



ARTIGO | ARTICLE

## Atividade alimentar do pacu *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (1887) criados em tanques rede

*Feeding activity of the pacu Piaractus mesopotamicus Holmberg (1887)  
reared in fish cages*

Fabrcio José Ferreira<sup>1</sup>  
Carlos Alberto da Silva<sup>2</sup>

### RESUMO

O pacu é um dos peixes brasileiros de maior importância comercial na pesca e na aquicultura, o interesse em conhecer o comportamento fisiológico dessa espécie fundamenta-se no contexto de que o pacu é uma espécie de clima tropical, que se alimenta preferencialmente de frutas, apresentando padrões nutricionais especeficos, além de uma grande capacidade para armazenar gordura. Foi estudado, dentro de um período de 24 horas, o comportamento alimentar do pacu criado em tanque rede. As coletas ocorreram a cada 4 horas, nesse período 6 peixes foram mortos e amostras de sangue foram coletadas para avaliaao do perfil lipídico e glicemico. A seguir, amostras do fígado e músculos foram coletadas e direcionadas para avaliaao das reservas glicogênicas, através de métodos de uso laboratorial. Para a análise estatística foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, seguido do pós-teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados mostraram que as reservas glicogênicas hepáticas e musculares foram significativamente diferentes dentro do período de coleta apresentando maiores valores na transiao da manhã para a tarde e subsequente decaimento ao transcorrer da tarde para a noite. Com relaao a glicemia, foi observada elevaao na interface da tarde para a noite. De forma antagonica, o perfil lipídico mostrou dinâmica inversa, apresentando elevaao na transiao da tarde para a noite e reduao no período mautino. Os resultados mostram perfis diferenciados na mobilizaao das reservas energéticas variando de acordo com o período do dia/noite, e decorrendo das particularidades metabólicas do pacu na interaao com o meio ambiente e disponibilidade de alimento.

**Palavras-chave:** Metabolismo. Pacu. Piscicultura. Reserva de glicogênio.

<sup>1</sup> Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Ciências da Saúde. Rod. do Aucar, km 156, 13400-911, Piracicaba, SP, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: F.J. FERREIRA. E-mail: <fajferre@unimep.br>.

<sup>2</sup> Universidade Metodista de Piracicaba, Programa de Pós-Graduaao em Fisioterapia. Piracicaba, SP, Brasil.

## ABSTRACT

The pacu is one of the most important Brazilian fish for commerce and aquaculture. Interest in the physiological behavior of this species is based on the context that the pacu is a tropical species, which has a preference for fruit and presents specific nutritional patterns as well as having a large capacity to store fat. Over a period of 24 hours, the feeding behavior was studied of pacu reared in fish cages. Catches were performed every 4 hours; 6 fish were sacrificed and blood samples were collected to determine the lipid and blood glucose plasma concentration. Then the liver and muscle samples were collected and used to evaluate the glycogen reserves, using laboratory methods. For the purposes of statistical analysis, the Shapiro-Wilk normality test was carried out, followed by the Tukey post-test ( $p < 0.05$ ). The results showed that the liver and muscle glycogen reserves were significantly different during the period of analysis, showing higher values in the transition from morning to afternoon and a subsequent decline from afternoon to nighttime. With regard to blood glucose, elevated levels were observed at the passage from afternoon to nighttime. On the other hand, the lipid profile showed inverse dynamics, presenting with an increase in the period of transition from afternoon to night and a decrease during the morning period. The results show different profiles in the mobilization of energy reserves, varying according to time of day/night, and resulting from the metabolic peculiarities of the pacu in its interaction with the environment and availability of food.

**Key words:** Metabolism. Pacu. Fish farming. Glycogen reserves.

## INTRODUÇÃO

Os peixes ocupam nichos ecológicos extremamente diversificados e possuem hábitos alimentares definitivamente diferenciados, tais como os peixes serrasalmíneos (pacu e tambaqui - frugívoros), os salmonídeos e os esturjões (carnívoros) que sofrem, igualmente, longos períodos de privação alimentar durante o seu ciclo de vida normal. A possibilidade de estudar tais extremos, ecológico e metabólico, é de longa data, conhecida como o fator responsável pela seleção dos peixes (Mommensen & Plisetskaya, 1991).

Na piscicultura a alimentação adequada do plantel proporciona o bom desenvolvimento das espécies, além de um expressivo ganho na produção, no entanto, existe um alto grau de desconhecimento das características ecofisiológicas de algumas espécies dificultando a exploração de resultados obtidos em ensaios experimentais. Esta dificuldade muitas vezes está baseada na própria condição geográfica ocupada pelos países tropicais, como o Brasil, devido

à grande diversidade de disponibilidade de alimentação (Souza *et al.*, 2003).

Para se ter êxito na produção de peixes, com bom desenvolvimento e rentabilidade no cultivo, é necessário um fornecimento adequado na quantidade e qualidade das dietas (Carneiro *et al.*, 1994).

O estado nutricional de um organismo está intimamente relacionados à taxa metabólica, condição que determina se o animal está em processo fisiológico de manutenção, catabolismo ou anabolismo (Souza, 1994). No que se refere as respostas metabólicas, desencadeadas por diferentes espécies de peixe, frente a flutuação na disponibilidade de alimentos, o padrão mostra-se extremamente variável, uma vez que, em situações de baixa disponibilidade são ativadas reações sequenciais promovendo a mobilização de suas reservas acumuladas. Por outro lado, quando eleva-se a disponibilidade de substratos metabolizáveis os sistemas formadores de reserva são ativados.

O pacu *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 e o tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier,

1818, peixes da sub-família Serrasalminae, estão entre os teleósteos mais difundidos na Piscicultura da América do Sul (Saint Paul, 1986; Cyrino *et al.*, 2004). Esses animais necessitam armazenar substratos energéticos para manutenção de grandes migrações, e têm despertado o interesse de cientistas dedicados aos estudos de estratégias metabólicas (Jomori *et al.*, 2005).

No ambiente natural, o ciclo de vida dos serrasalmíneos está estreitamente correlacionado com períodos de intensa ingestão de carboidratos. Durante a estação chuvosa eles permanecem nas zonas de inundação onde se alimentam intensivamente de frutas, sementes e castanhas e durante a estação seca, permanecem confinados no leito do rio, com reduzida disponibilidade alimentar. Por isso, o pacu, *Piaractus mesopotamicus*, apresenta-se como um interessante modelo para o estudo da utilização de carboidrato na dieta e avaliação de seu metabolismo, considerando que a dieta natural da espécie inclui sementes e frutos, ricos neste nutriente (Menton, 1989).

A identificação dos sistemas reguladores do metabolismo, para espécies com grande habilidade para utilizar dietas ricas em carboidratos como fonte de energia e alta tolerância à glicose, são de grande importância para o conhecimento da atividade biológica (Figueiredo-Garutti *et al.*, 2002). O pacu é um dos representantes dos Ostariophysi que estão entre os peixes de maior valor comercial, na pesca e na piscicultura brasileira. Entretanto, muito pouco tem sido publicado a respeito das inter-relações fisiológicas entre a espécie e o meio ambiente. Assim, conhecer as variações circadianas no manuseio de substratos metabolizáveis se preenche de suma importância para a manutenção e estratégia de tratamento do plantel.

O objetivo deste estudo foi avaliar o perfil da atividade alimentar num ciclo de 24 horas do pacu (*Piaractus mesopotamicus*), criado em tanque rede, no intuito de contribuir para o conhecimento do comportamento da espécie e fornecer subsídios para uma futura geração de tecnologias relacionadas ao manejo em sistemas de piscicultura intensiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) coletados no centro de Piscicultura localizado no estado de São Paulo (latitude 23°52'46" Sul e longitude 44°26'33" Oeste). Foram realizadas coletas durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2008. Os peixes foram mantidos em tanque rede com 8m<sup>3</sup> sendo este povoado com 50 animais submetidos a ciclo de alimentação com dieta contendo 35% de proteína bruta oferecida no período da manhã (7h). Em cada período foram coletados 6 peixes sequencialmente a cada 4 horas (8,12,16,20,24,4 horas). Para amostragem, os animais foram rapidamente retirados do tanque com auxílio de uma rede e colocados em um recipiente contendo eugenol (0,04ml/L de água) cuja indução da anestesia ocorre entre 1 a 5 minutos não sendo necessário o uso de luvas. Após parada de movimentação espontânea amostras de sangue coletadas da artéria caudal foram centrifugadas e o plasma isolado para avaliação da concentração plasmática de glicose, triacilglicerol e ácidos graxos livres, através de *kit* de aplicação laboratorial. Para eutanásia, utilizou-se dose elevada de anestésico. A seguir amostras do fígado e de músculos branco e vermelho (linha mediana dos animais) foram direcionados para avaliação do conteúdo de glicogênio através do método do fenol sulfúrico segundo Siu *et al.* (1970). Os valores estão expressos como médias e error padrão epm, n=24. Para a análise estatística, foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, seguido do pós-teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os experimentos foram realizados conforme orientações de Ética na Experimentação Animal (Andersen *et al.*, 2004).

## RESULTADOS

Inicialmente foram avaliadas as alterações físico-químicas da água onde os animais estavam alocados tendo como eixo de análise a lâmina da água e a região mais profunda do tanque, onde foi verificada estabilidade nos parâmetros avaliados,

uma vez que, não foi observada diferença no pH, na temperatura e nem no teor de oxigênio dissolvido. Cabe ressaltar que o tanque rede atingia a profundidade de 8m, permitindo o livre fluxo de deslocamento dos animais. A seguir, passou-se a avaliar as condições meteorológicas no período das coletas sendo constatado um padrão de homogeneidade dos parâmetros, não apresentando valores estatisticamente diferentes como indicado na Tabela 1.

Dentro da proposta em tela, foi avaliada a partir do perfil de 24 horas, a dinâmica do peixe em armazenar glicogênio no tecido hepático. Assim, esta avaliação realizada no período matutino, as 8h, mostrou reservas 120,0% maiores se comparadas às observadas as 4 horas. No mesmo contexto, as amostras coletadas no período vespertino, as 12h, apresentaram-se 6,0% maiores do que a amostra anterior. Por outro lado, as amostras coletadas as 16h diferenciaram-se das avaliações anteriores, uma vez que, foi observada uma redução de 32,0% nas reservas. Este padrão de redução das reservas foi replicado na análise das amostras coletadas no período noturno, subsequentes as 20, 24 e 4h, nos quais as reservas apresentaram-se reduzidas em 28,0%, 8,0% e 7,5%, respectivamente (Figura 1).

Uma vez que, as características fisiológicas da espécie estão ligadas à movimentação contínua do animal no tanque em busca de alimento, a

avaliação das reservas glicogênicas musculares, se reveste de fundamental importância. Nesse contexto, foram avaliadas as reservas do músculo branco, o qual mostrou um comportamento de distribuição de forma homogênea, assim, esse músculo exibiu o seguinte perfil, a saber: entre as 4h e 8h as reservas foram elevadas em 60%; entre as 8h e 12h houve elevação de 25%, por sua vez, as amostras coletadas as 16h apresentaram redução de 10%; as 20h a redução atingiu 16%; as 24h a redução continuou a progredir chegando a 13% e por fim as 4h as reservas foram ainda mais reduzidas atingindo valores 30% menores (Figura 2).

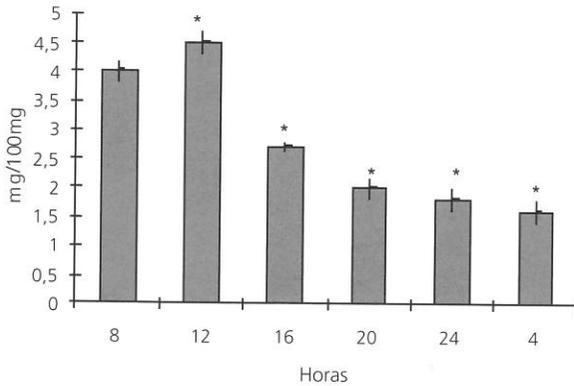
Uma característica peculiar dos peixes se refere à presença de músculo vermelho na linha lateral, fato sugestivo para a avaliação do comportamento das reservas glicogênicas nesta tipagem de fibra. Assim, ao avaliar o conteúdo de glicogênio, verificou-se que o músculo vermelho se comporta diferentemente do músculo branco, uma vez que, as 8h o nível de glicogênio apresentou-se elevado em 87,5% se comparado com o apresentado as 4h. No entanto, a partir daí, foi observada redução nas reservas atingindo 12,0%, 18,0%, 12,0%, 8,0% e 13,0%, respectivamente as 12h, 16h, 20h, 24h e 4h como pode ser observado na Figura 3.

Com relação à análise do perfil bioquímico iniciou-se pela avaliação da concentração

**Tabela 1.** Características ambientais no período da coleta. Os valores representam as médias  $\pm$  epm, n=6. São Paulo (SP), 2007-2008.

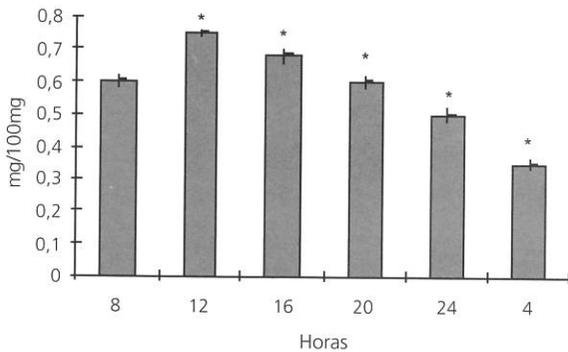
Período da coleta	Radiação Solar Global cal/cm.d	Insolação h/d	Precipitação mm	Temperatura		
				Máximo °C	Mínimo °C	Média °C
Setembro 2007	444	7,5	1,9	31,3	15,2	23,2
Outubro 2007	467	6,9	92,6	32,4	17,3	24,9
Novembro 2007	462	6,1	120,3	28,8	17,4	23,1
Total	M=457 EPM=6,9	M=6,8 EPM=0,4	M=71,6 EPM=35	M=23,8 EPM=8,2	M=16,6 EPM=0,7	M=23,7 EPM=0,5
Setembro 2007	456	7,6	46,1	27,1	13,3	20,2
Outubro 2008	445	5,9	108,7	29,5	17,6	23,5
Novembro 2008	522	7,4	24,3	30,1	17,6	23,9
Total	M=474 EPM=24	M=6,9 EPM=0,5	M=59,7 EPM=25	M=28,9 EPM=0,9	M=16,1 EPM=1,4	M=22,5 EPM=1,1

M: Média, EPM: Erro-Padrão da Média.



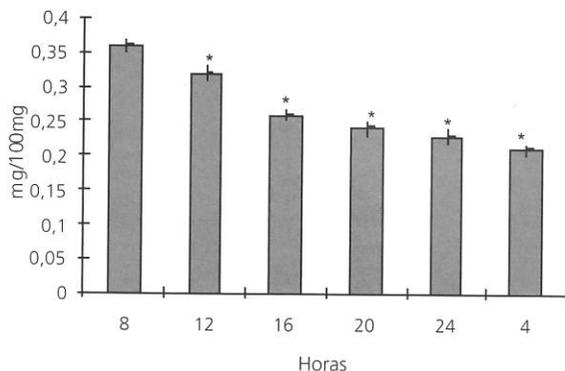
**Figura 1.** Conteúdo hepático de glicogênio (mg/100mg) do pacu (*Piaractus mesopotamucus* Holmberg, 1987).

Nota: Os valores correspondem à média erro-padrão, n=24. \* $p < 0,05$  comparado ao horário anterior.



**Figura 2.** Conteúdo de glicogênio do músculo branco (mg/100mg) do pacu (*Piaractus mesopotamucus* Holmberg, 1987).

Nota: Os valores correspondem à média erro-padrão, n=24. \* $p < 0,05$  comparado ao horário anterior.



**Figura 3.** Conteúdo de glicogênio do músculo vermelho (mg/100mg) do pacu (*Piaractus mesopotamucus* Holmberg, 1987).

Nota: Os valores correspondem à média erro-padrão, n=24. \* $p < 0,05$  comparado ao horário anterior.

plasmática de triacilglicerol sendo observada elevação de 16% e 30% na interface das 8-12h e das 12h-16h passando a manifestar redução de 5%, 12% e 10% nos horários das 20h, 24h e 4h, respectivamente. Avaliou-se também o perfil da concentração plasmática de ácidos graxos livres sendo observada elevação de 80% na interface das 8 às 12h, passando para valores 207% maiores entre 12h e 16 horas. Neste mesmo sentido foi observada redução de 80% entre 16h e 20h permanecendo neste perfil até às 24h quando a concentração começa a declinar atingindo valores similares durante as próximas 8h.

No que se refere ao perfil glicêmico observou-se elevação de 65% na interface das 8h às 12h passando por elevação adicional de 41% às 16h, quando o valor passa por redução de 35% e 28% na interface das 20h às 24h, após este horário os valores não mais diferiram (Tabela 2).

## DISCUSSÃO

O pacu é um dos peixes brasileiros de importância comercial, na pesca e na aquicultura (Silva, 1985). O interesse em conhecer o comportamento fisiológico dessa espécie, fundamenta-se no contexto de que o pacu se alimenta preferencialmente de frutas e apresenta requisitos nutricionais ligados à utilização de elevadas quantidades de carboidrato além de exibir uma grande capacidade para armazenar gordura (Menton, 1989; Metón *et al.*, 2003).

A aquicultura é um campo das Ciências Biológicas que tem crescido expressivamente nos últimos anos e se destaca pela contribuição na produção de proteína de origem animal. Neste sentido, investigações de cunho científico realizadas na área de produção de peixes são indispensáveis para contribuir com o crescimento da atividade no país. Nas dinâmicas de tratamento do plantel de peixes tem sido amplamente utilizada a adição de carboidratos como suprimento de substratos meta-bolizáveis, assim, sua inclusão em concentrações adequadas pode assegurar uma

melhor eficiência na utilização de nutrientes durante o transcorrer do dia (Wilson, 1994).

A adoção de estratégias de alimentação com restrição alimentar e realimentação é uma forma de explorar a capacidade natural de recuperação metabólica e crescimento dos peixes que permite economia no fornecimento de ração (Souza *et al.*, 2003). Cuidados intensivos no desenvolvimento da piscicultura podem reduzir as taxas de catabolismo, além de melhorar a formação das reservas energéticas de glicose (Suarez & Mommsen, 1987). Um reflexo importante que pode ser constatado é o efeito poupador de proteína, uma vez que a glicose é um importante combustível metabólico para os tecidos suprindo funções metabólicas e indiretamente reduzindo a proteólise (Cowey *et al.*, 1977; Hilton *et al.*, 1987)

Foi observado que o comportamento metabólico do pacu apresenta ritmicidade durante 24h, prevalecendo a via metabólica que dá suporte a demanda em cada período, sendo utilizadas as reservas glicogênicas e concomitante a progressão do período de jejum observa-se mudança no perfil metabólico com domínio do padrão lipídico.

Tem sido descritas evidências indiretas sugerindo que a entrada de glicose nas células dos peixes é mediada por transportadores da família GLUT, de forma similar ao observado nos mamíferos. Em um estudo com tilápia, um peixe onívoro, anticorpos contra GLUT-1 de mamíferos reagiram com uma proteína presente no coração e cérebro dos peixes (Krasnov *et al.*, 1999).

Adicionalmente, Planas *et al.* (2000) identificaram, na truta, uma molécula de GLUT com alta homologia do GLUT-4 de mamíferos, que se expressou no músculo esquelético, rim e brânquias, tecidos com alta utilização de glicose. Nesse estudo identificou-se que as reservas glicogênicas modificam seu perfil de acordo com a periodicidade circadiana apresentando grandes reservas pela manhã e sequencial redução no transcorrer do dia até a noite, coincidindo com maiores índices de ingestão pela manhã e reduzido consumo na interface da tarde para a noite.

A importância da temperatura na regulação da ingestão alimentar e crescimento permanece pouco descrita para os peixes, mas sabe-se que a maioria destes animais se alimenta melhor quando as temperaturas estão altas permitindo que as taxas de crescimento tendam a ser mais altas na primavera e verão (Paul *et al.*, 1995). Essas observações tem relação direta com as condições ambientais apresentadas no presente estudo, uma vez que o período de análise apresentou temperaturas elevadas, de forma que, pode ter influenciado enquanto fator facilitador da ativação direta do eixo secretório insulínico e/ou na captação de diferentes substratos energéticos, facilitando tanto a geração de energia quanto a formação das reservas.

Outro fator, que é importante ressaltar se fundamenta no fato dos peixes onívoros serem capazes de utilizar níveis mais altos de carboidratos na dieta, devido a maior atividade da amilase no trato digestório (Hidalgo *et al.*, 1999).

**Tabela 2.** Concentração plasmática de Triacilglicerol (TG), Ácidos Graxos Livres (AGL) e glicose (mg/dL) coletados de acordo com a hora do dia ou noite do pacu (*Piaractus mesopotamucus* Holmberg, 1987).

Hora	TG (mg/dL)		AGL ( mmol/L )		Glicemia ( mg/dL)	
	M	EPM	M	EPM	M	EPM
8:00	303,52	8	0,30	0,05	58,0	5,0
12:00	352,55	7*	0,54	0,04*	96,0*	2,0*
16:00	457,43	6*	1,66	0,05*	135,4	10,0*
20:00	472,92	7*	0,33	0,02	100,0	4,0*
24:00	422,36	10*	0,35	0,01	72,0	10,0*
4:00	381,45	2*	0,36	0,03	67,0	5,2*

Os valores correspondem à Média (M) e Erro-Padrão da Média (EPM), n=24.

Sabe-se que os peixes alternam períodos de alimentação e jejum, em resposta a vários fatores, tais como a temperatura, reprodução, disponibilidade de alimento. Durante períodos de baixa disponibilidade de substratos metabolizáveis uma complexa rede de alterações são deflagradas para promover o ajuste biológico que se caracteriza pela mobilização de diferentes substâncias (Souza *et al.*, 2000).

A capacidade do peixe em mobilizar glicogênio hepático está diretamente relacionada à manutenção das concentrações glicêmicas durante período de restrição alimentar durante a fase inicial do jejum (Higuera & Cardenas, 1984). Em um estudo de Souza *et al.* (2000) com pacus jovens submetidos à restrição alimentar verificou-se redução da concentração de glicogênio hepático no início da restrição, sugerindo que o conteúdo glicogênico é uma reserva prontamente disponível e pronta a favorecer a homeostase glicêmica, sendo mantida ou restabelecida, posteriormente, pela mobilização de outras fontes de energia tais como os lipídios e as proteínas. Esses autores observaram, ainda, que, em períodos curtos de restrição alimentar, a concentração plasmática de ácidos graxos livres foi elevada no plasma, fato também observado no presente estudo e apresentado de forma pioneira enquanto mobilização com perfil circadiano.

O aumento das concentrações plasmáticas de ácidos graxos livres pode inibir competitivamente a utilização da glicose pelos tecidos periféricos e a liberação de glicose pelo fígado, modulando a homeostase glicêmica e a gliconeogênese a partir de lipídios.

Tem sido demonstrado que a realimentação resulta na recuperação das concentrações normais de glicogênio tanto no fígado quanto no músculo, na manutenção de normoglicemia, aminoácidos plasmáticos, ácidos graxos livres plasmáticos, proteína total plasmática, como também da composição corporal (Hung *et al.*, 1997; Souza *et al.*, 2000). Assim, corroboramos com as observações indicando que após um período sem alimento, a exposição novamente a dieta, promove a recuperação dos principais reservatórios.

## CONCLUSÃO

O pacu apresenta um perfil alimentar caracterizado por uma significativa variação nas reservas energéticas durante 24 horas. Esta característica indica um metabolismo mais oxidativo sob normóxia, utilizando de uma estratégia bioquímica de armazenamento de glicogênio, para situações de hipóxia, em que passaria a um metabolismo mais anaeróbio.

## A G R A D E C I M E N T O

Ao professor doutor Antônio Ari Gonçalves (*in memoriam*) pelos ensinamentos, orientação e dedicação à formação de pesquisadores. Muito obrigado, ficando a honra de ter sido seu aluno.

## REFERÊNCIAS

- Andersen, M.L.; D' Almeida, V.; Ko, G.M.; Kawakami, R.; Martins, P.F.J.; Magalhães, L.E. *et al.* (2004). *Princípios éticos e práticos do uso de animais de experimentação*. São Paulo: Cromosite, 2004.
- Carneiro, D.J.; Fragnito, P.S. & Malheiros, E.B. (1994). Influence of carbohydrate and energy level on growth and body composition of tambacu, a hybrid of tambaqui (*Colossoma macropomum*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture*, 124(1-4):129-30.
- Cyrino, J.E.P.; Urbinati, E.C.; Fracalossi, D.M. & Castagnolli, N. (2004). *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. p.217-238.
- Cowey, C.; De La Higuera, M. & Adron, J.W. (1977). The effect of dietary composition and of insulin on gluconeogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of Nutrition*, 38:385-95.
- Figueiredo-Garutti, M.L.; Navarro, I.; Capilla, E.; Souza, R.H.S.; Moraes, G.; Gutiérrez, J. *et al.* (2002). Metabolic changes in Brycon cephalus (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part A, 132(2):467-76.
- Hidalgo, M.C.; Urea, E. & Sanz, A. (1999). Comparative study of digestive enzymes in fish with nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170(3-4): 267-83.
- Higuera, M. & Cardenas, P. (1984). Influence of dietary composition on gluconeogenesis from L-(U- 14C)

- glutamate in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 81(2):391-95.
- Hilton, J.W.; Plisetskaya, E.M. & Leatherland, J.F. (1987). Does oral 3,5,3'-triiodo-L-thyronine affect dietary glucose utilization and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 4(3):113-20.
- Hung, S.S.O.; Liu, W.; Li, H.; Storebakken, T. & Cui, Y. (1997). Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture*, 151(1-4):357-63.
- Jomori, R.K.; Carneiro, D.J.; Nartins, M.I. & Portela, M.C. (2005). Economic evaluation of *Piaractus mesopotamicus* juvenile production in different rearing system. *Aquaculture*, 243(1-4):175-83.
- Krasnov, A.; Pitkänen, T.I.; Reinisalo, M. & Mölsä, H. (1999). Expression of human glucose transporter type 1 and rat hexokinase type II complementary DNAs in rainbow trout embryos: effects on glucose metabolism. *Marine Biotechnology*, 1(1):25-32.
- Metón, I.; Fernàdez, F. & Baanante, I.V. (2003). Short-and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 225(1-4):99-107.
- Menton, D.J. (1989). Research considerations into the nutrition of *Colossoma* and *Piaractus* in relation to culture conditions. In: Hernandez, R. (Ed.). *Cultivo de Colossoma*. Bogotá: Guadalupe. p.75-84.
- Mommsen, T.P. & Plisetskaya, E.M. (1991). Insulin in fishes and agnathans: history, structure and metabolic regulation. *Reviews in Aquatic Sciences*, 4(2-3):225-59.
- Paul, A.J.; Paul, J.M. & Smith, R.L. (1995). Compensatory growth in Alaska yellowfin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation. *Journal of Fish Biology*, 46(3):442-8.
- Planas, J.; Encarnacion, C. & Gutierrez, J. (2000). Molecular identification of a glucose transporter fish muscle. *FEBS Letters*, 481(3):266-70.
- Saint Paul, U. (1986). Potential for aquaculture of south America freshwater fishes: a review *Aquaculture*, 54(3):205-40.
- Silva, A.J. (1985). *Aspectos de alimentação do pacu adulto, Colossomamitrei (Berg, 1985) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso*. Dissertação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Siu, L.O.; Russeau, J.C. & Taylor, A.W. (1970). Determination of glycogen in small tissue samples. *Journal of Applied Physiology*, 28(2):234-6.
- Souza, V.L. (1994). Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no metabolismo de pacus juvenis (*Piaractus mesopotamicus*). Dissertação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- Souza, V.L.; Oliveira, E.G. & Urbinati, E.C. (2000). Effects of food restriction and refeeding on energy stores and growth of pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Characidae). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 15(4):371-9.
- Souza, V.L.; Urbinati, E.C.; Martins, M.I.E.G. & Silva, P.C. (2003). Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetidos a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(5):19-28.
- Suarez, R.K. & Mommsen, T.P. (1987). Gluconeogenesis in teleost fishes. *Canadian Journal of Zoology*, 65(8):1869-82.
- Wilson, R.P. (1994). Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, 124(1-4):67-80.

Recebido em: 21/10/2011

Versão final reapresentada em: 9/3/2012

Aprovado em: 28/3/2012