
1	INTRODUÇÃO	52
2	MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1	Local, animais e desenho experimental	54
2.2	Instalação	54
2.3	Alimentação e registro da atividade locomotora	55
2.4	Análise dos dados	55
3	RESULTADOS	57
4	DISCUSSÃO	61
	REFERÊNCIAS	67
	CAPÍTULO 3 Efeito do fotoperíodo sobre a atividade locomotora, crescimento, desenvolvimento gonadal e homeostase em alevinos de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	71
1	INTRODUÇÃO	73
2	MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1	Local e delineamento experimental	75
2.2	Animais e instalação	75
2.3	Alimentação dos peixes	76
2.4	Registro da atividade locomotora	76
2.5	Coleta de sangue, análises bioquímicas e de desempenho	77
2.6	Análises estatísticas	78
3	RESULTADOS	79
4	DISCUSSÃO	86
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
	REFERÊNCIAS	93

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das principais espécies criadas no mundo devido ao seu rápido crescimento em sistema intensivo de cultivo, maturação sexual precoce, alta qualidade de sua carne e por ser uma das espécies mais resistentes ao manejo e as adversidades ambientais. Inúmeros são os estudos para determinação das exigências nutricionais desta espécie nos diferentes estágios de desenvolvimento. Por outro lado, apesar de existirem, ainda são insuficientes as pesquisas com a manipulação dos fatores ambientais sobre o crescimento e reprodução destes animais.

Dentre os fatores ambientais, a manipulação do fotoperíodo é o que apresenta maior influência sobre o relógio biológico dos peixes, ao afetar o ganho de peso, a ingestão de alimento, o gasto de energia, a atividade locomotora, bem como outros parâmetros fisiológicos. Para algumas espécies, dias ou fotoperíodos longos podem modificar indiretamente o crescimento, seja pela indução do consumo de ração, desenvolvimento da massa muscular devido à maior atividade locomotora dos animais, melhor eficiência de utilização dos nutrientes e/ou devido ao redirecionamento da energia proveniente da maturação gonadal para o crescimento somático.

As alterações de determinados fatores ambientais como temperatura, salinidade, concentração de oxigênio dissolvido e o fotoperíodo são geralmente consideradas como potenciais fontes de estresse para as mais variadas espécies de peixes. Entretanto, dentre esses fatores, a manipulação do fotoperíodo

aparentemente não interfere na homeostase de algumas espécies de peixes teleósteos de interesse comercial.

Portanto, torna-se imprescindível a realização de estudos com a manipulação do fotoperíodo para a otimização do crescimento e reprodução de alevinos de tilápia do Nilo, uma vez que é a principal espécie criada no território nacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ritmos biológicos

Os ritmos biológicos são definidos como qualquer evento que se repete de maneira regular em um organismo. Os ritmos mais estudados são aqueles relacionados às mudanças ambientais, sendo um evento cíclico caracterizado por um ambiente do qual o animal pode se adaptar. Por outro lado, as mudanças não periódicas são irregulares e afetam a expressão rítmica, apresentando também um significado ecológico (MORGAN, 2004).

Os ciclos geofísicos criados pelos movimentos da terra são responsáveis por recorrentes ciclos periódicos vivenciados pelos organismos vivos. Sob tais ciclos, os animais têm desenvolvido comportamentos e mecanismos fisiológicos para antecipar previsíveis mudanças no ambiente, conseguindo, portanto, otimizar os processos biológicos (DARDENTE; CERMAKIAN, 2007; GODMAN, 2001; KUMAR, 1997; VERA et al., 2009). As mudanças ambientais atuam como um “*Zeitgeber*”, ou seja, um sincronizador que arrastam os ritmos biológicos em suas periodicidades, amplitude e fase (ASCHOFF, 1981; RENSING; RUOFF, 2002; VERA et al., 2009). Várias condições devem ser atendidas para que um fator ambiental possa ser considerado como um válido “*Zeitgeber*”. Portanto, quando o animal é exposto a um determinado fator externo deve haver uma relação entre a fase estável e o sincronizador do ritmo. Uma vez que o sincronizador é suprimido, o ritmo biológico de funcionamento deve ser “*free-run*”, ou seja, deve ser de livre curso da fase previamente determinada pelo “*Zeitegeber*” (MOORE-EDE; SULZMAN; FULLER, 1982; VERA et al., 2009).

Nos vertebrados, os ritmos biológicos têm sido classificados de acordo com sua periodicidade, podendo ser ultradiano, que são ciclos que se repetem

em intervalos de até 20 horas; circadianos que são ciclos que se repetem em intervalos de 20 até 28 horas; e infradianos que são ciclos que se repetem em intervalos maiores do que 28 horas (HERRERO; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2003; SCHULZ; LEUCHTENBERGER, 2006). Dentro destes ritmos, o ciclo circadiano, ou seja, o ciclo claro/escuro é considerado o mais importante fator ambiental sincronizador dos ritmos biológicos (VERA et al., 2007), e presente nos mais variados grupos de vertebrados e invertebrados sendo, portanto, um dos mais estudados (VERA et al., 2009).

Entretanto, o sincronizador “*Zeitgeber*” compreende não só apenas os ciclos geofísicos, como também os relacionados a ciclos sociais ou com a disponibilidade de alimento (ASCHOFF, 1960). O ciclo de disponibilidade alimentar também é considerado um dos mais importantes sincronizadores para vários grupos de vertebrados (HURD et al., 1998; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995; VERA et al., 2007). Desse modo, existem vários sincronizadores que têm a capacidade de promover a sincronização dos ritmos biológicos, assim como também são vários os ritmos sincronizados aos ciclos ambientais que ocorrem dentro de um organismo.

2.2 O ciclo circadiano e alimentar sobre a atividade locomotora em peixes

Os peixes, quando submetidos ao ciclo circadiano, ou seja, um ciclo de luz/escuro demonstram um padrão de atividade locomotora que os podem classificar como diurnos, noturnos e crepusculares (BLANCO-VIVES; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; HERRERO; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2003; MADRID; BOUJARD; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2001; SCHULZ; LEUCHTENBERGER, 2006; VERA et al., 2009). Trabalhos com *goldfish*, *Carassius auratus* (IIGO et al., 1994; IIGO; TABATA, 1996; LÓPEZ-OLMEDA; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2006); *zebrafish*, *Danio rerio*

(BLANCO-VIVES; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; HURD et al., 1998); pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (BARAS, 2000) e com tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (FORTES-SILVA et al., 2010b; TOGUYENE et al., 1997) demonstraram que estas espécies apresentam maior atividade locomotora durante o período de luz quando mantidas sob um ciclo circadiano determinado sendo, deste modo, classificadas como predominantemente diurnas. Por outro lado, estudos com tenca, *Tinca tinca* (HERRERO; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2003) e linguado, *Solea senegalensis* (BAYARRI et al., 2004), demonstraram que a atividade locomotora foi predominantemente durante o período noturno, sendo estas espécies classificadas como de hábito noturno. Assim sendo, pode-se concluir que o ciclo luz/escuro tem sido considerado um dos mais importantes fatores ambientais sincronizadores do ritmo biológico (VERA et al., 2007), sendo o fator chave para sincronização do ritmo de atividade em peixes (IIGO; TABATA, 1996), cujo padrão de atividade deve ser levado em conta para o sucesso da criação de determinadas espécies em cativeiro.

No entanto, em algumas espécies de peixes teleósteos a caracterização do padrão diário de atividade não é tão expressiva, sendo que dentro da mesma espécie pode haver variabilidade em seu padrão de atividade (HELFMAN, 1993; VERA et al., 2009). Geralmente, é aceito que o padrão de atividade em peixes demonstra forte plasticidade (ALI, 1992; MADRID; BOUJARD; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2001; REEBS, 2002; VERA et al., 2009). Essa variabilidade do padrão de atividade foi caracterizada em alguns estudos com adultos de tilápia do Nilo (VERA et al., 2009) e *goldfish* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996), onde alguns exemplares apresentavam comportamento diurnos, outros noturnos e, alguns poucos, apresentavam uma atividade arritmica. Em estudos com *sharpnose seabream*, *Diplodus puntazzo* (VERA; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2006) e adultos de tilápia do Nilo (FORTES-SILVA et al., 2010b)

foi demonstrado a existência de fases independentes entre atividade locomotora e alimentar.

Essa diferença na organização circadiana seria, em grande parte, por consequência da variação do padrão de comportamento interindividual (VERA et al., 2009), ou devido a uma rápida adaptação a determinados ambientes em que os grupos de vertebrados, principalmente os peixes, foram submetidos por uma variedade de pressões de seleção desconhecidas (MIGAUD et al., 2007). Portanto, tem-se proposto que os peixes de água doce apresentam maior flexibilidade do sistema circadiano do que mamíferos (IIGO; TABATA, 1996; NARUSE; OISHI, 1994; TABATA et al., 1989) e peixes marinhos, provavelmente devido à relativa instabilidade de seus ambientes (REEBS, 2002; VERA et al., 2009). Além disso, a fase de desenvolvimento do animal também deve ser levada em consideração, sendo que esta variação de atividade pode ser atribuída à extrema variação na exigência do fotoperíodo, que é espécie específica e também depende da fase de desenvolvimento em que se encontra o animal (ADEWOLU; ADENIJI; ADEJOBI, 2008; BOEUF; BAIL, 1999; BRITZ; PIENAAR, 1992; FORTES-SILVA et al., 2010b; MADRID; BOUJARD; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2001; SILVA-GARCIA, 1996). Provavelmente, larvas e alevinos de peixes diurnos apresentam melhor desenvolvimento sob longos fotoperíodos devido à maior atividade metabólica desses animais nessas fases de desenvolvimento.

O ciclo alimentar também atua como um potente “*Zeitgeber*” sobre o controle da atividade locomotora (HURD et al., 1998; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ARANDA; MADRID, 2001; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995; VERA et al., 2007). Em condições laboratoriais ou de cultivo, quando o alimento é fornecido todos os dias e em horários estabelecidos, pode ser observado aumento na atividade locomotora dos peixes algum tempo antes da alimentação, sendo descrito como atividade alimentar antecipatória. Este

comportamento foi demonstrado em estudos com *goldfish* (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; VERA et al., 2007) e *seabream Sparus aurata* (MONTROYA et al., 2010).

A importância biológica da atividade alimentar antecipatória como ritmo biológico, em geral, é que os peixes conseguem prever com habilidade e antecipar um recorrente evento que é a alimentação. Estas respostas antecipatórias à alimentação provavelmente funcionam sob um controle endógeno, uma vez que estas respostas persistem quando os animais são mantidos em jejum, mas desaparecem quando mantidos nesta constante condição por um longo período (SHEVING; TSAI; SHEVING, 1983; VERA et al., 2007).

A atividade alimentar antecipatória também pode ocorrer em condição natural, onde os peixes precisam se alimentar em um curto intervalo de tempo, no qual o alimento está mais disponível e o risco de ser predado é menor (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; MONTROYA et al., 2010; STRUBBE; DIJK, 2002). Em ambas as condições, cativeiro ou natural, os peixes precisam otimizar a captura do alimento, assim como os processos digestivos e metabólicos para poder concentrar a ingestão de alimento em um menor intervalo de tempo, melhorando, portanto, a utilização dos nutrientes (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; MONTROYA et al., 2010). Segundo Vera et al. (2007), durante a atividade alimentar antecipatória presenciada em estudos com *goldfish*, houve aumento do hormônio orexigênico NPY hipotalâmico e secreção da enzima amilase no trato gastrointestinal.

Alguns autores têm sugerido a existência de separados osciladores promovidos pelo ciclo de luz/escuro e o alimentar, como também a existência de um simples oscilador fortemente acoplado promovido pela luz e a alimentação, no qual o arrastamento pela alimentação poderia superar o promovido pelo ciclo

de luz/escuro em alguns casos (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997; VERA et al., 2007). Estudos com *goldfish* (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009) e *gilthead seabream Sparus aurata* (MONTOYA et al., 2010) demonstraram mudança na atividade locomotora dos animais quando estes foram alimentados em horários diferentes, caracterizando o ritmo alimentar como um potente sincronizador da atividade locomotora em peixes. Por outro lado, alguns estudos com a utilização de alimentadores automáticos de demanda demonstraram que adultos de tilápia do Nilo apresentaram padrão de atividade alimentar predominantemente durante o período de luz (FORTES-SILVA et al., 2010a; TOGUYENI et al., 1997). Além disso, foi demonstrado em experimentos com adultos de pirapitinga, *Piaractus brachypomus*, que estes apresentavam maior atividade durante o período diurno, mesmo quando alimentados durante o dia, à noite, ou deixados em jejum, reforçando a hipótese de quem caracteriza a atividade dos peixes é o ritmo circadiano, ou seja, a presença ou ausência de luz, sendo pouco influenciado pela disponibilidade de alimento (BARAS, 2000).

Portanto, o ciclo luz/escuro, assim como a alimentação, pode ser considerado o fator mais importante no controle dos ritmos biológicos em peixes (LOPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; MONTOYA et al., 2010), apresentando estes dois fatores um elevado grau de acoplamento (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ARANDA; MADRID, 2001; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997).

2.3 Controle do relógio biológico em peixes

As pesquisas atuais com melatonina, em espécies de peixes teleósteos, trazem evidências adicionais às quais sugerem que os mecanismos envolvidos na percepção da luz e transdução através do eixo circadiano central teriam mudado

radicalmente, provavelmente por refletir o ambiente o qual esses animais evoluíram (FALCON et al., 2010; IIGO; TABATA, 1996; MIGAUD et al., 2007; NARUSE; OISHI, 1994; TABATA et al., 1989; VERA et al., 2009). O sistema circadiano de teleósteos é considerado como um multifotorreceptor e sistema multioscilar (BROMAGE; PORTER; RANDALL, 2001; FALCON et al., 2010; WRIGHT et al., 2006).

A existência de um oscilador circadiano tem sido sugerida através da pineal, retina e o cérebro, estando estas estruturas envolvidas na transdução do sinal fótico para estabelecer um ritmo circadiano em peixes (BROMAGE; PORTER; RANDALL, 2001; EKSTROM; MEISSL, 1997; FALCON, 1999; FALCON et al., 2007, 2010; WRIGHT et al., 2006). O acoplamento entre essas estruturas pode variar em cada indivíduo de acordo com as condições fisiológicas e ambientais, resultando em uma plasticidade no sistema circadiano de peixes teleósteos. Até algum tempo, apenas dois tipos de ritmos circadianos era proposto, sendo o salmão *versus* outras espécies de peixes teleósteos. Atualmente, é sugerido que uma terceira organização circadiana poderia acontecer em teleósteos, a qual se baseia no controle fótico da produção de melatonina pelos olhos e a glândula pineal (FALCON et al., 2010; MIGAUD et al., 2007).

Estudos com salmão e truta (MIGAUD et al., 2007) e com *goldfish* (KEZUKA et al., 1992) demonstraram que quando estes peixes eram oftalmectomizados os níveis de melatonina plasmática não eram afetados. Este fato confirma que, nestas espécies, a glândula pineal é luz sensível e não requer dos olhos para controle rítmico da produção de melatonina (EKSTROM; MEISSL, 1997). Este sistema pode ser considerado como não especializado, com as células da pineal atuando tanto na percepção da luz como na produção de melatonina. Este fato também confirma que a melatonina produzida pelos olhos,

nestas espécies, não contribui para os níveis plasmáticos (MIGAUD et al., 2007).

Um diferente sistema circadiano, intermediário, pode ser exemplificado com *seabass* e bacalhau oftalmectomizados, que resultou em um significativo decréscimo da produção de melatonina no período noturno (MIGAUD et al., 2007). Tais resultados corroboram com estudos prévios com *seabass* (FALCON et al., 2007), pássaros (BRANDSTATTER, 2003) e anfíbios (WRIGHT et al., 2006). Em todas estas espécies, os resultados sugerem que tanto os olhos quanto a glândula pineal são necessários para sustentar a amplitude total dos ritmos de melatonina. Assim, a luz percebida pelos olhos pode regular a síntese de melatonina pela glândula pineal provavelmente através de projeções neural no cérebro (JIMÉNEZ; FERNÁNDEZ-LLÉBREZ; PÉREZ-FÍGAREZ, 1995; YÁÑEZ; ANADÓN, 1998). Tais diferenças entre a produção de melatonina pela pineal e retina podem ser devido a diferentes papéis funcionais, sendo que a melatonina proveniente da glândula pineal a real indicadora endócrina do ciclo circadiano (FALCON et al., 2007, 2010; MIGAUD et al., 2007). Por outro lado, a melatonina originária dos olhos pode estar envolvida em proteção parácrina e adaptação de retina (FALCON et al., 2003; MIGAUD et al., 2007).

A tilápia e o *catfish* apresentam muitas outras diferenças em relação ao sistema circadiano em comparação ao salmão, truta, *seabass*, *goldfish* e o bacalhau. Trata-se da existência de um terceiro tipo de sistema circadiano, sendo este especializado. Neste sistema, a glândula pineal poderia ser não luz sensitiva ou muito menos sensitiva do que de outras espécies de teleósteos. Além disso, alguns resultados sugerem que estas duas espécies, oftalmectomizadas, também não teriam um ciclo circadiano independente, sendo a produção de melatonina noturna suprimida, mantendo-se nos níveis como durante o dia. Entretanto, uma fundamental diferença com mamíferos permanece, sendo que a falta de um aparente ciclo circadiano independente, levaria a produção de melatonina na

ausência dos olhos, no caso de mamíferos (MIGAUD et al., 2007). Outra organização circadiana também dependente da fotorecepção da retina tem sido sugerida em um dos peixes mais primitivos, o peixe bruxa *Eptatretus burgeri* (KABASAWA; OOKA-SOUDA, 1989; MENAKER; MOREIRA; TOSINI, 1997).

Essas diferenças no eixo circadiano dos peixes teleósteos sugerem claramente que uma mudança tem ocorrido dentro dessa classe em direção a um sistema circadiano compartimentado, similar ao que ocorre em mamíferos (FALCON et al., 2010; MIGAUD et al., 2007). Portanto, as diferenças na organização circadiana que se encontra entre os vertebrados são, em grande parte, em consequência da rápida adaptação a determinados nichos fóticos dentro dos quais os grupos têm sido submetidos por uma variedade de pressão de seleção desconhecida (FALCON et al., 2010; MIGAUD et al., 2007; REEBS, 2002; VERA et al., 2009). Os peixes, sem dúvida, têm evoluído durante longos períodos nos ambientes mais adversos, sendo que essa evolução deve-se a vários fatores, como por exemplo, a temperatura, o nível da água, a disponibilidade de alimento, a predação, como também pelo fotoperíodo que regula o sistema circadiano (MIGAUD et al., 2007).

2.4 Fotoperíodo e crescimento em peixes

A manipulação do fotoperíodo com objetivo de aprimorar o crescimento dos peixes tem se tornado cada vez mais frequente dentro da produção de várias espécies de interesse comercial (TAYLOR; MIGAUD, 2009). O fotoperíodo, dentre outros fatores ambientais, é o que apresenta maior influência sobre o relógio biológico dos peixes ao afetar o ganho de peso, a ingestão de alimento, o gasto de energia, a atividade locomotora, bem como outros parâmetros

fisiológicos (BISWAS; ENDO; TAKEUCHI, 2002; BISWAS; TAKEUCHI, 2002).

Para algumas espécies de peixes, dias ou fotoperíodos longos podem modificar indiretamente o crescimento, seja pelo aumento do consumo de ração, desenvolvimento da massa muscular devido maior atividade locomotora dos animais (BOEUF; BAIL, 1999), melhor eficiência de utilização dos nutrientes (BISWAS et al., 2005b, 2006a) e/ou devido ao redirecionamento da energia proveniente do desenvolvimento gonadal para o crescimento somático (BOEUF; BAIL, 1999; GINÉS et al., 2004; RAD et al., 2006).

Em determinadas espécies, o aumento do fotoperíodo e da temperatura tem levado para rápidos aumentos de GH e IGF-1, que particularmente são potentes estimuladores do crescimento muscular (TAYLOR; MIGAUD, 2009). O GH é conhecido por ter um positivo efeito sobre o apetite, aumentando com os fotoperíodos mais longos. O aumento da ingestão de alimento, em peixes diurnos submetidos a longos fotoperíodos pode ser devido à maior atividade destes sob estas condições, apresentando maior atividade quando o alimento é ofertado, estimulando, por sua vez, a produção de hormônios orexigênicos sob estas condições (BISWAS et al., 2005b, 2006a; JOHNSON; BJÖRNSSON, 1994; MCCORMICK et al., 1995). Segundo Taylor et al. (2005), juvenis de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) submetidos a um longo fotoperíodo (18L:6E) demonstram uma estimulação direta sobre o crescimento devido ao aumento do nível plasmático de IGF-1 em relação aos peixes submetidos ao fotoperíodo natural e ao regime de 6L:18E. Um estudo com a mesma espécie apresentou melhor ganho de peso e crescimento quando estes peixes foram expostos à luz contínua (TAYLOR; MIGAUD, 2009). No entanto, Cruz e Brown (2009), apesar de verificarem uma tendência de aumento da taxa de crescimento específico em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidas a

16L:8E em relação às do fotoperíodo 8L:16E, não constataram relação entre o nível de transcrição de IGF-1 hepático e os fotoperíodos testados.

Fotoperíodos contínuos (24L:0E) estimularam o crescimento de alevinos (1-30 g) e juvenis (19-120 g) de *red sea bream*, *Pagrus major* (BISWAS et al., 2005b, 2006a). Estes resultados sugerem que, para estimular o crescimento, um similar fotoperíodo pode ser utilizado para esta espécie quando se encontram entre 1-120 g do peso vivo. Um aumento do crescimento, sob contínuos períodos de luz, também foi demonstrado com *gilthead seabream*, *Sparus aurata* (GINÉS et al., 2004; KISSIL et al., 2001); *largemouth bass*, *Micropterus salmoides* (PETIT et al., 2003); salmão do Atlântico, *Salmo salar* (THORPE et al., 1988) e *halibut*, *Hippoglossus hippoglossus* (JONASSEN; IMSLAND; STEFANSSON, 2000).

Por outro lado, estudos com *halibut*, *Hippoglossus hippoglossus* (HALLARAKER; FOLKVORD; STEFANSSON, 1995; SIMENSEN et al., 2000) e tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (EL-SAYED; KAWANNA, 2004), demonstraram que o efeito da manipulação do fotoperíodo pode variar dependendo da fase de desenvolvimento do peixe (HALLARAKER; FOLKVORD; STEFANSSON, 1995; SIMENSEN et al., 2000). Além disso, estudos com bagre africano, *Clarias gariepinus*, apresentaram melhor crescimento quando submetidos aos fotoperíodos de 6L: 18E e 0L: 24E (ALMAZÁN-RUEDA et al., 2005). Enquanto Rodriguez, Castello-Orvay e Gisbert (2009) demonstraram que a enguia Européia, *Anguilla anguilla*, apresentou maior crescimento e melhor conversão alimentar na ausência de luz (0L:24E) em relação aos animais sob 12L:12E. Estas diferenças encontradas no crescimento de diferentes espécies podem ser atribuídas à extrema variação na exigência do fotoperíodo, que é espécie específica, além de depender da fase de desenvolvimento em que se encontra o animal (ADEWOLU; ADENIJI;

ADEJOBI, 2008; BOEUF; BAIL, 1999; BRITZ; PIENAAR, 1992; SILVA-GARCIA, 1996).

Como apresentado em revisão por Boeuf e Bail (1999) e Gross, Roelofs e Fromm (1965) foram os primeiros a demonstrarem que o crescimento pode ser influenciado pela manipulação do fotoperíodo, não apenas estimulando o aumento do consumo de ração, mas também pela melhora na eficiência de utilização do nutriente. Um consumo elevado de ração associado com melhor conversão alimentar, sob contínuos períodos de luz, foi demonstrado em várias espécies como *largemouth bass*, *Micropterus salmoides* (PETIT et al., 2003); *haddock*, *Melanogrammus aeglefinus* (TRIPPEL; NEIL, 2003) e *gilthead seabream*, *Sparus aurata* (GINÉS et al., 2004; KISSIL et al., 2001). Segundo Biswas et al. (2005b, 2006a), os peixes expostos a longos e contínuos fotoperíodos podem apresentar um processo digestivo mais eficiente, o qual pode aprimorar a digestão e a eficiência de retenção dos nutrientes.

Os peixes expostos a longos e contínuos fotoperíodos ainda podem apresentar baixa concentração de lipídio corporal, indicando que parte deste lipídio pode ter sido utilizada para mobilizar energia para suprir uma elevada demanda energética devido à maior atividade destes animais (BISWAS et al., 2005b; GINÉS et al., 2004). Além disso, quando os peixes são submetidos a estas condições, o maior crescimento pode ser devido ao aumento da deposição de aminoácidos para a formação da proteína corporal. Isto pode ser atribuído pelo fato das proteínas corporais serem as responsáveis pela maior parte do crescimento em termos de ganho de peso (BISWAS et al., 2005b).

Pesquisas com larvas de tilápia do Nilo demonstraram que as melhores taxas de crescimento e conversão alimentar foram observadas durante fotoperíodos mais longos (18L:6E e 24L:0E). Bezerra et al. (2008), durante o período de 46 dias, também demonstraram que alevinos de tilápia do Nilo submetidos à fotoperíodos longos (16L:8E e 24L:0E) apresentaram melhores

índices de crescimento e sobrevivência. Estes resultados corroboram com o estudo de Rad et al. (2006) que, ao trabalharem com a mesma espécie, demonstraram melhor crescimento dos alevinos sob regime de 24L:0E.

Por outro lado, El-Sayed e Kawanna (2004) não verificaram diferença no crescimento de alevinos de tilápia do Nilo quando estes foram mantidos sob os fotoperíodos de 6L:18E, 12L:12E, 18L:6E e 24L:0E, por um período de 90 dias. Estes autores afirmam que a resposta desta espécie aos ciclos de fotoperíodo depende da fase de desenvolvimento do peixe, sendo as pós-larvas mais sensíveis do que alevinos e adultos aos diferentes fotoperíodos. Segundo Rad et al. (2006), a controvérsia de seus resultados de crescimento com os de El-Sayed e Kawanna (2004) seria pelas condições experimentais, como a intensidade de iluminação utilizada, que apresenta um papel importante para o crescimento dos peixes, principalmente durante os estágios iniciais de desenvolvimento. Além disso, a diferença poderia ser atribuída ao diferente método estatístico na análise dos dados, uma vez que, apesar de não ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos, os fotoperíodos mais longos (18L:6E e 24L:0E) apresentaram uma tendência de melhores taxas de crescimento.

2.5 Fotoperíodo e reprodução em peixes

Apesar de a temperatura ser considerada como o principal fator ambiental responsável pela reprodução (MIGAUD et al., 2002), tem sido demonstrado, recentemente, que a manipulação do fotoperíodo também tem um importante papel no desenvolvimento reprodutivo dos peixes (MIGAUD et al., 2006). Segundo Amano et al. (2004), o fotoperíodo é responsável pelo desenvolvimento gonadal, exercendo uma ação direta no eixo hipotálamo-hipófise-gonadas dos peixes teleósteos ao estimular ou inibir a produção de

hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH), de hormônios hipofisários (FSH e LH) e outros hormônios que modulam a reprodução e a maturação dos gametas. As gonadotrofinas regulam a maturação dos gametas, estimulando as gônadas a sintetizar hormônios esteróides. Ao longo do processo de desenvolvimento gonadal, diferentes esteróides sexuais apresentam importância em cada fase, sendo que as gonadotrofinas influenciam em suas produções (HARVEY; CAROLSFELD, 1993).

Variações sazonais no comprimento do dia estão envolvidas na iniciação da gametogênese em *Perca fluviatilis* (MIGAUD et al., 2004). Um regime de luz contínua inibe a reprodução desta espécie em machos e fêmeas que apresentam baixos níveis de hormônios esteróides ao longo do ciclo reprodutivo (MIGAUD et al., 2003). A manipulação do fotoperíodo não influenciou a maturação de fêmeas de *Hippoglossus hippoglossus*, no entanto, a proporção de machos maduros foi significativamente menor em grupos criados sob luz contínua (IMSLAND; JONASSEN, 2005). Sob regime de luz contínua, não foram observados nenhum peixe maduro ou alguma evidência de desenvolvimento gonadal e elevação dos níveis de esteróides em *Melanogrammus aeglefinus* (DAVIE et al., 2007).

Por outro lado, Amano et al. (2004) demonstraram que as concentrações cerebrais de sGnRH em machos de linguado foram significativamente maiores no regime de 16L: 8E em relação ao grupo mantido sob fotoperíodo de 8L:16E. A exposição de carpa, *Catla catla*, ao regime de 16L:8E durante a fase preparatória resultou em significativo aumento nos valores de vitelogenina e na atividade de ambas as enzimas da esteroidogênese, mas não no peso do ovário e no número relativo a diferentes fases de oócitos (DEY; BHATTACHARYA; MAITRA, 2005). Hellqvist et al. (2004) também observaram supressão significativa dos hormônios β -FSH e β -LH em machos de *Gasterosteus aculeatus* quando submetidos ao fotoperíodo de 8L:16E em relação ao de

16L:8E. Fiszbein et al. (2010) em estudo com *Cichlasoma dimerus* verificaram efeitos inibidores sobre hormônios ligados a reprodução quando estes peixes foram mantidos em curto fotoperíodo (8L:16E).

Os efeitos da manipulação do fotoperíodo sobre a reprodução de tilápia não são bem compreendidos. No entanto, tem sido demonstrado que o desempenho reprodutivo e produção de alevinos em *Oreochromis niloticus* e *Oreochromis spilurus* são influenciados pela manipulação do fotoperíodo. Portanto, a manipulação do fotoperíodo poderia ser utilizada como uma poderosa ferramenta no manejo de reprodutores no cultivo de tilápias. Alevinos de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, quando submetidos à fotoperíodos longos (18L:6E), melhoraram alguns aspectos reprodutivos importantes, aumentando a fecundidade e sincronia de desova (CAMPOS-MENDOZA et al., 2004). Segundo Biswas et al. (2005a) a atividade reprodutiva da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (230-340 g) pode ser interferida devido à manipulação do fotoperíodo, sendo que peixes expostos a um fotoperíodo de 6L:6D apresentam um insucesso na desova após três e quatro semanas de ciclo de desova. Além disso, Rad et al. (2006) demonstraram que houve maior crescimento de tilápias do Nilo quando estas foram submetidas a um regime contínuo de luz (24L:0E), sendo provavelmente devido a um atraso do desenvolvimento gonadal destes animais, havendo um redirecionamento da energia para o crescimento somático. A supressão da maturidade sexual com o redirecionamento da energia para o crescimento somático tem sido bem documentada pela exposição dos peixes a longos fotoperíodos (BISWAS et al., 2005a; GINÉS et al., 2003, 2004; RANDALL et al., 2001).

2.6 Fotoperíodo e estresse em peixes

As alterações de determinados fatores ambientais são geralmente consideradas como potenciais fontes de estresse (BARTON, 1997; BISWAS et al., 2006b). Os fatores externos, ou seja, os agentes estressores são detectados pelo animal, chegando esta informação ao hipotálamo. Em seguida, vias neurais aferentes do sistema nervoso simpático partem do hipotálamo e chegam às células cromafins do rim, promovendo então a liberação de catecolaminas. Os níveis das catecolaminas se elevam rapidamente, ocorrendo a liberação na corrente sanguínea e uma distribuição por todo organismo, iniciando uma série de efeitos, como aumento da atividade respiratória e cardiovascular (OBA; MARIANO; SANTOS, 2009). Além disso, os fatores liberadores de corticotrofinas (CRFs), que são transportados do hipotálamo para a hipófise estimulam a produção e secreção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) (WENDELAAR-BONGA, 1997). Assim, o ACTH é liberado na corrente sanguínea, chegando ao tecido interrenal onde estimula a produção de hormônios corticosteróides, sendo que, para maioria dos peixes teleósteos o cortisol é o principal hormônio. Os níveis de ACTH podem se elevar rapidamente após ação de um agente estressor ou um fator externo, sendo seguido pelo aumento dos níveis de cortisol. Esta liberação é controlada por *feedback* negativo sobre a hipófise e hipotálamo quando os níveis de cortisol plasmáticos estão elevados. Estas rápidas alterações são conhecidas como respostas primárias ao estresse (OBA; MARIANO; SANTOS, 2009).

A liberação de catecolaminas como também de cortisol apresenta como consequência alterações bioquímicas e fisiológicas, sendo conhecidas como respostas secundárias ao estresse. Algumas destas respostas são: hiperglicemia, hiperlactecemia, diminuição das reservas glicogênicas, lipólise, inibição da síntese protéica e redução dos níveis de ácido ascórbico (OBA; MARIANO;

SANTOS, 2009). Além disso, pode ocorrer aumento no catabolismo de proteínas musculares e alterações nos níveis plasmáticos de aminoácidos, ácidos graxos livres e colesterol (MILLIGAN, 2003; PICKERING; POTTINGER, 1995; ROCHA; CARVALHO; URBINATI, 2004).

As respostas terciárias ao estresse são ocasionadas devido à exposição crônica dos animais aos agentes estressores, podendo levar a alterações patológicas, como redução dos processos reprodutivos, diminuição da ingestão de alimento, da taxa de crescimento e resistência a doenças (OBA; MARIANO; SANTOS, 2009). Segundo Pankhurst e Kraak (1997) a exposição de salmonídeos a agentes estressores leva à supressão do eixo hipotálamo-hipófise-gônadas e resulta na diminuição dos níveis dos hormônios sexuais. Em machos, a exposição crônica aos agentes estressores resultou na redução dos níveis de gonadotropinas na hipófise, diminuição dos níveis plasmáticos de testosterona e 11-ceto-testosterona, levando a redução dos testículos e números de espermatozoides, quando comparado com animais em homeostase. Nas fêmeas expostas aos agentes estressores ocorre a diminuição de gonadotropinas, estradiol circulante e vitelogenina plasmática, precursora do vitelo. Além disso, o estresse está envolvido com a mortalidade e sobrevivência das larvas (JOBLING, 1994).

Os peixes são suscetíveis a mudanças ambientais agudas e crônicas, demonstrando alguma resposta a esse estresse (BARTON; IWAMA, 1991; BISWAS et al., 2004; IWAMA; MORGAN; BARTON, 1995; WENDELAAR-BONGA, 1997). Em peixes teleósteos, a elevação plasmática dos níveis de cortisol e glicose é reconhecida como as principais respostas ao estresse, sendo amplamente utilizada como indicador dessa resposta (BARTON, 1997; BARTON; IWAMA, 1991; BISWAS et al., 2006b). O nível basal de cortisol plasmático varia entre as diversas espécies de peixes, sendo que, para tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* estes níveis se encontram entre 22-78 ng.mL⁻¹

(BARRETO, 2002), em *Leuciscus cephalus* 250 ng.mL⁻¹ (POTTINGER et al., 2000), em *Brycon amazonicus* 90 ng.mL⁻¹ (ROCHA; CARVALHO; URBINATI, 2004). Em situações de estresse agudo pode ocorrer rápido aumento dos níveis de cortisol plasmáticos, sendo que estes níveis podem retornar as condições basais em um período de 24 horas.

No entanto, quando o peixe é exposto a agentes estressores crônicos, ou seja, de modo contínuo, o nível de cortisol plasmático se mantém elevado por dias ou até mesmo semanas (PICKERING; POTTINGER, 1989). O estresse crônico é responsável pela supressão da ingestão de alimento (BERNIER; PETER, 2001; WANG; KING; WOODS, 2004), além de reduzir o crescimento devido à realocação de energia para atividades destinadas a restabelecer a homeostase, tais como respiração, locomoção, regulação hidromineral e reparação de tecidos (BARCELLOS et al., 1999; BARTON, 1997; BARTON; IWAMA, 1991; WENDELAAR-BONGA, 1997).

O hematócrito também tem aumentado sob condições de estresse (PIERSON et al., 2004; WANG; HEIGENHAUSER; WOOD, 1994) e este fato pode ser atribuído devido ao recrutamento de hemácias do baço (JENSEN, 1987) e/ou aumento de tamanho das células vermelhas (WANG; HEIGENHAUSER; WOOD, 1994). Por outro lado, o hematócrito também tem decrescido sob condições de estresse crônico (BARCELLOS et al., 2004).

Apesar das manipulações do fotoperíodo influenciarem os níveis de hormônios esteróides sexuais, corticosteróides, número de eritrócitos e a atividade locomotora diária, o estresse não é aparentemente uma consequência dessas alterações (BISWAS et al., 2004, 2006b). Estudo com tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, submetidas aos fotoperíodos de 12L:12E e 6L:6D, demonstrou que estes animais não apresentaram estresse agudo ou crônico quando submetidos a esses fotoperíodos (BISWAS et al., 2004). Juvenis de *red sea bream*, *Pagrus major* (1-30 g) apresentaram melhor crescimento quando

criados sob fotoperíodo de 24 horas de luz sem nenhuma resposta de estresse (BISWAS et al., 2006a, 2006b). Segundo Biswas et al. (2006b) juvenis de *Pagrus major* (12-16 g) apresentaram melhor crescimento quando submetidos a um fotoperíodo de 24 horas, não apresentando nenhuma resposta significativa a um estresse agudo ou crônico. Estudo com *striped knifejaw*, *Oplegnathus fasciatus*, submetidos a diferentes fotoperíodos demonstrou que, além da manipulação do fotoperíodo aumentar o crescimento e a retenção de proteína, também não causou resposta significativa de estresse (BISWAS et al., 2008). Mesmo com a redução da maturação gonadal em peixes sob regime de 12L:12E e 24L: 0E, a manipulação do fotoperíodo não causou resposta significativa em *Pagrus major* (BISWAS et al., 2010).

Por outro lado, Leonardi e Klempau (2003) demonstraram que a manipulação do fotoperíodo induz uma significativa resposta ao estresse em truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss*, com os níveis de cortisol permanecendo elevados por pelo menos dois meses após o período em que os peixes ficaram submetidos aos fotoperíodos. Além disso, bagres africanos *Clarias gariepinus* apresentaram maiores níveis de cortisol e agressividade quando submetidos a regimes de 12L:12E e 18L:6E em relação aos períodos curtos e ausência de luz (ALMAZÁN-RUEDA et al., 2005).

2.7 A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

No mundo existem cerca de 70 espécies de tilápia, as quais se distribuem em quatro gêneros: *Oreochromis*, *Sarotherodon*, *Tilapia* e *Danakilia*. No entanto, apenas quatro espécies do gênero *Oreochromis* merecem destaque na produção comercial: *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo) *Oreochromis mossambicus* (tilápia de Moçambique), *Oreochromis aureus* (tilápia áurea ou

azul) e *Oreochromis hornoum* (tilápia de Zanzibar) (KUBITZA, 2000), sendo a primeira espécie a de maior importância econômica no Brasil e no mundo.

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), originária da África, ocupa a seguinte classe sistemática descrita por Nakatani et al. (2001):

Super classe Pisces

Classe Actinopterygii

Ordem Perciformes

Subordem Percoide

Família Cichlidae

Gênero *Oreochromis*

Espécie *niloticus* (Linnaeus, 1758)

A espécie é uma das principais cultivadas no mundo, sendo responsável por 6,7% da produção global de peixes cultivados, ficando atrás apenas das carpas. Além disso, o Brasil é o sexto produtor na escala mundial de produtores de tilápia, sendo responsável por 3,3% do total da produção (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2007).

A larga produção da tilápia no mundo deve-se a alguns aspectos como à sua rusticidade, rápido crescimento em condições intensivas de cultivo, carne de excelente qualidade, ausência de espinhas em forma de Y, maturidade sexual precoce, fácil e constante reprodução ao longo do ano, além da alta prolificidade (BEZERRA et al., 2008; KUBITZA, 2000).

Apesar de alguns trabalhos já existentes na literatura sobre a manipulação de fotoperíodos em tilápia do Nilo, ainda não está completamente elucidado o comportamento rítmico da espécie. Além disso, poucos trabalhos avaliaram e relacionaram a atividade locomotora, crescimento, reprodução e estresse nessa espécie.

REFERÊNCIAS

ADEWOLU, M. A.; ADENIJI, C. A.; ADEJOB, A. B. Feed utilization, growth and survival of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) fingerlings cultured under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 283, n. 1/4, p. 64-67, Oct. 2008.

ALI, M. A. **Rhythms in fishes**. New York: Plenum, 1992. 236 p.

ALMAZÁN-RUEDA, P. et al. Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*. **Journal of Fish Biology**, London, v. 67, n. 4, p. 1029-1039, Apr. 2005.

AMANO, M. et al. Effects of photoperiod on gonadotropin-releasing hormone levels in the brain and pituitary of underyearling male barfin flounder. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 70, n. 5, p. 812-818, Oct. 2004.

ASCHOFF, J. Biological rhythms. In: _____. **Handbook of behavioral neurobiology**. New York: Plenum, 1981. v. 4, p. 3-10.

_____. Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, New York, v. 25, p. 11-28, 1960.

BARAS, E. Day-night alternation prevails over food availability in synchronising the activity of *Piaractus brachipomus* (Characidae). **Aquatic Living Resources**, Paris, v. 13, n. 2, p. 115-120, Mar. 2000.

BARCELLOS, L. J. G. et al. Hematological changes in jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy and Gaimard *Pimelodidae*) after acute and chronic stress caused by usual aquacultural management, with emphasis on immunosuppressive effects. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 237, n. 1/4, p. 229-236, Aug. 2004.

_____. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 30, n. 6, p. 437-444, June 1999.

BARRETO, R. E. **Estressor social facilita estresse na tilápia do Nilo?** 2002. 38 p. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BARTON, B. A. Stress in finfish: past, present and future: a historical perspective. In: IWAMA, G. K. et al. (Ed.). **Fish stress and health in aquaculture**. Cambridge: Cambridge University, 1997. p. 1-33. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 62).

BARTON, B. A.; IWAMA, G. K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. **Annual Review of Fish Diseases**, Cambridge, v. 1, p. 3-26, 1991.

BAYARRI, M. J. et al. Daily locomotor activity and melatonin rhythms in Senegal sole (*Solea senegalensis*). **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 81, n. 4, p. 577-583, June 2004.

BERNIER, N. J.; PETER, R. E. The hypothalamic-pituitary-interrenal axis and the control of food intake in teleost fish. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part B**, New York, v. 129, n. 2/3, p. 639-644, June 2001.

BEZERRA, K. S. et al. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 737-743, jun. 2008.

BISWAS, A. K.; ENDO, M.; TAKEUCHI, T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*, part I. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, n. 3, p. 465-477, June 2002.

BISWAS, A. K. et al. Control of reproduction in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) by photoperiod manipulation. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 243, n. 1/4, p. 229-239, Jan. 2005a.

_____. Effect of photoperiod manipulation on the growth performance and stress response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 258, n. 1/4, p. 350-356, Aug. 2006a.

_____. Growth performance and physiological responses in striped knifejaw, *Oplegnathus fasciatus*, held under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 279, n. 1/4, p. 42-46, July 2008.

_____. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 250, n. 3/4, p. 666-673, Dec. 2005b.

BISWAS, A. K. et al. Physiological responses in Nile tilapia exposed to different photoperiod regimes. **Journal of Fish Biology**, London, v. 65, n. 3, p. 811-821, Sept. 2004.

_____. Reproduction, growth and stress response in adult red sea bream, *Pagrus major* (Temminck & Schlegel) exposed to different photoperiods at spawning season. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 519-527, Feb. 2010.

_____. Stress response of red sea bream *Pagrus major* to acute handling and chronic photoperiod manipulation. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 252, n. 2/4, p. 566-572, Mar. 2006b.

BISWAS, A. K.; TAKEUCHI, T. Effects of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*, part II. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, n. 3, p. 543-553, June 2002.

BLANCO-VIVES, B.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Synchronisation to light and feeding time of circadian rhythms of spawning and locomotor activity in zebrafish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 98, n. 3, p. 268-275, Sept. 2009.

BOEUF, G.; BAIL, P. Y. L. Does light have an influence on fish growth? **Aquaculture**, Amsterdam, v. 177, n. 1/4, p. 129-152, July 1999.

BRANDSTATTER, R. Encoding time of day and time of year by the avian circadian system. **Journal of Neuroendocrinology**, Dunedin, v. 15, n. 4, p. 398-404, Apr. 2003.

BRITZ, P. J.; PIENAAR, A. G. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae). **Journal of Zoology**, London, v. 227, n. 1, p. 43-62, May 1992.

BROMAGE, N.; PORTER, M.; RANDALL, C. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 197, n. 1/4, p. 63-98, June 2001.

CAMPOS-MENDOZA, A. et al. Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 231, n. 1/4, p. 299-314, Mar. 2004.

CRUZ, E. M. V.; BROWN, C. L. Influence of the photoperiod on growth rate and insulin-like growth factor-I gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal of Fish Biology**, London, v. 75, n. 1, p. 130-141, July 2009.

DARDENTE, H.; CERMAKIAN, N. Molecular circadian rhythms in central and peripheral clocks in mammals. **Chronobiology International**, New York, v. 24, n. 2, p. 195-213, Jan. 2007.

DAVIE, A. et al. Inhibition of sexual maturation in tank reared haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) through the use of constant light photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, n. 1/4, p. 379-389, Sept. 2007.

DEY, R.; BHATTACHARYA, B.; MAITRA, S. K. Importance of photoperiods in the regulation of ovarian activities in Indian Major Carp *Catla catla* in an annual cycle. **Journal of Biological Rhythms**, New York, v. 20, n. 2, p. 145-158, Apr. 2005.

EKSTRÖM, P.; MEISSL, H. The pineal organ of teleost fishes. **Review in Fish and Fisheries**, New York, v. 7, n. 2, p. 199-284, June 1997.

EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I., growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 231, n. 1/4, p. 393-402, Mar. 2004.

FALCÓN, J. Cellular circadian clocks in the pineal. **Progress in Neurobiology**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 121-162, Mar. 1999.

FALCÓN, J. et al. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 165, n. 3, p. 469-482, Feb. 2010.

_____. Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, Cambridge, v. 18, n. 2, p. 81-88, Mar. 2007.

_____. Melatonin modulates secretion of growth hormone and prolactin by trout pituitary glands and cells in culture. **Endocrinology**, San Diego, v. 144, n. 10, p. 4648-4658, July 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2006**. Rome, 2007. 180 p.

FISZBEIN, A. et al. Photoperiodic modulation of reproductive physiology and behaviour in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus*. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 99, n. 4, p. 425-432, Mar. 2010.

FORTES-SILVA, R. et al. Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 157-160, Dec. 2010a.

_____. Daily rhythms of locomotor activity, feeding behavior and dietary selection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, New York, v. 156, n. 4, p. 445-450, Aug. 2010b.

GINÉS, R. L. et al. Effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin colour in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 13, p. 1207-1212, Nov. 2004.

_____. Growth in adult gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*) as a result of interference in sexual maturation by different photoperiod regimes. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 73-78, Jan. 2003.

GODMAN, B. D. Mammalian photoperiodic system: formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. **Journal of Biological Rhythms**, New York, v. 16, n. 4, p. 283-301, Aug. 2001.

GROSS, W. L.; ROELOFS, E. W.; FROMM, P. O. Influence of photoperiod on growth of green sunfish, *Lepomis cyanellus*. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, Toronto, v. 22, p. 1379-1386, 1965.

HALLARAKER, H.; FOLKVORD, A. F.; STEFANSSON, S. O. Growth of juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) related to temperature, day length and feeding regime. **Netherlands Journal of Sea Research**, Den Burg, v. 34, n. 1/3, p. 139-147, Nov. 1995.

HARVEY, B.; CAROLSFELD, J. **Induced breeding in tropical fish culture**. Ottawa: IDRC, 1993. 144 p.

HELFMAN, G. S. Fish behavior by day, night and twilight. In: PITCHER, T. J. (Ed.). **Behaviour of teleost fishes**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 479-512.

HELLQVIST, A. et al. Cloning and sequencing of the FSH-b and LH b-subunit in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, and effects of photoperiod and temperature on LH-b and FSH-b mRNA expression. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 135, n. 2, p. 167-174, Jan. 2004.

HERRERO, M. J.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Entrainment to light of circadian activity rhythms in tench (*Tinca tinca*). **Chronobiology International**, New York, v. 20, n. 6, p. 1001-1017, Nov. 2003.

HURD, M. W. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in zebrafish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 65, n. 3, p. 465-472, Oct. 1998.

IIGO, M. et al. Melatonin signal transduction in the goldfish, *Carassius auratus*. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, Amsterdam, v. 18, n. 4, p. 563-569, Mar. 1994.

IIGO, M.; TABATA, M. Circadian rhythms of locomotor activity in the goldfish *Carassius auratus*. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 60, n. 3, p. 775-781, Sept. 1996.

IMSLAND, A. K.; JONASSEN, T. M. The relation between age at first maturity and growth in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at four different light regimes. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 1-7, Jan. 2005.

IWAMA, G. K.; MORGAN, J. D.; BARTON, B. A. Simple field methods for monitoring stress and general condition of fish. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 26, n. 4, p. 273-282, Apr. 1995.

JENSEN, F. B. Influences of exercise-stress and adrenaline upon intra and extracellular acid-base status, electrolyte composition and respiratory properties of blood in tench (*Tinca tinca*) at different seasons. **Journal of Comparative Physiology B**, Heidelberg, v. 157, n. 1, p. 51-60, June 1987.

JIMÉNEZ, A. J.; FERNÁNDEZ-LLÉBREZ, P.; PÉREZ-FÍGAREZ, J. M. Central projections from the goldfish pineal organ traced by HRP-immunocytochemistry. **Histology and Histopathology**, Murcia, v. 10, n. 4, p. 847-852, Oct. 1995.

JOBLING, M. **Fish bioenergetics**. London: Chapman & Hall, 1994. 294 p.

JOHNSON, J. I.; BJÖRNSSON, B. T. Growth hormone increases growth rate, appetite and dominance in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Animal Behaviour**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 177-186, July 1994.

JONASSEN, T. M.; IMSLAND, A. K.; STEFANSSON, S. O. Interaction of temperature and light on growth in Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus*. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 219-227, Feb. 2000.

KABASAWA, H.; OOKA-SOUDA, S. Circadian rhythms in locomotor activity of the hagfish, *Eptatretus burgeri* IV: the effect of eye-ablation. **Zoological Science**, Tokyo, v. 6, n. 1, p. 135-139, 1989.

KEZUKA, H. et al. Effects of photoperiod, pinealectomy and ophthalmectomy on circulating melatonin rhythms in the goldfish, *Carassius auratus*. **Zoological Science**, Tokyo, v. 9, p. 1047-1053, 1992.

KISSIL, G. W. et al. Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 200, n. 3/4, p. 363-379, Sept. 2001.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: F. Kubitza, 2000. 285 p.

KUMAR, V. Photoperiodism in higher vertebrates: an adaptive strategy in temporal environment. **Indian Journal Experimental Biology**, New Delhi, v. 35, n. 5, p. 427-437, May 1997.

LEONARDI, M. O.; KLEMPAU, A. E. Artificial photoperiod influence on the immunesystem of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern hemisphere. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 221, n. 1/4, p. 581-591, May 2003.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; EGEA-ÁLVAREZ, M.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Glucose tolerance in fish: is the daily feeding time important? **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 96, n. 4/5, p. 631-636, Mar. 2009.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Melatonin effects on food intake and activity rhythms in two fish species with different activity patterns: diurnal (goldfish) and nocturnal (tench). **Comparative Biochemistry and Physiology A**, New York, v. 144, n. 2, p. 180-187, June 2006.

MADRID, J. A.; BOUJARD, T.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Feeding rhythms. In: HOULIHAN, D.; JOBLING, M.; BOUJARD, T. (Ed.). **Food intake in fish**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 189-215.

MCCORMICK, S. D. et al. Increased day length stimulates plasma growth hormone and gill Na⁺, K⁺-ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Comparative Physiology B**, New York, v. 165, n. 4, p. 245-254, Mar. 1995.

MENAKER, M.; MOREIRA, L. F.; TOSINI, G. Evolution of circadian organization in vertebrates. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 30, n. 3, p. 305-313, Mar. 1997.

MIGAUD, H. et al. Evidence for differential photic regulation of pineal melatonin synthesis in teleosts. **Journal of Pineal Research**, Copenhagen, v. 43, n. 4, p. 327-335, Nov. 2007.

_____. Induction of out-of-season spawning in Eurasian perch *Perca fluviatilis*: effects of rates of cooling and cooling durations on female gametogenesis and spawning. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 205, n. 3/4, p. 253-267, Mar. 2002.

_____. Influence of photoperiod on reproductive performances in Eurasian perch *Perca fluviatilis*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 252, n. 2/4, p. 385-393, Mar. 2006.

_____. Influence of photoperiod on the onset of gonadogenesis in Eurasian perch *Perca fluviatilis*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 241, n. 1/4, p. 561-574, Nov. 2004.

_____. Influence of photoperiod regimes on the Eurasian perch gonadogenesis and spawning. **Fish Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 28, n. 1/4, p. 395-397, Mar. 2003.

MILLIGAN, C. L. A regulatory role for cortisol in muscle glycogen metabolism in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum. **Journal Experimental Biology**, London, v. 206, n. 8, p. 3167-3173, Aug. 2003.

MONTOYA, A. et al. Synchronization of daily rhythms of locomotor activity and plasma glucose, cortisol and thyroid hormones to feeding in *Gilthead seabream* (*Sparus aurata*) under a light-dark cycle. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 101, n. 1, p. 101-107, Aug. 2010.

MOORE-EDE, M. C.; SULZMAN, F. M.; FULLER, C. A. **The clocks that time us: physiology of the circadian timing system.** Cambridge: Harvard University, 1982. 448 p.

MORGAN, E. Ecological significance of biological clock. **Biological Rhythm Research**, London, v. 35, n. 1/2, p. 3-12, Feb. 2004.

NAKATANI, K. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação.** Maringá: EDUEM, 2001. 378 p.

NARUSE, M.; OISHI, T. Effects of light and food as zeitgebers on locomotor-activity rhythms in the loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. **Zoological Science**, Tokyo, v. 11, n. 1, p. 113-119, Feb. 1994.

OBA, E. T.; MARIANO, W. S.; SANTOS, L. R. B. Estresse em peixes cultivados: agravantes e atenuantes para um manejo rentável. In: TAVARES-DIAS, M. (Ed.). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo.** Macapá: EMBRAPA, 2009. p. 226-247.

PANKHURST, N. W.; KRAAK, G. van der. Effects of stress on reproduction and growth of fish. In: IWAMA, G. K. et al. (Ed.). **Fish stress and health in aquaculture.** Cambridge: Cambridge University, 1997. p. 73-93. (Society for Experimental Biology, Seminar Series, 62).

PETIT, G. et al. Food intake and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) held under alternated light/dark cycle (12L: 12D) or exposed to continuous light. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 228, n. 1/4, p. 397-401, Dec. 2003.

PICKERING, A. D.; POTTINGER, T. G. Biochemical effects of stress. In: HOCHACHKA, P. W.; MOMMSEN, T. P. (Ed.). **Environmental and ecological biochemistry.** Amsterdam: Elsevier, 1995. p. 349-379.

_____. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. **Fish Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 7, n. 1/4, p. 253-258, 1989.

PIERSON, P. M. et al. The stress axis, stanniocalcin, and ion balance in rainbow trout. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 137, n. 3, p. 665-678, July 2004.

POTTINGER, T. G. et al. High blood cortisol levels and low cortisol receptor affinity: is the chub, *Leuciscus cephalus*, a cortisol-resistant teleost? **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 120, n. 1, p. 108-117, Oct. 2000.

RAD, F. et al. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 255, n. 1/4, p. 292-300, May 2006.

RANDALL, C. et al. Photoperiod effects on reproduction and growth in rainbow trout. **Trout News**, London, v. 32, n. 3, p. 403-410, July 2001.

REEBS, S. G. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, New York, v. 12, n. 4, p. 349-371, 2002.

RENSING, L.; RUOFF, P. Temperature effect on entrainment, phase shifting, and amplitude of circadian clocks and its molecular bases. **Chronobiology International**, New York, v. 19, n. 5, p. 807-864, Sept. 2002.

ROCHA, R. M.; CARVALHO, E. G.; URBINATI, E. C. Physiological responses associated with capture and crowding stress in matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 3, p. 24-29, Feb. 2004.

RODRIGUEZ, A.; CASTELLO-ORVAY, F. E.; GISBERT, E. Somatic growth, survival, feed utilization and starvation in European elver *Anguilla anguilla* (Linnaeus) under two different photoperiods. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 40, n. 5, p. 551-557, Mar. 2009.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; ARANDA, A.; MADRID, J. A. Differential effects of meal size and food energy density on feeding entrainment in goldfish. **Journal of Biological Rhythms**, New York, v. 16, n. 1, p. 58-65, Feb. 2001.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Demand feeding and locomotor circadian rhythms in the goldfish, *Carassius auratus*: dual and independent phasing. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 60, n. 2, p. 665-674, Aug. 1996.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Feeding entrainment of locomotor activity rhythms in the goldfish is mediated by a feeding-entrainable circadian oscillator. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, New York, v. 181, n. 2, p. 121-132, July 1997.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; ZAMORA, S.; MADRID, J. A. Light-dark and food restriction cycles in sea bass: effect of conflicting zeitgebers on demand-feeding rhythms. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 58, n. 4, p. 705-714, Oct. 1995.

SCHEVING, L. E.; TSAI, T. H.; SCHEVING, L. A. Chronobiology of the intestinal tract of the mouse. **The American Journal of Anatomy**, New York, v. 168, n. 4, p. 433-465, Dec. 1983.

SCHULZ, U. H.; LEUCHTENBERGER, C. Activity patterns of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 2, p. 565-574, May 2006.

SILVA-GARCIA, A. J. Growth of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) reared under different photoperiod regimes. **Israel Journal of Aquaculture**, Bamidgah, v. 48, n. 1, p. 84-93, 1996.

SIMENSEN, L. M. et al. Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 190, n. 1/2, p. 119-128, Oct. 2000.

STRUBBE, J. H.; DIJK, G. van. The temporal organization of ingestive behaviour and its interaction with regulation of energy balance. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, New York, v. 26, n. 4, p. 485-498, June 2002.

TABATA, M. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in a teleosts, *Silurus asotus*. **Zoological Science**, Tokyo, v. 6, n. 3, p. 367-375, Sept. 1989.

TAYLOR, J.; MIGAUD, H. Timing and duration of constant light affects rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth during autumn-spring grow-out in freshwater. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1551-1558, Sept. 2009.

TAYLOR, J. F. et al. Photoperiod influences growth rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 142, n. 1/2, p. 169-185, May 2005.

THORPE, J. E. et al. Movement rhythms in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. **Journal of Fish Biology**, London, v. 33, n. 6, p. 931-940, Dec. 1988.

TOGUYENI, A. et al. Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis Niloticus*: effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 62, n. 2, p. 273-279, Aug. 1997.

TRIPPEL, E. A.; NEIL, S. R. E. Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 217, n. 1/4, p. 633-645, Mar. 2003.

VERA, L. M. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Chronobiology International**, New York, v. 26, n. 4, p. 666-681, May 2009.

_____. Feeding entrainment of locomotor activity rhythms, digestive enzymes and neuroendocrine factors in goldfish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 90, n. 2/3, p. 518-524, Feb. 2007.

VERA, L. M.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Locomotor, feeding and melatonin daily rhythms in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 88, n. 1/2, p. 167-172, June 2006.

WANG, C.; KING, W.; WOODS, C. Physiological indicators of divergent stress responsiveness in male striped bass broodstock. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1/4, p. 665-678, Aug. 2004.

WANG, Y.; HEIGENHAUSER, G. J.; WOOD, C. M. Integrated responses to exhaustive exercise and recovery in rainbow trout white muscle: acid-base, phosphogen, carbohydrate, lipid, ammonia, fluid volume and electrolyte metabolism. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 195, n. 10, p. 227-258, Oct. 1994.

WENDELAAR-BONGA, S. E. The stress response of fish. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 77, n. 3, p. 591-625, July 1997.

WRIGHT, M. L. et al. Effects of bilateral and unilateral ophthalmectomy on plasma melatonin in *Rana* tadpoles and froglets under various experimental conditions. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 147, n. 2, p. 158-166, June 2006.

YÁÑEZ, J.; ANADÓN, R. Neural connections of the pineal organ in the primitive bony fish *Acipenser baeri*: a carbocyanine dye tract-tracing study. **The Journal of Comparative Neurology**, Philadelphia, v. 398, n. 2, p. 151-161, Aug. 1998.

CAPÍTULO 2

Modulação do ritmo circadiano da atividade locomotora em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com alimentação em horário fixo

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento rítmico de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sob a influência de três diferentes fotoperíodos com alimentação em horário fixo. Para avaliar a atividade locomotora noventa e seis alevinos de tilápia com peso inicial de $3,21 \pm 0,05$ g foram distribuídos em três programas de luz (0L, 12L e 24L) e quatro repetições, sendo o aquário a unidade experimental. Os animais foram mantidos em 12 aquários de 20 L em sistema de recirculação com temperatura controlada em 27 °C e densidade de oito peixes por aquário. A atividade locomotora dos peixes foi determinada pela utilização de fotocélulas que registravam a atividade dos animais em um computador, a cada intervalo de 10min. A alimentação foi realizada duas vezes ao dia, sempre em horário fixo. Quando submetidos ao fotoperíodo 12L, os peixes apresentaram maior atividade locomotora durante o período de luz (80,12%) em relação ao período de escuro do mesmo programa de luz ($P < 0,05$). Além disso, o programa de 24L também apresentou maior atividade locomotora do que os peixes submetidos ao fotoperíodo 0L ($P < 0,05$). Em todos os fotoperíodos os animais apresentaram maior atividade locomotora nos horários da alimentação do que em relação à média de atividade ao longo das 24 horas ($P < 0,05$). Esta maior atividade durante o período de luz caracteriza a espécie, nessa fase de desenvolvimento, como sendo predominantemente diurna, seja pelo efeito do ciclo circadiano ou pelo fornecimento de ração em horário fixo.

Palavras-chave: Atividade alimentar antecipatória. Ciclocircadiano. Fotoperíodo. Peixes. Ritmo locomotor.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the rhythmic behavior of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under the influence of three different photoperiods in time fixed of feed. To evaluate locomotor activity ninety-six tilapia with initial weight of 3.21 ± 0.05 g were divided into three programs of light (0L, 12L and 24L) and four replications, with the aquarium as the experimental unit. The animals were kept in 12 aquariums of 20 L in recirculating system with temperature controlled at 27 ° C and density of eight fish for aquariums. The locomotor activity of fish was determined by use of photocells that recorded the activity of animals on a computer every 10 minutes interval. Feeding was carried out twice a day, always on a fixed schedule. When submitted to a photoperiod 12L, the fish showed higher locomotor activity during the light period (80.12%) compared to the dark of the same period of lighting program ($P < 0.05$). In addition, the 24L program also showed a higher locomotor activity than the fish subjected to photoperiod 0L ($P < 0.05$). In all photoperiods animals showed higher locomotor activity during the hours of feed than the average activity over the 24 hours ($P < 0.05$). This increased activity during the light phase of development characterizes the species as being predominantly diurnal, either by effect of the circadian cycle or by providing food in fixed time.

Keywords: Circadian rhythm. Fish. Food anticipatory activity. Locomotor rhythm. Photoperiod.

1 INTRODUÇÃO

Nos peixes, assim como em todos os vertebrados, os ritmos biológicos têm sido classificados conforme sua periodicidade, podendo ser ultradiano, circadiano e infradiano. Dentro destes ritmos, o ciclo circadiano é considerado o mais importante fator ambiental sincronizador dos ritmos biológicos (VERA et al., 2007). Os peixes, quando submetidos ao ciclo de luz/escuro, demonstram um padrão de atividade locomotora que podem os classificar como diurnos, noturnos e crepusculares (BLANCO-VIVES; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; HERRERO; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2003; MADRID; BOUJARD; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2001; SCHULZ; LEUCHTENBERGER, 2006; VERA et al., 2009). No entanto, em algumas espécies de peixes teleósteos a caracterização do padrão diário de atividade não é tão expressiva, sendo que dentro da mesma espécie pode haver variabilidade em seu padrão de atividade (HELFMAN, 1993; VERA et al., 2009).

Por outro lado, a alimentação em horários programados também atua como um potente “*Zeitgeber*” (sincronizador) sobre o controle da atividade locomotora (HURD et al., 1998; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ARANDA; MADRID, 2001; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995; VERA et al., 2007). Em condições laboratoriais ou de cultivo, quando o alimento é fornecido todos os dias e em horários periódicos, pode ser observado um aumento na atividade locomotora dos peixes algum tempo antes da alimentação, sendo descrito como atividade alimentar antecipatória. O mesmo pode ocorrer em condição natural, onde os peixes precisam se alimentar em um curto intervalo de tempo, no qual o alimento está mais disponível e o risco de ser predado é menor (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; MONTOYA et al., 2010; STRUBBE; DIJK, 2002). Em ambas as condições, os peixes precisam otimizar a captura do alimento, assim

como os processos digestivos e metabólicos para poder concentrar a ingestão de alimento em um menor intervalo de tempo, melhorando, assim, a utilização dos nutrientes (LÓPEZ-OLMEDA; EGEE-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; MONTOYA et al., 2010; STRUBBE; DIJK, 2002; VERA et al., 2007). Deste modo, o ciclo luz/escuro, assim como a alimentação, podem ser considerados os fatores mais importantes no controle dos ritmos biológicos em peixes (MONTOYA et al., 2010), apresentando a alimentação e o ciclo de luz um elevado grau de acoplamento (LÓPEZ-OLMEDA; EGEE-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das espécies mais cultivadas no mundo, destacando-se pela rusticidade e rápido crescimento em sistema de cultivo intensivo. Entretanto, o conhecimento do padrão de comportamento rítmico desta espécie ainda é pouco estudado, apresentando alguns resultados divergentes e não muito claros para caracterização da atividade locomotora da espécie.

Portanto, com este trabalho objetivou-se caracterizar o comportamento rítmico de alevinos de tilápia do Nilo sob a influência de três diferentes fotoperíodos com alimentação em horário fixo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local, animais e desenho experimental

A presente pesquisa foi realizada no Laboratório de Fotoperíodo de Peixes do Setor de Fisiologia e Farmacologia do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil.

Noventa e seis alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com peso inicial de $3,21 \pm 0,05$ g foram distribuídos em três programas de luz: zero horas de luz (0L), doze horas de luz (12L) e vinte e quatro horas de luz (24L) com quatro repetições, sendo o aquário a unidade experimental.

2.2 Instalação

Os animais foram mantidos em 12 aquários de 20 L em sistema de recirculação de água com temperatura controlada por termostato em 27 °C e densidade de oito peixes por aquário. Grupos de quatro aquários foram mantidos isolados sob sistema de iluminação controlado por temporizadores individuais e uma lâmpada fluorescente de 20 W com constante intensidade de 1200 lx sobre a superfície da água. A lâmpada do programa de iluminação 12L era acesa sempre às 7 h e apagada às 19 h. Por outro lado, os programas de iluminação de 0L e 24L as lâmpadas permaneciam desligada e ligada, respectivamente, por todo período experimental.

Para iluminação do ambiente externo do laboratório, foi utilizada uma lâmpada de coloração vermelha de 60 W que era acesa durante a alimentação dos peixes, de acordo com metodologia de Larson et al. (2004).

2.3 Alimentação e registro da atividade locomotora

Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia, em horários fixos, sempre às 9 h e de 17 h, com ração comercial extrusada contendo 40% de proteína bruta e peletes de dois milímetros de diâmetro, na proporção de 3% do peso vivo.

Para avaliar a atividade locomotora dos peixes, os aquários foram equipados com fotocélulas (Omron, modelo E3S-AD62, Quioto Japão), as quais foram fixadas centralizadas e frontalmente aos aquários. As fotocélulas foram conectadas a uma placa de canais (USB-1024HLS, Measurement Computing, Norton, Massachusetts, EUA) e ligadas a um computador. Estas fotocélulas trabalhavam emitindo continuamente um feixe de luz infravermelha e a cada interrupção causada por um peixe era contado e registrado em uma planilha de dados de um programa especializado (DIO98USB, Universidade de Murcia, Espanha) em intervalos de 10min.

2.4 Análise dos dados

As análises estatísticas foram realizadas por meio de teste *t-Student* para comparar a atividade locomotora dos animais, assim como em trabalho realizado por Vera et al. (2009). A realização do teste *t-Student* foi por meio do programa para análise estatística SISVAR 4.3. Para determinação na diferença entre as médias de atividade locomotora foi considerado nível de 5% de significância.

Dentro do programa de 12L, foram comparadas as médias do registro de atividade do período de luz com as médias de atividade do período de escuro. Além disso, foi comparada a média de atividade locomotora do programa de 24L com a do programa de 0L.

Para determinação da influência da alimentação sobre a atividade locomotora dos peixes, comparou-se a média total de atividade dos animais, de cada programa de luz, com a média de atividade dos animais nos horários da alimentação, dos respectivos programas de iluminação.

3 RESULTADOS

Os peixes submetidos ao fotoperíodo de 12L demonstraram que o comportamento rítmico varia de acordo com o ciclo circadiano e o fornecimento de alimento em horário fixo, sendo que alevinos de tilápia do Nilo apresentaram atividade maior e mais constante no período de luz e decresceu durante a fase escura ($P < 0,05$). Os peixes deste fotoperíodo apresentaram uma média de atividade locomotora de 289 registros/ hora, ou seja, 80,12% durante a fotofase, permanecendo mais alta durante toda a fase de luz em relação ao período de escuro. Além disso, a atividade máxima foi registrada às 7 h quando a luz era acesa (Gráfico 1).

Sob este programa de luz, a alimentação programada também influenciou sobre a atividade locomotora ao apresentar aumento de atividade um pouco antes dos horários da alimentação, ou seja, a presença de uma atividade alimentar antecipatória, sendo mais evidente durante o segundo período de alimentação (Gráfico 1).

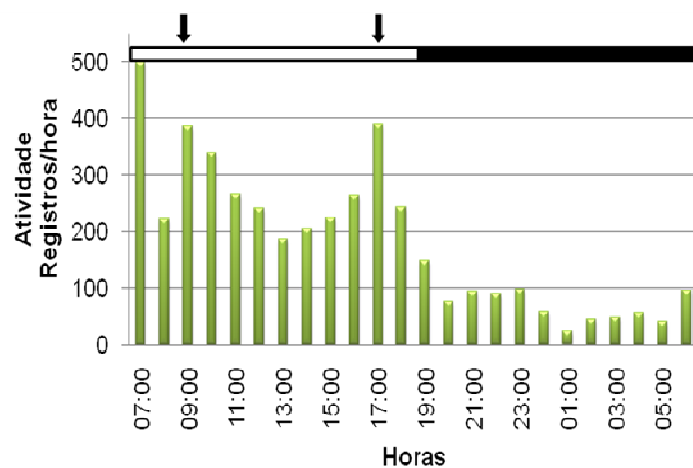


Gráfico 1 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob condições de 12L. As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

Para o programa de 12L, a média de atividade nos horários da alimentação foi de 389 registros/ hora em relação a 180 registros/ hora durante as 24 horas, sendo superior nos horários de alimentação ($P < 0,05$).

Maior atividade da espécie durante o período de luz também foi evidenciado uma vez que os peixes submetidos ao regime 0L apresentaram atividade média de 40 registros/ hora (Gráfico 2), enquanto os animais mantidos sob 24L apresentaram uma atividade locomotora média de 196 registros/ hora ($P < 0,05$) (Gráfico 3).

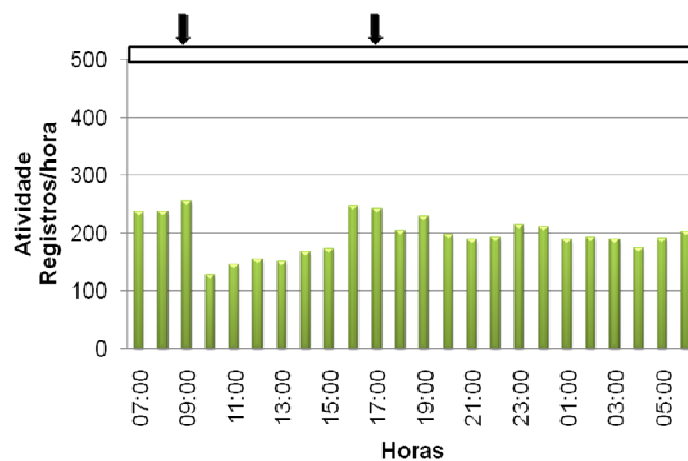


Gráfico 2 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob constante condição de 24L. A barra branca acima do gráfico representa a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

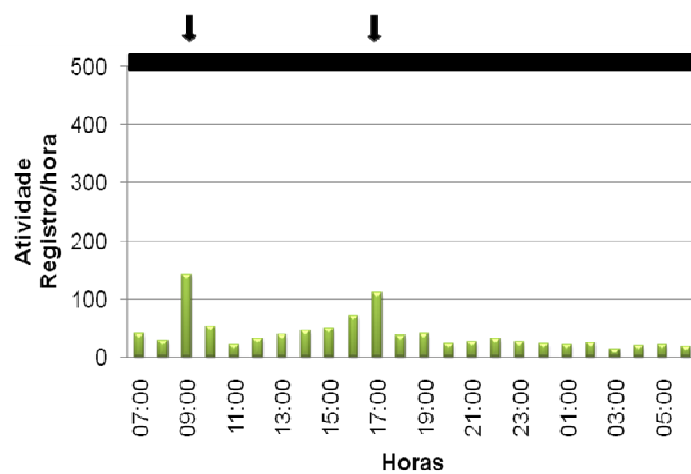


Gráfico 3 Média de atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos em laboratório sob constante condição de 0L. A barra preta, acima do gráfico, representa o período de escuro. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

Mesmo nos peixes mantidos sob constantes condições de luz e escuro, houve um comportamento rítmico que foi determinado pela alimentação periódica dos animais ($P < 0,05$). O fornecimento de alimento em horários programados levou a aumento da atividade alimentar antecipatória, sendo também mais evidente antes da segunda alimentação de ambas as constantes condições de luz (Gráfico 2) e escuro (Gráfico 3).

Os peixes mantidos sob 24L apresentaram atividade média de 191 registros/ hora em relação a uma média de 247 registros a cada alimentação. Por outro lado, os animais mantidos sob 0L apresentaram 32 registros de atividade/ hora, enquanto que, durante as alimentações, a média foi de 117 registros/ hora

4 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo, com alevinos de tilápia do Nilo, demonstram que a atividade locomotora varia de acordo com o padrão circadiano e alimentar, sendo que nesta fase de desenvolvimento estes animais apresentam comportamento predominantemente diurno. Mesmo comportamento foi demonstrado em experimentos com outras espécies como o *goldfish* *Carassius auratus* (IIGO et al., 1994; IIGO; TABATA, 1996); *zebrafish* *Danio rerio* (BLANCO-VIVES; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; HURD et al., 1998); pirapitinga *Piaractus brachypomus* (BARAS, 2000) e com tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (FORTES-SILVA et al., 2010b; TOGUYENI et al., 1997), onde estas espécies apresentaram maior atividade locomotora durante o período de luz, quando estas eram mantidas sobre um ciclo circadiano determinado.

No entanto, estudos com tenca *Tinca tinca* (HERRERO; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2003) e linguado *Solea senegalensis* (BAYARRI et al., 2004), demonstraram que a atividade locomotora foi predominantemente durante o período noturno, sendo estas espécies classificadas como de hábito noturno. Assim sendo, considera-se que o ciclo luz/escuro seja um dos mais importantes fatores ambientais sincronizadores do ritmo biológico (VERA et al., 2007), sendo o fator chave para sincronização do ritmo locomotor em peixes (IIGO; TABATA, 1996), cujo padrão de atividade deve ser levado em conta para o sucesso da criação de determinadas espécies em cativeiro.

Por outro lado, Vera et al. (2009) demonstraram que adultos de tilápia do Nilo sob fotoperíodo 12L apresentaram atividade locomotora diurna, outros noturna e poucos uma atividade arritmica. Esse comportamento variado de atividade foi demonstrado em outros estudos com *goldfish* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996) e em *sharpshout seabream* *Diplodus puntazzo* (VERA;

MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2006). Essa diferença na organização circadiana seria, em grande parte, por consequência da variação inter-individual do padrão de comportamento (VERA et al., 2009) ou devido a rápida adaptação a determinados ambientes em que os grupos de vertebrados, principalmente os peixes, foram submetidos por uma variedade de pressões de seleção desconhecidas (MIGAUD et al., 2007). Portanto, tem-se proposto que os peixes de água doce apresentem maior flexibilidade do sistema circadiano do que mamíferos (IIGO; TABATA, 1996; NARUSE; OISHI, 1994; TABATA et al., 1989) e peixes marinhos, provavelmente devido à relativa instabilidade de seu ambiente (REEBS, 2002; VERA et al., 2009). Além disso, deve ser levada em consideração a fase de desenvolvimento do animal, sendo que estas diferenças encontradas podem ser atribuídas à extrema variação na exigência do fotoperíodo, que é espécie específica e também depende da fase de desenvolvimento em que se encontra o animal (ADEWOLU; ADENIJI; ADEJOBI, 2008; BOEUF; BAIL, 1999; BRITZ; PIENAAR, 1992; FORTES-SILVA et al., 2010b; MADRID; BOUJARD; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2001; SILVA-GARCIA, 1996). Somado a esses fatores, Vera et al. (2009), utilizaram apenas um animal por aquário com intuito de eliminar a interação social entre os peixes (FORTES-SILVA et al., 2010b), enquanto que a presente pesquisa foi similar a de Toguyeni et al. (1997), utilizando grupos de tilápias por aquário. A eliminação da interação social, com a manutenção de apenas um peixe por aquário, pode ter alterado o comportamento destes animais. Os peixes, quando mantidos em grupos caracterizam uma condição mais próxima do real, mesmo sendo animais que estabeleçam níveis hierárquicos. Provavelmente, quando em grupos, estes peixes são estimulados pela maioria, fazendo com que essa interação funcione como uma memória inconsciente, tornando assim mais difícil a dessincronização do ritmo endógeno e, conseqüentemente, do comportamento rítmico dos animais.

A manutenção fixa dos horários de fornecimento de ração demonstrou que a alimentação também pode influenciar na marcação do ritmo circadiano de alevinos de tilápia, uma vez que houve um aumento da atividade alimentar antecipatória, principalmente antes do fornecimento da segunda alimentação, além de picos da atividade durante os períodos de alimentação nos diferentes fotoperíodos. De fato, a alimentação tem demonstrado atuar como um importante sincronizador em algumas espécies de peixe como o *loach Misgurnus anguillicaudatus* (NARUSE; OISHI, 1994), *sea bass Dicentrarchus labrax* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995) e o *goldfish* (LÓPEZ-OLMEDA; EGEE-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; VERA et al., 2007).

Estudos com a utilização de alimentadores automáticos de demanda demonstraram que adultos de tilápia do Nilo apresentaram padrão de atividade alimentar predominantemente durante o período de luz (FORTES-SILVA et al., 2010a; TOGUYENI et al., 1997). Estes resultados reforçam a hipótese de que o principal fator determinante do comportamento rítmico dessa espécie é o ciclo circadiano, ou seja, a alternância do período de luz e escuro ao longo das 24 horas. Além disso, esse comportamento é confirmado em experimentos com adultos de pirapitinga que, mesmo quando alimentados durante o dia, à noite, ou deixados em jejum, apresentaram maior atividade durante o período diurno. Sendo assim, a caracterização da atividade locomotora dos peixes é determinada pelo ritmo circadiano, ou seja, a presença ou ausência de luz, sendo pouco influenciado pela disponibilidade de alimento (BARAS, 2000).

Por outro lado, estudos com outras espécies como *goldfish* (LÓPEZ-OLMEDA; EGEE-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009) e *gilthead seabream Sparus aurata* (MONTROYA et al., 2010) demonstraram uma mudança na atividade locomotora dos animais quando estes foram alimentados em horários diferentes, caracterizando o ritmo alimentar como um potente

sincronizador da atividade locomotora em peixes. Portanto, tem sido sugerida a existência de separados sistemas internos responsáveis pela oscilação do comportamento rítmico, os sistemas dependentes do ciclo luz/escuro e os dependentes da alimentação (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997; VERA et al., 2007). Além disso, um simples sistema controlador da atividade locomotora pode ser determinado pela combinação de ambos os fatores, o ciclo luz/escuro e a alimentação. Entretanto, ainda assim, o fornecimento de alimento em horários fixos poderia superar o ciclo circadiano como um sincronizador do ciclo biológico em alguns casos (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997).

Além dos picos de atividade locomotora nos horários de alimentação, nas três condições de fotoperíodo, também foram registrados aumento da atividade alimentar antecipatória, caracterizando a importância da alimentação na marcação do ciclo circadiano, ou seja, no relógio biológico de alevinos de tilápia do Nilo. Mesmo comportamento foi demonstrado em estudos com *goldfish* (LÓPEZ-OLMEDA; EGEA-ÁLVAREZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2009; VERA et al., 2007) e *seabream Sparus aurata* (MONTROYA et al., 2010). A importância biológica de a atividade alimentar antecipatória, como ritmo biológico, em geral, é que os animais conseguem ser condicionados e, assim, antecipar um recorrente evento que é a alimentação. Estas respostas antecipatórias à alimentação provavelmente funcionam sob um controle endógeno, uma vez que estas respostas persistem quando os animais são mantidos em jejum, mas desaparecem quando mantidos nesta constante condição (SHEVING; TSAI; SCHEVING, 1983; VERA et al., 2007). Em ambiente natural, os animais otimizam processos digestivos e metabólicos os quais permitem concentrar a ingestão de alimento em um curto período de tempo para reduzir o risco de predação (STRUBBE; DIJK, 2002; VERA et al., 2007). Portanto, fisiologicamente, se o organismo é capaz de prever uma próxima

refeição, a preparação para captura do alimento, assim como a utilização dos nutrientes, pode ser aprimorada (VERA et al., 2007). Sendo assim, a existência da atividade alimentar antecipatória em alevinos de tilápia do Nilo, devido à alimentação programada, é suficiente para demarcar um sistema temporizador interno, ou seja, um relógio biológico que determina o ritmo da atividade locomotora nesta espécie.

Com intuito de investigar a existência do controle endógeno sobre comportamento rítmico em peixes, usualmente são testadas constantes condições ambientais de escuro ou luz (REEBS, 2002; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995, 1996; VERA et al., 2009). Este controle endógeno é auto sustentado por, pelo menos, alguns dias após os peixes serem separados de seu sincronizador externo, indicando assim seu controle endógeno (IIGO; TABATA, 1996; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; ZAMORA; MADRID, 1995; VERA et al., 2009). No presente estudo com alevinos de tilápia do Nilo, apesar dos peixes terem permanecido em constantes condições de escuro e luz por 15 dias antes do início do experimento, não foi possível identificar um ritmo de atividade livre “*free-running*”, uma vez que se demarcou o ritmo endógeno através do fornecimento de ração periodicamente. Portanto, com essa demarcação de um ritmo endógeno, sob constantes condições, foi demonstrado como a alimentação periódica atua como um potente sincronizador do comportamento rítmico de alevinos de tilápia, sendo capaz de aumentar a atividade alimentar antecipatória destes animais. Por outro lado, também sob constantes condições, pode ocorrer o reaparecimento do ritmo de atividade livre em animais após a suspensão da alimentação periódica, sugerindo a participação de um ritmo sustentado pelos horários programados de arraçoamento (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1997; VERA et al., 2007).

Em recente pesquisa, Vera et al. (2009) demonstraram que algumas tilápias apresentavam ritmo de atividade livre imediatamente após a mudança de

um fotoperíodo 12L para um de constante condição fótica, enquanto outros animais apresentavam comportamento arritmico por poucos dias e somente depois passavam a apresentar também um livre comportamento rítmico. O mesmo também foi observado em estudos com *zebrafish*, porém, quando transferidos para uma constante condição de escuro (HURD et al., 1998). Neste contexto, o sistema circadiano em peixes teleósteos poderia ser considerado como um sistema multioscilar, podendo diferir entre indivíduos da mesma espécie, dependendo das condições fisiológicas e ambientais em que se encontram (IIGO et al., 1994; VERA et al., 2009).

Portanto, pode-se inferir que alevinos de tilápia do Nilo têm comportamento rítmico predominantemente diurno, sendo o ciclo circadiano e o fornecimento de alimento em horários fixos como potentes sincronizadores do ritmo locomotor endógeno de alevinos de tilápia do Nilo.

REFERÊNCIAS

ADEWOLU, M. A.; ADENIJI, C. A.; ADEJOBİ, A. B. Feed utilization, growth and survival of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) fingerlings cultured under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 283, n. 1/4, p. 64-67, Oct. 2008.

BARAS, E. Day-night alternation prevails over food availability in synchronising the activity of *Piaractus brachypomus* (Characidae). **Aquatic Living Resources**, Paris, v. 13, n. 2, p. 115-120, Mar. 2000.

BAYARRI, M. J. et al. Daily locomotor activity and melatonin rhythms in Senegal sole (*Solea senegalensis*). **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 81, n. 4, p. 577-583, June 2004.

BLANCO-VIVES, B.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Synchronisation to light and feeding time of circadian rhythms of spawning and locomotor activity in zebrafish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 98, n. 3, p. 268-275, Sept. 2009.

BOEUF, G.; BAIL, P. Y. L. Does light have an influence on fish growth? **Aquaculture**, Amsterdam, v. 177, n. 1/4, p. 129-152, July 1999.

BRITZ, P. J.; PIENAAR, A. G. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae). **Journal of Zoology**, London, v. 227, n. 1, p. 43-62, May 1992.

FORTES-SILVA, R. et al. Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 157-160, Dec. 2010a.

_____. Daily rhythms of locomotor activity, feeding behavior and dietary selection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, New York, v. 156, n. 4, p. 445-450, Aug. 2010b.

HELFMAN, G. S. Fish behavior by day, night and twilight. In: PITCHER, T. J. (Ed.). **Behaviour of teleost fishes**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 479-512.

HERRERO, M. J.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Entrainment to light of circadian activity rhythms in tench (*Tinca tinca*). **Chronobiology International**, New York, v. 20, n. 6, p. 1001-1017, Nov. 2003.

HURD, M. W. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in zebrafish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 65, n. 3, p. 465-472, Oct. 1998.

IIGO, M. et al. Melatonin signal transduction in the goldfish, *Carassius auratus*. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, Amsterdam, v. 18, n. 4, p. 563-569, Mar. 1994.

IIGO, M.; TABATA, M. Circadian rhythms of locomotor activity in the goldfish *Carassius auratus*. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 60, n. 3, p. 775-781, Sept. 1996.

LARSON, E. T. et al. Social stress affects circulating melatonin levels in rainbow trout. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 136, n. 3, p. 322-327, May 2004.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; EGEA-ÁLVAREZ, M.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Glucose tolerance in fish: is the daily feeding time important? **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 96, n. 4/5, p. 631-636, Mar. 2009.

MADRID, J. A.; BOUJARD, T.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Feeding rhythms. In: HOULIHAN, D.; JOBLING, M.; BOUJARD, T. (Ed.). **Food intake in fish**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 189-215.

MIGAUD, H. et al. Evidence for differential photic regulation of pineal melatonin synthesis in teleosts. **Journal of Pineal Research**, Copenhagen, v. 43, n. 4, p. 327-335, Nov. 2007.

MONTOYA, A. et al. Synchronization of daily rhythms of locomotor activity and plasma glucose, cortisol and thyroid hormones to feeding in *Gilthead seabream* (*Sparus aurata*) under a light-dark cycle. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 101, n. 1, p. 101-107, Aug. 2010.

NARUSE, M.; OISHI, T. Effects of light and food as zeitgebers on locomotor-activity rhythms in the loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. **Zoological Science**, Tokyo, v. 11, n. 1, p. 113-119, Feb. 1994.

- REEBS, S. G. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, New York, v. 12, n. 4, p. 349-371, 2002.
- SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; ARANDA, A.; MADRID, J. A. Differential effects of meal size and food energy density on feeding entrainment in goldfish. **Journal of Biological Rhythms**, New York, v. 16, n. 1, p. 58-65, Feb. 2001.
- SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Demand feeding and locomotor circadian rhythms in the goldfish, *Carassius auratus*: dual and independent phasing. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 60, n. 2, p. 665-674, Aug. 1996.
- _____. Feeding entrainment of locomotor activity rhythms in the goldfish is mediated by a feeding-entrainable circadian oscillator. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, New York, v. 181, n. 2, p. 121-132, July 1997.
- SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; ZAMORA, S.; MADRID, J. A. Light-dark and food restriction cycles in sea bass: effect of conflicting zeitgebers on demand-feeding rhythms. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 58, n. 4, p. 705-714, Oct. 1995.
- SCHEVING, L. E.; TSAI, T. H.; SCHEVING, L. A. Chronobiology of the intestinal tract of the mouse. **The American Journal of Anatomy**, New York, v. 168, n. 4, p. 433-465, Dec. 1983.
- SCHULZ, U. H.; LEUCHTENBERGER, C. Activity patterns of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 2, p. 565-574, May 2006.
- SILVA-GARCIA, A. J. Growth of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) reared under different photoperiod regimes. **Israel Journal of Aquaculture**, Bamidgah, v. 48, n. 1, p. 84-93, 1996.
- STRUBBE, J. H.; DIJK, G. van. The temporal organization of ingestive behaviour and its interaction with regulation of energy balance. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, New York, v. 26, n. 4, p. 485-498, June 2002.
- TABATA, M. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in a teleosts, *Silurus asotus*. **Zoological Science**, Tokyo, v. 6, n. 3, p. 367-375, Sept. 1989.

TOGUYENI, A. et al. Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis Niloticus*: effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 62, n. 2, p. 273-279, Aug. 1997.

VERA, L. M. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Chronobiology International**, New York, v. 26, n. 4, p. 666-681, May 2009.

_____. Feeding entrainment of locomotor activity rhythms, digestive enzymes and neuroendocrine factors in goldfish. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 90, n. 2/3, p. 518-524, Feb. 2007.

VERA, L. M.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Locomotor, feeding and melatonin daily rhythms in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 88, n. 1/2, p. 167-172, June 2006.

CAPÍTULO 3

Efeito do fotoperíodo sobre a atividade locomotora, crescimento, desenvolvimento gonadal e homeostase em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

RESUMO

O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes fotoperíodos sobre a atividade locomotora, crescimento, desenvolvimento gonadal e homeostase de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (0L; 6L; 12L; 18L; 24L) e quatro repetições, sendo o aquário a unidade experimental. Cento e sessenta alevinos de tilápia com $3,21 \pm 0,05$ g e $4,35 \pm 0,07$ cm, foram distribuídos em 20 aquários de 20 L, em sistema de recirculação com temperatura controlada em 27 °C e densidade de oito peixes por aquário. Por um período de 75 dias a alimentação foi realizada duas vezes ao dia com ração extrusada contendo 40% de proteína bruta. Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, em caso de significância ($P < 0,05$) foi realizado um teste de Tukey para comparação das médias. Os alevinos submetidos ao fotoperíodo de 12L, assim como os peixes sob 18L e 24L apresentaram os maiores registros de atividade locomotora ($P < 0,05$). Os peixes submetidos ao fotoperíodo 18L e 24L apresentaram os maiores índices de desempenho, enquanto os animais sob 0L e 6L apresentaram maior desenvolvimento gonadal ($P < 0,05$). A manipulação do fotoperíodo provavelmente não alterou a homeostase dos alevinos, uma vez que não houve diferença sobre a sobrevivência, glicose sanguínea, hematócrito e cortisol plasmático ($P > 0,05$). Portanto, além do fotoperíodo modular a atividade locomotora dos animais, sob fotoperíodos longos (18L e 24L) os animais priorizam sua energia para o crescimento somático, enquanto sob curtos fotoperíodos (0L e 6L) estes animais redirecionam a energia para o desenvolvimento gonadal.

Palavras-chave: Consumo. Desempenho. Maturação sexual. Ritmo locomotor.

ABSTRACT

This study was conducted with the objective to evaluate the influence of different photoperiod on locomotor activity, growth, gonad development and homeostasis in fingerlings Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). It was used a completely randomized design with five treatments (0L, 6L, 12L, 18L, 24L) and four replications, with the aquarium as the experimental unit. One hundred and sixty fingerlings of tilapia with 3.21 ± 0.05 g and 4.35 ± 0.07 cm, were distributed in 20 aquariums of 20 L in a recirculation system with temperature controlled at 27 °C and density of eight fishes per aquarium, for a period of 75 days feeding was carried out twice daily with extruded feed containing 40% crude protein. Data were subjected to analysis of variance and subsequently, in case of significance ($P < 0.05$) was performed a Tukey test to compare means. The fingerlings submitted to a photoperiod of 12L, as well as the fishes under 18L and 24L presented the highest values of locomotor activity ($P < 0.05$). Fishes submitted to a photoperiod 18L and 24L showed the highest levels of performance, while the animals under 0L and 6L showed higher gonad development ($P < 0.05$). The manipulation of photoperiod probably didn't alter the homeostasis of fingerlings, since there wasn't difference on survival, blood glucose, hematocrit and plasma cortisol ($P > 0.05$). However in addition to photoperiod modulate the locomotor activity of animals under long photoperiod (18L and 24L) animals focus their energy to somatic growth, while under short photoperiods (0L and 6L) these animals to redirect energy to gonad development.

Keywords: Fish. Food intake. Locomotor rhythm. Performance. Sexual maturation.

1 INTRODUÇÃO

Por um longo período têm-se estudado a influência dos fatores ambientais sobre os peixes, principalmente com relação aos efeitos sobre a reprodução e o crescimento (BOEUF; BAIL, 1999). Dentre estes fatores, o período de luz, ou seja, o fotoperíodo atua como um sincronizador do ritmo endógeno, influenciando sobre a atividade locomotora, o crescimento, as taxas metabólicas, a pigmentação corpórea, a maturação sexual e na reprodução de peixes teleósteos (BISWAS; ENDO; TAKEUCHI, 2002; BISWAS; TAKEUCHI, 2002; BOEUF; BAIL, 1999; EL-SAYED; KAWANNA, 2004; TRIPPEL; NEIL, 2003).

Além disso, o fotoperíodo é um dos fatores mais importantes que interferem na estratégia alimentar dos peixes (REYNALTE-TATAJE et al., 2002), sendo que na maioria das espécies a alimentação ocorre de forma não aleatória, seguindo padrões biorrítmicos determinados, ou seja, os ritmos circadianos que são influenciados pelo fotoperíodo. Sendo assim, peixes diurnos são mais ativos no período de luz e menos ativos no período de escuro, enquanto que com os peixes noturnos ocorre o inverso (BOEUF; BAIL, 1999).

Para algumas espécies, dias ou fotoperíodos longos podem modificar indiretamente o crescimento, seja pela indução do aumento do consumo de ração, desenvolvimento da massa muscular devido à maior atividade locomotora dos animais (BOEUF; BAIL, 1999), melhor eficiência na utilização dos nutrientes (BISWAS et al., 2005, 2006a) e ou devido ao redirecionamento da energia proveniente da maturação gonadal para o crescimento somático (BOEUF; BAIL, 1999; GINÉS et al., 2004; RAD et al., 2006).

Por outro lado, em peixes em estágios iniciais de desenvolvimento, o efeito da manipulação do fotoperíodo, relacionando o crescimento somático e a maturação sexual tem sido pouco estudada (RAD et al., 2006). Até o momento,

fotoperíodos longos tem sido utilizado em alguns peixes teleósteos como salmão do Atlântico (*Salmo salar*), Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), sea bream (*Sparus aurata*), sea bass (*Dicentrarchus labrax*) e a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (BOEUF; BAIL, 1999; GINÉS et al., 2004; JONASSEN; INSLAND; STEFANSON, 2000; KISSIL et al., 2001; OPPEDAL et al., 1999; RAD et al., 2006; RANDALL et al., 2001; SIMENSEN et al., 2000) para estimular o crescimento somático e/ou para atrasar a maturação sexual.

As alterações de determinados fatores ambientais são geralmente consideradas como uma potencial fonte de estresse (BARTON, 1997; BISWAS et al., 2006b). Apesar das manipulações do fotoperíodo influenciarem nos níveis de hormônios esteróides sexuais, corticosteróides, número de eritrócitos e a atividade locomotora diária, o estresse não é aparentemente uma consequência dessas alterações (BISWAS et al., 2004, 2006a).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se pelo rápido crescimento sob cultivo intensivo, por ser uma espécie rústica, além de ser uma das espécies mais cultivadas no mundo. No entanto, o conhecimento dos efeitos do fotoperíodo sobre o cultivo de tilápia ainda é limitado, principalmente sua ação sobre a atividade locomotora, crescimento, eficiência alimentar, maturação sexual e estresse desses animais.

Com este trabalho, objetivou-se avaliar a atividade locomotora, o crescimento, a maturação sexual e o estresse de alevinos de tilápia do Nilo submetidos a diferentes fotoperíodos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e delineamento experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Fotoperíodo de Peixes do Setor de Fisiologia e Farmacologia do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Lavras, MG, por um período de 75 dias.

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, ou seja, diferentes fotoperíodos (0L; 6L; 12L; 18L; 24L) e quatro repetições, sendo o aquário a unidade experimental.

2.2 Animais e instalação

Foram utilizados 160 alevinos de tilápia do Nilo, com peso e comprimento iniciais de $3,21 \pm 0,05$ g e $4,35 \pm 0,07$ cm, respectivamente, que foram distribuídos aleatoriamente na densidade de estocagem de oito peixes por aquário.

O experimento foi conduzido em 20 aquários de 20 litros, em sistema de recirculação de água, com temperatura controlada por termostato. Os parâmetros de qualidade da água: temperatura ($27,2 \pm 0,99$ °C), pH ($6,95 \pm 0,05$) e oxigênio dissolvido ($7,35 \pm 0,41$ mg/ L) foram monitorados diariamente, enquanto a concentração de amônia ($0,12$ mg/ L) foi monitorada uma vez por semana.

Grupos de quatro aquários foram mantidos isoladamente sob sistema de iluminação controlado por temporizadores individuais e uma lâmpada fluorescente de 20 W com constante intensidade de 1200 lx sobre a superfície da água. Todas as lâmpadas, dos respectivos fotoperíodos, eram acesas às 7 h, exceto os programas de luz em que os peixes foram mantidos em regime de 24

horas de luz e escuro, cujas lâmpadas permaneciam ligadas e desligadas, respectivamente, por todo período experimental.

De acordo com metodologia de Larson et al. (2004), para iluminação do ambiente externo do laboratório, foi utilizada uma lâmpada de coloração vermelha de 60 W que era acesa durante a alimentação, biometria, limpeza dos aquários e coleta de sangue.

2.3 Alimentação dos peixes

Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia, nos horários de 9h e de 17h, com ração comercial extrusada contendo 40% de proteína bruta e peletes de dois milímetros de diâmetro. Após 30 min. do fornecimento de ração, quando havia sobras, estas eram retiradas, congeladas e, posteriormente secas em estufas a 55 °C para a determinação do consumo. A quantidade de ração fornecida foi 5% do peso vivo durante os primeiros 15 dias e, posteriormente, 3% do peso vivo até o final do experimento. As biometrias foram realizadas em intervalos de 15 dias para a correção do fornecimento de ração.

2.4 Registro da atividade locomotora

Para avaliar a atividade locomotora dos peixes os aquários foram equipados com fotocélulas (Omron, mod E3S-AD62, Quioto Japão), as quais foram fixadas e centralizadas frontalmente aos aquários. As fotocélulas foram conectadas a uma placa de canais (USB-1024HLS, Measurement Computing, Norton, Massachusetts, EUA) e ligadas a um computador. Estas fotocélulas emitiam continuamente um feixe de luz infravermelha e, a cada interrupção causada por um peixe era contado e registrado em uma planilha de dados de um programa de computador especializado (DIO98USB, Universidade de Murcia,

Espanha), em intervalos de 10min. Os dados de atividade locomotora foram importados para o programa *Microsoft Office Excel*[®] 2007, no qual foram transformados em média para cada tratamento.

2.5 Coleta de sangue, análises bioquímicas e de desempenho

Ao final do experimento, os peixes foram mantidos em jejum por um período de 24 horas. Em seguida, os animais foram anestesiados em 2-fenóxi-etanol (0,6 ml/L), pesados e medidos. Por meio de seringa tipo insulina, foi retirado aproximadamente 1 ml de sangue por punção cardíaca para análise de glicose, cortisol e hematócrito.

A glicose sanguínea foi avaliada em todos os peixes de cada aquário com uma pequena alíquota de sangue através de aparelho digital de glicose (Kit para análise de glicose humana – ACCU CHEC ADVANTAGE II – ROCHE[®]). Para realização do hematócrito, foram utilizados cinco peixes por aquário. O sangue destes animais foi transferido para tubos microcapilares heparinizados que foram centrifugados por 5 min a 12000 rpm. O restante foi armazenado em eppendorfs e centrifugado a 3000 rpm por 15 minutos. Em seguida, foi retirado o plasma que foi etiquetado e armazenado em eppendorfs a – 80 °C para posteriores análises de cortisol através da técnica imunoensaio enzimático direto (Kit ELISA para análise de cortisol humano – DIAGNOSTICS BIOCHEM CANADA INC.[®]). Para análise de cortisol foram utilizadas amostras de plasma de quatro peixes por aquário de cada fotoperíodo.

Posteriormente, todos os peixes foram utilizados para a determinação das seguintes variáveis:

- a) ganho de peso, GP (g) = peso final – peso inicial;
- b) ganho de comprimento, GC (cm) = comprimento final – comprimento inicial;

- c) taxa de sobrevivência, S (%) = (número de peixes mortos/ total de peixes) x 100;
- d) taxa de crescimento específico, TCE (%/dia) = [(ln peso final – ln peso inicial)/75 dias] x 100;
- e) taxa de eficiência protéica, TEP = ganho de peso/ consumo de proteína;
- f) consumo de ração diário, CR (g/dia) = consumo total de ração médio/75 dias;
- g) conversão alimentar, CA = ganho de peso/ consumo de ração médio;
- h) índice gonadossomático, IGS = peso da gônada/peso final.

2.6 Análises estatísticas

Os dados de atividade, desempenho, glicose, cortisol e hematócrito, de cada fotoperíodo, foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Em caso de significância, foi realizado um teste de Tukey para comparação das médias entre os tratamentos com o auxílio do programa para análise estatística SISVAR 5.3.

3 RESULTADOS

O efeito da manipulação do fotoperíodo sobre a atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo está apresentado no Gráfico 1.

Maior atividade foi demonstrada nos animais submetidos ao fotoperíodo de 12L (Gráfico 2), seguido pelos peixes dos fotoperíodos 24L (Gráfico 3) e 18L (Gráfico 4). Estes fotoperíodos, por sua vez, apresentaram maior atividade locomotora do que os alevinos sob a condição de 6L (Gráfico 5) e 0L (Gráfico 6), respectivamente.

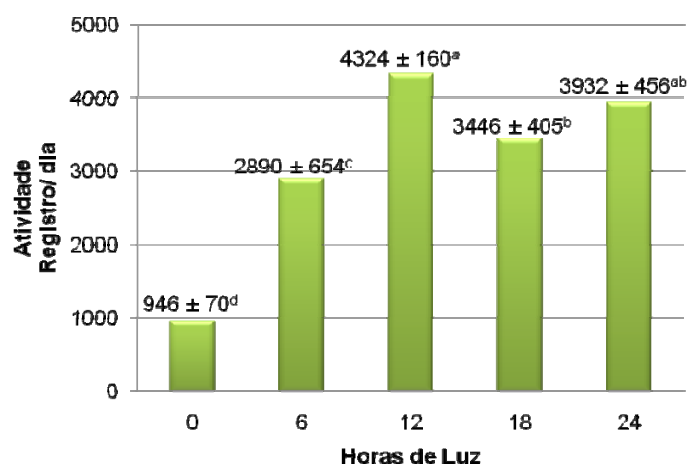


Gráfico 1 Efeito do fotoperíodo sobre a atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo (médias ± desvio padrão). Valores seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$). Coeficiente de variação igual a 12,62%

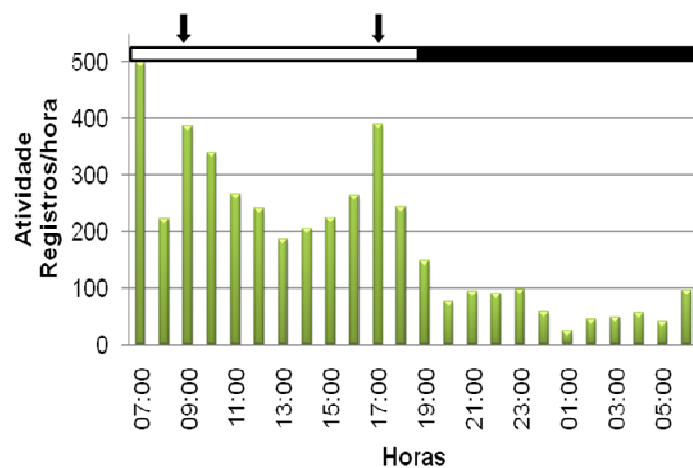


Gráfico 2 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob condição de 12L (4324 ± 160 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

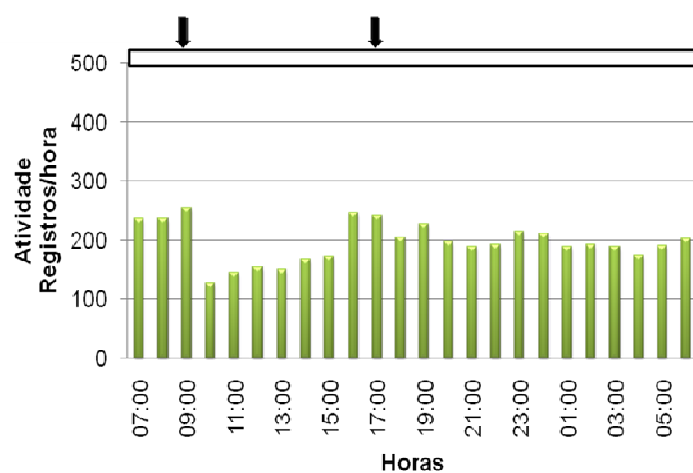


Gráfico 3 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob constante condição de 24L (3932 ± 456 registros de atividade/ dia). A barra branca, acima do gráfico, representa a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

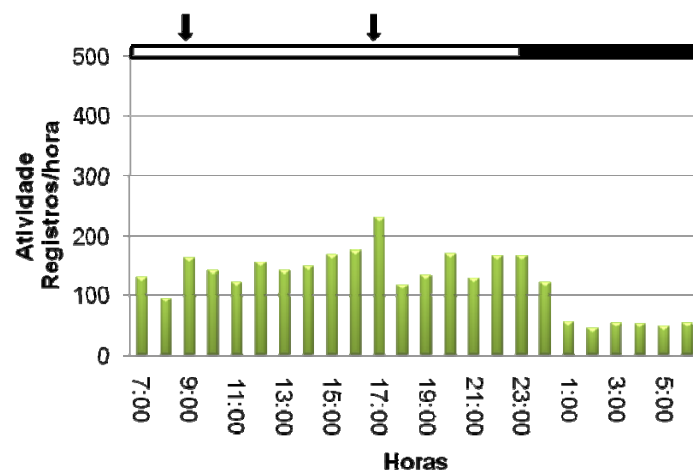


Gráfico 4 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob condição de 18L (3446 ± 405 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam a fase de luz. As setas pretas, acima da barra, indicam os horários de alimentação dos peixes

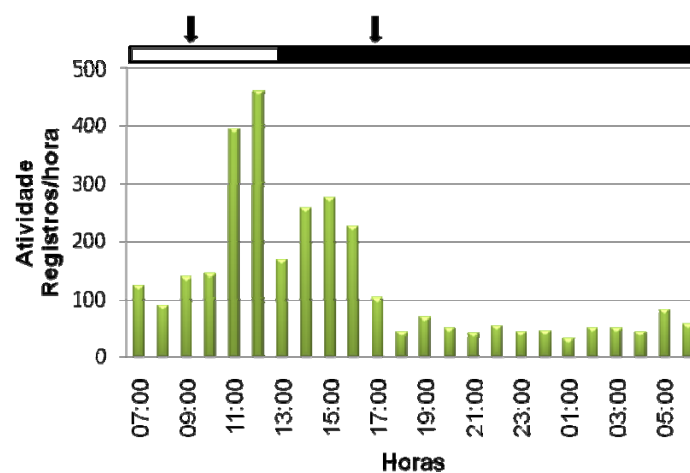


Gráfico 5 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob a condição de 6L (2890 ± 654 registros de atividade/ dia). As barras, branca e preta, acima do gráfico, representam as fases de luz e escuro, respectivamente. As setas pretas acima da barra indicam os horários de alimentação dos peixes

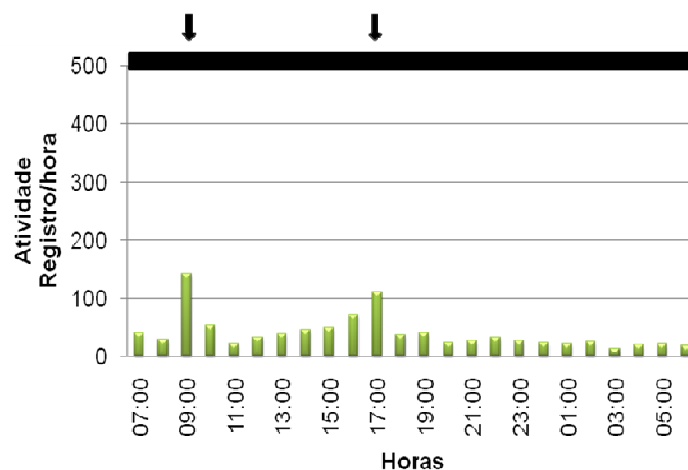


Gráfico 6 Atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo mantidos sob constante condição de 0L (946 ± 70 registros de atividade/ dia). A barra preta, acima do gráfico, representa o período de escuro. As setas pretas acima da barra indicam os horários de alimentação dos peixes

Não houve efeito do fotoperíodo sobre a taxa de sobrevivência de alevinos de tilápia do Nilo ($P > 0,05$) (Tabela 1).

O consumo de ração dos animais foi afetado pela manipulação do fotoperíodo ($P < 0,05$). O menor consumo foi dos peixes submetidos ao fotoperíodo de 0L. Os alevinos submetidos aos fotoperíodos de 6L, 12L, 18L e 24L, por sua vez, não apresentaram diferença entre si ($P > 0,05$) (Tabela 1).

A manipulação do fotoperíodo demonstrou influência sobre o ganho de comprimento dos animais ($P < 0,05$). O ganho de comprimento dos peixes mantidos sob o fotoperíodo 18L foi superior aos dos demais fotoperíodos. No entanto, os animais sob a condição de 0L apresentaram o mais baixo ganho de comprimento, sendo semelhante aos do tratamento 6L ($P > 0,05$). Além disso, os alevinos sob condição de 12L e 24L apresentaram um ganho de comprimento intermediário (Tabela 1).

Tabela 1 Efeito do fotoperíodo sobre o desempenho, parâmetro reprodutivo e sobrevivência em alevinos de tilápia do Nilo

Variáveis	Fotoperíodo (horas de luz)					CV (%)
	0	6	12	18	24	
CF ²	9,87 ± 0,38 ^c	10,24 ± 0,02 ^{bc}	10,52 ± 0,39 ^{ab}	10,88 ± 0,11 ^a	10,7 ± 0,21 ^{ab}	2,52
GC ³	5,42 ± 0,49 ^c	5,92 ± 0,02 ^{bc}	6,18 ± 0,46 ^{ab}	6,64 ± 0,09 ^a	6,32 ± 0,20 ^{ab}	5,24
PF ⁵	35,12 ± 3,05 ^c	37,54 ± 0,81 ^{bc}	41,33 ± 1,87 ^{ab}	42,94 ± 1,47 ^a	42,23 ± 0,36 ^a	4,46
GP ⁶	31,84 ± 3,12 ^b	34,27 ± 0,81 ^b	38,16 ± 1,85 ^a	39,71 ± 1,27 ^a	39,10 ± 0,56 ^a	4,85
TCE ⁷	3,03 ± 0,17 ^b	3,14 ± 0,03 ^{ab}	3,32 ± 0,10 ^a	3,35 ± 0,09 ^a	3,38 ± 0,13 ^a	3,55
CR ⁸	0,52 ± 0,02 ^a	0,60 ± 0,03 ^b	0,61 ± 0,03 ^b	0,59 ± 0,02 ^b	0,61 ± 0,03 ^b	3,97
CA ⁹	1,22 ± 0,11 ^{ab}	1,32 ± 0,006 ^b	1,21 ± 0,07 ^{ab}	1,11 ± 0,03 ^a	1,13 ± 0,02 ^a	5,42
TEP ¹⁰	2,06 ± 0,17 ^{ab}	1,90 ± 0,09 ^b	2,08 ± 0,12 ^{ab}	2,18 ± 0,07 ^a	2,21 ± 0,03 ^a	5,81
IGS ¹¹	0,51 ± 0,10 ^a	0,37 ± 0,08 ^{ab}	0,34 ± 0,06 ^b	0,34 ± 0,02 ^b	0,34 ± 0,08 ^b	19,30
S ¹²	87,5 ± 10,21	84,63 ± 15,27	93,75 ± 7,22	100	96,88 ± 6,25	10,00

Valores da mesma linha seguidos com letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05). ¹Comprimento inicial (cm); ²Comprimento final (cm); ³Ganho de comprimento (cm); ⁴Peso inicial (g); ⁵Peso final (g); ⁶Ganho de peso (g); ⁷Taxa de crescimento específico (% dia⁻¹); ⁸Consumo de ração diário (g dia⁻¹); ⁹Conversão alimentar; ¹⁰Taxa de eficiência protéica; ¹¹Índice gonadosomático; ¹²Taxa de sobrevivência

O ganho de peso dos animais foi afetado pelos diferentes fotoperíodos ($P < 0,05$). Os maiores ganhos de peso foram demonstrados nos peixes sob os fotoperíodos de 18L, 24L e 12L, não diferindo dentro destes tratamentos ($P > 0,05$). Os peixes sob as condições de 6L e 0L apresentaram os mais baixos ganhos de peso, não diferindo entre si ($P > 0,05$) (Tabela 1).

Houve influência significativa do fotoperíodo sobre a taxa de crescimento específico dos animais ($P < 0,05$). Os peixes submetidos aos fotoperíodos de 24L, 18L e 12L apresentaram as maiores taxas de crescimento, não diferindo dentro destes fotoperíodos ($P > 0,05$). No entanto, os alevinos submetidos ao fotoperíodo 0L apresentaram as mais baixas taxas, enquanto que, os animais submetidos ao regime de 6L apresentaram crescimento intermediário (Tabela 1).

A conversão alimentar dos peixes foi influenciada pelo fotoperíodo ($P < 0,05$). Os animais submetidos às condições de 18L e 24L apresentaram as melhores taxas de conversão, não diferindo entre si ($P > 0,05$). Por outro lado, os alevinos submetidos aos fotoperíodos de 6L apresentaram o pior valor de conversão. Os animais submetidos aos fotoperíodos de 0L e 12L apresentaram valores intermediários de conversão alimentar, não diferindo entre si ($P > 0,05$) (Tabela 1).

O fotoperíodo influenciou a taxa de eficiência protéica dos animais ($P < 0,05$). Os peixes submetidos aos fotoperíodos de 18L e 24L apresentaram as melhores taxas de eficiência protéica. Por sua vez, os animais sob as condições de 6L apresentaram as mais baixas taxas, enquanto que, os peixes sob os fotoperíodos de 12L e 0L apresentaram taxas de eficiência protéica intermediárias, não diferindo entre si ($P > 0,05$) (Tabela 1).

O índice gonadossomático dos peixes foi afetado pelo fotoperíodo ($P < 0,05$). Os animais submetidos ao fotoperíodo de 0L apresentaram os maiores índices. Por outro lado, alevinos submetidos aos fotoperíodos de 12L, 18L e

24L apresentaram os menores valores pra esta variável, não diferindo entre si ($P>0,05$). Por sua vez, os peixes submetidos ao fotoperíodo de 6L apresentaram índice gonadossomático intermediário (Tabela 1).

Não houve influência da manipulação do fotoperíodo sobre a glicose sanguínea, o hematócrito e o cortisol plasmático dos peixes ($P>0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2 Efeito do fotoperíodo sobre o hematócrito, glicose e cortisol em alevinos de tilápia do Nilo

Variável	Fotoperíodo (horas de luz)					CV (%)
	0	6	12	18	24	
Hematócrito¹	37,07 ±	35,54 ±	35,82 ±	35,88 ±	37,60 ±	13,95
	7,36	5,32	4,41	6,04	5,35	
Glicose²	39,30 ±	36,04 ±	37,48 ±	35,30 ±	38,62 ±	16,35
	9,21	5,14	7,76	8,21	11,48	
Cortisol³	76,30 ±	85,00 ±	83,75 ±	73,80 ±	71,30 ±	17,12
	15,00	4,00	13,00	10,00	19,00	

¹Hematócrito (%); ²Glicose (mg/ dl) ; ³Cortisol (ng/ mL)

4 DISCUSSÃO

Assim como a presente pesquisa, outros estudos com alevinos de tilápia (EL-SAYED; KAWANNA, 2004) e juvenis de tambaqui *Colossoma Macropomum* (MENDONÇA et al., 2009) também não demonstraram efeito do fotoperíodo sobre a taxa de sobrevivência destes animais. Shan et al. (2008), em estudos com larvas de *Miiuy croaker Miichthys miiuy*, demonstraram menor taxa de sobrevivência no tratamento de 0L, havendo 100% de mortalidade após o sétimo dia de vida das larvas. Porém, Adewolu, Adeniji e Adejobi (2008) demonstraram que alevinos de bagre africano *Clarias gariepinus* apresentaram melhor taxa de sobrevivência quando criados sob um fotoperíodo de 0L. Estas diferenças encontradas na sobrevivência de diferentes espécies podem ser atribuídas à extrema variação na exigência do fotoperíodo, que é espécie específica, além de depender da fase de desenvolvimento em que se encontra o animal (ADEWOLU; ADENENIJI; ADEJOBİ, 2008; BOEUF; BAIL, 1999; BRITZ; PIENAAR, 1992; SILVA-GARCIA, 1996).

Provavelmente, o menor consumo encontrado nos peixes submetidos ao fotoperíodo 0L está relacionado com o comportamento rítmico da espécie. Os alevinos de tilápia mantidos sob essa condição apresentaram baixa atividade locomotora, com pequenos picos nos horários da alimentação, demonstrando a baixa habilidade dessa espécie com alimentação na fase de escuro. Dentre outros fatores, possivelmente, há redução dos processos digestivos e absorção dos nutrientes devido aos altos níveis da melatonina nessas condições. Contudo, ainda são desconhecidos os mecanismos de mediação da inibição da melatonina sobre o consumo alimentar (LÓPEZ-OLMEDA; MADRID; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2006). Alguns autores sugerem que a redução do consumo esteja relacionada com a ação sedativa da melatonina sobre o comportamento

locomotor de várias espécies de hábito diurno (MURAKAMI et al., 2001; ZHDANOVA et al., 2001).

Por outro lado, para peixes de hábito diurno, dias ou fotoperíodos longos induzem ao aumento no consumo de ração (BOEUF; BAIL, 1999). O aumento da ingestão de alimento, nestas espécies, sob fotoperíodos longos, pode ser devido à maior atividade destes animais sob estas condições, apresentando maior atividade quando o alimento é ofertado (BISWAS et al., 2005, 2006a; JOHNSON; BJÖRNSSON, 1994; MCCORMICK et al., 1995), estimulando, por sua vez, a produção de hormônios orexigênicos sob estas condições.

As tilápias são geralmente diurnas no ambiente natural e em condições de cultivo, alimentando-se em diferentes horários do dia, dependendo da espécie e tamanho (EL-SAYED; KAWANNA, 2004; YOUSUF-HAROON; PITMAN; BLOM, 1998). Híbridos de tilápia vermelha (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) e (*O. niloticus* x *O. mossambicus*) apresentaram atividade alimentar durante o dia com pico de alimentação ao entardecer (YOUSUF-HAROON; PITMAN; BLOM, 1998; ZAVYALOV; LAVROVSKII, 2001). Além disso, em estudos com adultos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidos à fotoperíodo de 12L, foram observados maiores consumo de ração e atividade alimentar durante o período de luz, quando os peixes foram alimentados com alimentadores automáticos de demanda (FORTES-SILVA et al., 2010; TOGUYENI et al., 1997). Os resultados destes estudos comprovam o papel do fotoperíodo sobre o consumo de ração, apresentando a tilápia um comportamento alimentar predominantemente diurno.

Os resultados de crescimento obtidos no presente estudo corroboram com os demonstrados em estudo com pós-larvas de tilápia do Nilo. Esses animais submetidos aos fotoperíodos longos (18L e 24L), por um período de 60 dias, apresentaram as mais elevadas taxas de crescimento específico (EL-SAYED; KAWANNA, 2004). Os mesmos autores também demonstraram uma

tendência de crescimento de alevinos da mesma espécie quando estes animais foram submetidos aos fotoperíodos de 18L e 24L. Bezerra et al. (2008), durante o período de 46 dias, também demonstraram que alevinos de tilápia do Nilo submetidos a fotoperíodos longos (16L e 24L) apresentaram melhores índices de crescimento e sobrevivência. Rad et al. (2006), durante o período de 168 dias, demonstraram que alevinos de tilápia do Nilo apresentaram o melhor crescimento sob o fotoperíodo de 24 horas de luz quando comparado com os fotoperíodos 20L e 18L.

Provavelmente, peixes submetidos à fotoperíodos longos podem modificar indiretamente o crescimento através do desenvolvimento da massa muscular devido à maior atividade locomotora destes animais (BOEUF; BAIL, 1999). Na presente pesquisa, a maior atividade locomotora foi demonstrada em alevinos de tilápia submetidos ao fotoperíodo natural 12L e aos fotoperíodos longos de 24L e 18L. Nos animais submetidos a esses fotoperíodos, parte da energia pode ter sido redirecionada para suprir a demanda energética devido ao maior ritmo locomotor destes animais, levando a um maior desenvolvimento da massa muscular pela deposição de proteína e redução de lipídio no corpo, assim como demonstrado em estudo com *red sea bream*, *Pagrus major* (BISWAS et al., 2005).

Além disso, no presente estudo, os menores índices gonadossomáticos foram apresentados nos animais submetidos aos fotoperíodos mais longos, indicando um atraso na maturação sexual destes peixes. Provavelmente a energia que seria utilizada para o crescimento das gônadas possa ter sido direcionada para o crescimento somático destes peixes. Por outro lado, os peixes submetidos aos tratamentos 0L e 6L apresentaram os menores registros de atividade locomotora. Essa menor atividade pode ter levado a uma maior economia de energia, que por sua vez, foi redirecionada para o desenvolvimento das gônadas destes animais. Outras pesquisas também demonstraram mesmas alterações no

índice gonadossomático associado com a manipulação de diferentes fotoperíodos (BOEUF; BAIL, 1999; GINÉS et al., 2003, 2004; RAD et al., 2006).

As melhores conversões alimentares e taxas de eficiência protéica encontradas nos peixes submetidos aos fotoperíodos longos, provavelmente, são atribuídas ao tempo de exposição à luz que estes animais foram submetidos após a segunda alimentação. Nestas condições, os animais, possivelmente, apresentaram o máximo apetite, assim como demonstrado por Biswas et al. (2005, 2006a). Além disso, em estudos com salmão, foi demonstrado que há liberação do hormônio do crescimento sob períodos de luz contínuos. Esta liberação, por sua vez, apresenta um efeito positivo sobre o apetite, aumentando com os maiores períodos de luz (JOHNSSON; BJÖRNSSON, 1994; MCCORMICK et al., 1995).

Como foi apresentado em uma revisão por Boeuf e Bail (1999) e Gross, Roelofs e Fromm (1965) foram os primeiros a demonstrarem que o crescimento é influenciado pelo fotoperíodo através de melhor conversão alimentar e não apenas pela estimulação do consumo. Biswas et al. (2005, 2006a) demonstraram que os longos intervalos entre as alimentações dos peixes sob longos e constantes fotoperíodos podem ter permitido um processo digestivo mais eficiente, o que, provavelmente, melhorou a digestão e a retenção dos nutrientes. O mesmo efeito pode ter ocorrido nos alevinos de tilápia submetidos ao fotoperíodo de 18L e 24L do presente estudo, uma vez que estes animais apresentaram melhores taxas de eficiência protéica. Provavelmente, o longo período de luz existente entre a segunda alimentação e a primeira (16 horas) fez com que estes peixes apresentassem uma melhor eficiência de utilização da proteína da dieta devido à melhora dos processos digestivos que, conseqüentemente, melhorou a eficiência de utilização dos nutrientes, principalmente proteína.

Os resultados apresentados de hematócrito, níveis de glicose sanguínea e cortisol demonstraram que não houve situação de estresse crônico devido à manipulação do fotoperíodo, uma vez que estas variáveis se mantiveram constantes nos peixes submetidos a todos fotoperíodos. Segundo Biswas et al. (2004), tilápias do Nilo, quando em situação de estresse, apresentam valores de glicose e cortisol de 160,2 mg/ dl e 191,7 mg/ dl, respectivamente. Diversos fatores ambientais têm demonstrado serem potenciais fontes de estresse em peixes (BARTON, 1997; BISWAS et al., 2006b). No entanto, apesar da manipulação do fotoperíodo trazer certas mudanças como nos níveis de determinados hormônios e atividade locomotora diária, o estresse não é uma aparente consequência dessa manipulação (BISWAS et al., 2004, 2006b).

Geralmente o estresse crônico resulta em uma elevação dos níveis de cortisol e glicose em *Oreochromis niloticus* (BARCELLOS et al., 1999) e outras espécies de peixes (BARTON, 1997; BARTON; IWAMA, 1991; POTTINGER; YEOMANS; CARRICK, 1999). Pesquisas têm demonstrado aumento do hematócrito sob condições de estresse (PIERSON et al., 2004; WANG; HEIGENHAUSER; WOOD, 1994) devido ao recrutamento de células vermelhas do baço (JENSEN, 1987) e ou devido ao aumento de tamanho dessas células (WANG; HEIGENHAUSER; WOOD, 1994). Por outro lado, sob condições de estresse crônico, o hematócrito tem apresentado decréscimo (BARCELLOS et al., 2004). Os resultados do hematócrito, dos diferentes fotoperíodos do presente estudo, foram similares aos demonstrados com a mesma espécie sob os fotoperíodos de 12L: 12E e 6L: 6E (BISWAS et al., 2004).

Estudo com jundiá, *Rhamdia quelen*, demonstraram que o aumento da luminosidade induz os animais a maior agressividade (PIAIA; TOWNSEND; BALDISSEROTTO, 1999). Segundo Almazán-Rueda et al. (2005), foi demonstrado maior nível de cortisol e agressividade em bagres africanos

(*Clarias gariepinus*) sob regime de 12L e 18L em relação aos períodos de 6L e 0L. Pesquisa com truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, submetidas ao fotoperíodo artificial 24L, induziu uma resposta ao estresse com significativa elevação dos níveis plasmáticos de cortisol após dois meses de experimento (LEONARDI; KLEMPAU, 2003). Por outro lado, Biswas et al. (2004), em estudos com tilápia do Nilo submetidas ao fotoperíodo de 12L:12E e 6L:6E, não verificaram alterações nos parâmetros de glicose, cortisol, hematócrito e íons cloreto. Estudos com alevinos e adultos de *Pagrus major* (BISWAS et al., 2006a, 2006b) e *Oplegnathus fasciatus* (BISWAS et al., 2008) submetidos aos fotoperíodos de 6L:6E, 12L, 16L e 24L também não demonstraram alterações nos níveis de glicose, cortisol, hematócrito e proteínas totais. Portanto, nestes peixes, assim como em alevinos de tilápia do Nilo do presente estudo, a manipulação do fotoperíodo não aparenta ser um potencial fator de estresse em peixes. Além disso, os melhores índices de crescimento e desenvolvimento gonadal sob os longos e curtos fotoperíodos, respectivamente, indicam uma aparente ausência de estresse nestes animais, uma vez que peixes sob condições de estresse têm o crescimento retardado, assim como interrompem os processos reprodutivos.

Portanto, longos fotoperíodos (18L e 24L) são indicados para o melhor crescimento, conversão alimentar e eficiência de utilização da proteína. Por outro lado, fotoperíodos mais curtos (6L e 0L) são indicados para a maturação sexual mais precoce de alevinos de tilápia do Nilo. Além disso, a manipulação do fotoperíodo, aparentemente, não interfere na homeostase dos animais sob estas condições de cultivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização destes trabalhos pode-se considerar que:

- A modulação da atividade locomotora de alevinos de tilápia do Nilo é determinada pelo ciclo circadiano e alimentar;
- O fornecimento de ração para alevinos de tilápia do Nilo, em horários fixos, leva ao aumento da atividade dos animais algumas horas antes do fornecimento de ração, caracterizando a atividade alimentar antecipatória;
- Alevinos de tilápia do Nilo apresentam um ritmo de atividade locomotora predominantemente diurna sob as condições da presente pesquisa;
- Maior crescimento, conversão alimentar e eficiência de utilização da proteína foram demonstrados em alevinos de tilápia do Nilo submetidos à fotoperíodos mais longos (18L) e contínuos (24L);
- Maior desenvolvimento gonadal foi demonstrado em alevinos de tilápia do Nilo submetidos à fotoperíodos mais curtos (6L) e contínuos (0L); Aparentemente a manipulação do fotoperíodo não interfere na homeostase de alevinos de tilápia do Nilo;
- Um estudo econômico precisa ser realizado para saber da viabilidade dessa manipulação do fotoperíodo.

REFERÊNCIAS

ADEWOLU, M. A.; ADENIJI, C. A.; ADEJOBİ, A. B. Feed utilization, growth and survival of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) fingerlings cultured under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 283, n. 1/4, p. 64-67, Oct. 2008.

ALMAZÁN-RUEDA, P. et al. Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*. **Journal of Fish Biology**, London, v. 67, n. 4, p. 1029-1039, Apr. 2005.

BARCELLOS, L. J. G. et al. Hematological changes in jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy and Gaimard *Pimelodidae*) after acute and chronic stress caused by usual aquacultural management, with emphasis on immunosuppressive effects. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 237, n. 1/4, p. 229-236, Aug. 2004.

_____. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 30, n. 6, p. 437-444, June 1999.

BARTON, B. A. Stress in finfish: past, present and future: a historical perspective. In: IWAMA, G. K. et al. (Ed.). **Fish stress and health in aquaculture**. Cambridge: Cambridge University, 1997. p. 1-33. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 62).

BARTON, B. A.; IWAMA, G. K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. **Annual Review of Fish Diseases**, London, v. 1, p. 3-26, 1991.

BEZERRA, K. S. et al. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 737-743, jun. 2008.

BISWAS, A. K.; ENDO, M.; TAKEUCHI, T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*, part I. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, n. 3, p. 465-477, June 2002.

BISWAS, A. K. et al. Different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*, part I. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, n. 3, p. 465-477, June 2004.

BISWAS, A. K. et al. Effect of photoperiod manipulation on the growth performance and stress response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 258, n. 1/4, p. 350-356, Aug. 2006a.

_____. Growth performance and physiological responses in striped knifejaw, *Oplegnathus fasciatus*, held under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 279, n. 1/4, p. 42-46, July 2008.

_____. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 250, n. 3/4, p. 666-673, Dec. 2005.

_____. Stress response of red sea bream *Pagrus major* to acute handling and chronic photoperiod manipulation. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 252, n. 2/4, p. 566-572, Mar. 2006b.

BISWAS, A. K.; TAKEUCHI, T. Effects of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*, part II. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, n. 3, p. 543-553, June 2002.

BOEUF, G.; BAIL, P. Y. L. Does light have an influence on fish growth? **Aquaculture**, Amsterdam, v. 177, n. 1/4, p. 129-152, July 1999.

BRITZ, P. J.; PIENAAR, A. G. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae). **Journal of Zoology**, London, v. 227, n. 1, p. 43-62, May 1992.

EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I., growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 231, n. 1/4, p. 393-402, Mar. 2004.

FORTES-SILVA, R. et al. Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 157-160, Dec. 2010.

GINÉS, R. et al. Effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin colour in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 13, p. 1207-1212, Nov. 2004.

GINÉS, R. et al. Growth in adult gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) as a result of interference in sexual maturation by different photoperiod regimes. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 73-78, Jan. 2003.

GROSS, W. L.; ROELOFS, E. W.; FROMM, P. O. Influence of photoperiod on growth of green sunfish, *Lepomis cyanellus*. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, Toronto, v. 22, p. 1379-1386, 1965.

JENSEN, F. B. Influences of exercise-stress and adrenaline upon intra and extracellular acid-base status, electrolyte composition and respiratory properties of blood in tench (*Tinca tinca*) at different seasons. **Journal of Comparative Physiology B**, Heidelberg, v. 157, n. 1, p. 51-60, June 1987.

JOHANSSON, J. I.; BJÖRNSSON, B. T. Growth hormone increases growth rate, appetite and dominance in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Animal Behaviour**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 177-186, July 1994.

JONASSEN, T. M.; IMSLAND, A. K.; STEFANSSON, S. O. Interaction of temperature and light on growth in Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus*. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 219-227, Feb. 2000.

KISSIL, G. W. et al. Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 200, n. 3/4, p. 363-379, Sept. 2001.

LARSON, E. T. et al. Social stress affects circulating melatonin levels in rainbow trout. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 136, n. 3, p. 322-327, May 2004.

LEONARDI, M. O.; KLEMPAU, A. E. Artificial photoperiod influence on the immunosystem of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern hemisphere. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 221, n. 1/4, p. 581-591, May 2003.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; MADRID, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Melatonin effects on food intake and activity rhythms in two fish species with different activity patterns: diurnal (goldfish) and nocturnal (tench). **Comparative Biochemistry and Physiology A**, New York, v. 144, n. 2, p. 180-187, June 2006.

MCCORMICK, S. D. et al. Increased daylength stimulates plasma growth hormone and gill Na⁺, K⁺-ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Comparative Physiology B**, New York, v. 165, n. 4, p. 245-254, Mar. 1995.

MENDONÇA, P. P. et al. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 223, p. 323-331, Sept. 2009.

MURAKAMI, N. et al. Effect of melatonin on circadian rhythm, locomotor activity and body temperature in the intact house sparrow, Japanese quail and owl. **Brain Research**, Amsterdam, v. 889, n. 1/2, p. 220-224, Jan. 2001.

OPPEDAL, F. et al. Growth, osmoregulation and sexual maturation of underyearling Atlantic salmon smolt *Salmo salar* L. exposed to different intensities of continuous light in sea cages. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 491-499, July 1999.

PIAIA, R.; TOWNSEND, C. R.; BALDISSEROTTO, B. Growth and survival of fingerlings of *Rhamdia quelen* exposed to different light regimes. **Aquaculture International**, London, v. 7, n. 3, p. 201-205, 1999.

PIERSON, P. M. et al. The stress axis, stanniocalcin, and ion balance in rainbow trout. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 137, n. 3, p. 665-678, July 2004.

POTINGER, T. T.; YEOMANS, W. E.; CARRICK, T. R. Plasma cortisol and 17 β -estradiol levels in roach exposed to acute and chronic stress. **Journal of Fish Biology**, London, v. 54, n. 3, p. 525-532, Mar. 1999.

RAD, F. et al. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 255, n. 1/4, p. 292-300, May 2006.

RANDALL, C. et al. Photoperiod effects on reproduction and growth in rainbow trout. **Trout News**, London, v. 32, n. 4, p. 403-410, July 2001.

REYNALTE-TATAJE, D. et al. Influência do fotoperíodo no crescimento e sobrevivência de pós-larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849) (Osteichthyes, Characidae). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 2, p. 439-443, 2002.

SHAN, X. et al. Effects of photoperiod on growth, mortality and digestive enzymes in miiuy croaker larvae and juveniles. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 281, n. 1/4, p. 70-76, Sept. 2008.

SILVA-GARCIA, A. J. Growth of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) reared under different photoperiod regimes. **Israel Journal of Aquaculture**, Bamidgeh, v. 48, n. 1, p. 84-93, 1996.

SIMENSEN, L. M. et al. Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 190, n. 1/2, p. 119-128, Oct. 2000.

TOGUYENI, A. et al. Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis Niloticus*: effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 62, n. 2, p. 273-279, Aug. 1997.

TRIPPEL, E. A.; NEIL, S. R. E. Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 217, n. 1/4, p. 633-645, Mar. 2003.

WANG, Y.; HEIGENHAUSER, G. J.; WOOD, C. M. Integrated responses to exhaustive exercise and recovery in rainbow trout white muscle: acid-base, phosphogen, carbohydrate, lipid, ammonia, fluid volume and electrolyte metabolism. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 195, n. 2, p. 227-258, Oct. 1994.

YOUSUF-HAROON, A. K.; PITMAN, K. A.; BLOM, G. Diel feeding pattern and ration of two sizes of tilapia *Oreochromis* spp. in pond and paddy field. **Asian Fisheries Society**, Manila, v. 10, n. 4, p. 281-301, 1998.

ZAV'YALOV, A. P.; LAVROVSKII, V. V. Diurnal rhythms of feeding red tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus* reared in an apparatus with a closed cycle of water supply. **Journal of Ichthyology**, Moscow, v. 41, n. 3, p. 435-441, 2001.

ZHDANOVA, I. V. et al. Melatonin promotes sleep-like state in zebrafish. **Brain Research**, Amsterdam, v. 903, n. 1/2, p. 263-268, June 2001.