

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTRATÉGIA ALIMENTAR, TEORES DE CARBOIDRATOS
DIETÉTICOS, DESEMPENHO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS
DO PACU *Piaractus mesopotamicus***

Leonardo Susumu Takahashi

Orientadora: Profa. Dra. Elisabeth C. Urbinati

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia (Produção Animal).

Jaboticabal – SP

Janeiro de 2007

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI – nascido em Jaboticabal-SP, no dia 20 de maio de 1979. Em março de 1997, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo em Piracicaba. Durante sua graduação realizou vários cursos e estágios na área de produção animal, concluindo-a em dezembro de 2001. Em março de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia área de concentração em Produção Animal, na FCAV-UNESP e, em agosto de 2003 finalizou suas atividades com a aprovação da sua Dissertação de Mestrado pela banca examinadora, iniciando o curso de Doutorado em Zootecnia, na mesma instituição, sendo que em janeiro de 2007 submeteu sua Tese de Doutorado à banca examinadora.

Aos meus pais, **Roque e Madalena**,
pois a única forma de ensinar e educar
é sendo o exemplo. Por acreditarem em
mim e pelo incondicional amor e apoio...

Aos meus irmãos, **Karina e
Guilherme**, por serem a
verdadeira prova da existência da
amizade, fraternidade e amor...

A **Jaqueline Dalbello Biller**, por
sua incansável dedicação,
companheirismo e carinho...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser fonte de vida, iluminar meu caminho e dar forças para sempre acreditar e lutar.

A Profa. Dra. Elisabeth Criscuolo Urbinati por ser muito mais que apenas orientadora. Pela confiança, paciência e acima de tudo, pela amizade e carinho incondicionais.

Ao Prof. Dr. José Eurico Possebon Cyrino, Prof. Dr. Ramon Diniz Malheiros, Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi e Prof. Dr. Roberto Goiten pelas valiosas sugestões ao trabalho e principalmente pelo incentivo.

Aos professores Dr. Dalton José Carneiro, Dr. João Batista Kochenborger Fernandes, Dr. Renato Luis Furlan, Dr. José Roberto Verani, Dra. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein e Dra. Maria Cristina Thomaz pelo apoio constante, colaboração e principalmente pelo apreço demonstrado.

Aos professores e colegas do curso de Pós-Graduação em Zootecnia e do Centro de Aqüicultura da UNESP pelos ensinamentos, pela amizade e pela colaboração nesta jornada.

A Damares Perecin Roviero e demais funcionários do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da FCAV e do Centro de Aqüicultura da UNESP, pela ajuda em todas as situações e amizade demonstrada.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia de Peixes: Fabiano, Ana Paula, Janessa, Luciana, Márcio, Sumô, Mônica, Carla, Michele e Rafaels, pela ajuda, amizade e pelos bons momentos.

Aos amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta etapa e esperavam ser mencionados. Para não cometer injustiça não foram, uma vez que eram muitos os nomes que foram lembrados no momento de escrever, mas sintam-se eternamente agradecidos por terem contribuído na realização dos trabalhos ou na convivência, e que eu possa retribuir de alguma forma.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo e auxílios na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
Crescimento em peixes: respostas compensatórias	1
Metabolismo energético na restrição e realimentação	5
Efeito da dieta nas respostas fisiológicas compensatórias.....	9
Efeito da restrição alimentar na sanidade dos peixes	11
Objetivos Gerais	13
Referências bibliográficas	13
CAPITULO 2 – INGESTÃO COMPENSATÓRIA DE ALIMENTO E DESEMPENHO PRODUTIVO EM PACU SUBMETIDO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO COM DOIS TEORES DE CARBOIDRATOS DIETÉTICOS	22
Introdução.....	23
Material e Métodos	24
Resultados e Discussão.....	28
Conclusões	40
Referências Bibliográficas.....	41
CAPITULO 3 – HIPERFAGIA, CRESCIMENTO E METABOLISMO ENERGÉTICO DE PACU <i>Piaractus mesopotamicus</i> SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ALIMENTAÇÃO E TEORES DE CARBOIDRATOS NA DIETA	46
Introdução.....	47
Material e Métodos	48
Resultados e Discussão.....	51
Conclusões	62
Referências Bibliográficas.....	63
CAPITULO 4 – RESPOSTAS FISIOLÓGICAS À INFESTAÇÃO POR <i>Dolops carvalhoi</i> INDUZIDA EM PACU SUBMETIDO À RESTRIÇÃO E REALIMENTAÇÃO COM DOIS TEORES DE CARBOIDRATOS NA DIETA.	67
Introdução.....	68
Material e Métodos	69
Resultados e Discussão.....	71
Conclusão.....	85
Referências Bibliográficas.....	85

**ESTRATÉGIA ALIMENTAR, TEORES DE CARBOIDRATOS DIETÉTICOS,
DESEMPENHO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO PACU *Piaractus
mesopotamicus***

RESUMO – A adoção de esquemas de alimentação com restrição e realimentação para peixes pode induzir a ocorrência de ganho de peso compensatório e permite redução no fornecimento de ração, principal componente do custo de produção. Além disto, o uso de dietas que forneça os nutrientes necessários para esta fase de rápido crescimento e o não comprometimento da resistência imunológica do peixe, representam vantagens adicionais. Nesse sentido, juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* ($36,9 \pm 2,8$ g) foram submetidos a três estratégias de alimentação (alimentação contínua; 3 dias restrição e 3 dias de realimentação controlada; 3 dias restrição e 3 dias de realimentação até a saciedade aparente) com duas dietas experimentais (45 e 52% CHO). Foram avaliados o desempenho produtivo e metabolismo energético em duas etapas, aos 36 e aos 84 dias de alimentação. Após os 84 dias, os peixes foram submetidos à infestação pelo parasito *Dolops carvalhoi*, sendo avaliadas as respostas fisiológicas de estresse. Ocorreu ingestão compensatória, tanto durante os 36 como durante os 84 dias, mas sem ocorrência de ganho de peso compensatório. Os parâmetros do metabolismo energético, aos 36 dias de alimentação, sugerem grande capacidade do pacu em mobilizar as reservas energéticas endógenas. Aos 84 dias, os parâmetros fisiológicos do metabolismo energético, evidenciam a habilidade do pacu em manter a homeostase e recuperar-se da privação alimentar através da dinâmica de suas reservas. As estratégias de alimentação adotadas associadas as dietas experimentais não comprometeram as respostas do pacu frente ao desafio com o ectoparasito. A adoção de períodos curtos de restrição e realimentação, pode ser recomendada em condições específicas de manejo, sem prejuízo irreversível aos peixes e com redução nos custos de produção.

Palavras-chave: ingestão, manejo alimentar, metabolismo energético, parasito.

**FEED STRATEGY, DIETARY CARBOHYDRATE LEVELS, GROWTH
PERFORMANCE AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF PACU *Piaractus
mesopotamicus***

SUMMARY – Schemes of food restriction and refeeding can induce compensatory growth in fish and reduction of production costs. Additionally, the use of diets providing needed nutrients for the fast growth and adequate immune status of fish can be beneficial. In this way, pacu juveniles *Piaractus mesopotamicus* (36.9 ± 2.8 g) were submitted to three feed strategies (continuous feeding; 3 days of restriction and 3 days of controlled refeeding; 3 days of restriction and 3 days of refeeding until apparent satiation) and two experimental diets (45 and 52% carbohydrate - CHO). Growth performance and energetic metabolism were evaluated at 36 and 84 days of feeding. After 84 days, fish were exposed to *Dolops carvalhoi*, and physiological responses were evaluated. Compensatory food intake was registered at 36 and 84 days, without compensatory growth. At 36 days of feeding, metabolic indicators suggested that pacu is able to mobilize endogenous energy stores. At 84 days of food restriction, pacu exhibited ability to keep its body homeostasis by mobilizing endogenous reserves, and to recover the tissue losses provoked by food restriction. Feed strategies and experimental diets did not affect the ability of pacu to face the parasite infestation. Cycles of food restriction and refeeding for short periods (3 days restriction/3 days refeeding) can be recommended for pacu in specific conditions, since no irreversible biological damage was detected and, in addition, reduction of production cost is possible.

Keywords: ingestion, feed management, energetic metabolism, parasite.

CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Crescimento em peixes: respostas compensatórias

A disponibilidade de alimento no ambiente natural apresenta variação temporal e espacial, submetendo os animais a períodos de privação de alimento ou inanição. Como forma de adaptação à situação, quando o alimento está novamente disponível, muitos organismos exibem respostas compensatórias que se traduzem em um crescimento mais acelerado, comparado ao dos indivíduos expostos a contínua e elevada disponibilidade de alimento (GURNEY *et al.*, 2003). O crescimento ou ganho de peso compensatório pode ser definido como um processo fisiológico por meio do qual um organismo tem seu crescimento acelerado após período de desenvolvimento reduzido, geralmente provocado por uma diminuição na ingestão de alimento, na tentativa de alcançar o peso dos animais que cresceram continuamente (HORNICK *et al.*, 2000).

Da mesma forma, no ambiente aquático, os peixes estão sujeitos a flutuações climáticas sazonais; no inverno, por exemplo, a procura, a ingestão e a oferta natural de alimentos são reduzidas. Outros fatores, como alterações na qualidade do alimento, tratamento quimioterápico de doenças e condições ambientais adversas no sistema de produção, podem também provocar desaceleração do crescimento. Nestas situações, ocorre privação total ou parcial de alimento que pode durar vários dias promovendo redução na taxa de crescimento ou até mesmo perda de peso. Uma vez restabelecidas as condições normais, pode ocorrer ganho compensatório (WANG *et al.*, 2000; ALI *et al.*, 2003).

O crescimento compensatório pode ser dividido em diferentes categorias, de acordo com a extensão em que ocorrem. No caso da compensação parcial, animais de mesma idade submetidos à privação de alimento não conseguem alcançar o mesmo porte que animais não submetidos ao jejum. Entretanto, apresentam elevada taxa de ingestão de alimento e de crescimento e, em alguns casos, melhor conversão alimentar e composição do filé durante o período de realimentação. Na compensação completa, os animais privados de alimento atingem o mesmo tamanho, à mesma idade, que os

animais continuamente alimentados. Um fenômeno mais raro é a sobre compensação, na qual animais de mesma idade, submetidos à restrição alimentar, alcançam tamanhos superiores ao dos animais não submetidos à restrição (ALI *et al.*, 2003).

A elevada taxa de crescimento observada em diversos animais, durante o ganho compensatório, pode ser resultado de diversos processos. Na condição de elevado crescimento, um organismo tem que aumentar a ingestão de alimentos (suprimento) e/ou reduzir os custos metabólicos. Assim, a compensação pode ser consequência de uma taxa de metabolismo basal relativamente baixa, pelo fato dos animais apresentarem peso corporal inferior ao dos animais de mesma idade continuamente alimentados, e devido ao fato dos mecanismos poupadores de energia ainda serem mantidos por algum período após a restrição de alimento (HORNICK *et al.*, 2000; O'CONNOR *et al.*, 2000). Outras evidências apontam para um aumento da eficiência de conversão de alimento durante a compensação, embora este efeito possa ser pouco intenso e de curta duração (MIGLAVS & JOBLING, 1989; RUSSEL & WOOTON, 1992; GAYLORD & GATLIN III, 2001).

Um dos principais mecanismos envolvidos no ganho compensatório, observado em diversos animais, é a elevação da taxa de ingestão de alimento durante a realimentação, fenômeno conhecido como hiperfagia (MIGLAVS & JOBLING, 1989; JOBLING & JOHANSEN, 1999; ALI *et al.*, 2003). Entretanto, segundo GURNEY *et al.* (2003), somente a hiperfagia não seria capaz de proporcionar crescimento suficientemente alto para que os animais submetidos à privação alimentar alcançassem ou ultrapassassem o peso dos animais continuamente alimentados, sendo necessária sua combinação com um mecanismo de alocação que favorecesse o elevado fluxo de nutrientes assimilados durante a realimentação para o crescimento estrutural.

A magnitude do ganho de peso compensatório depende da natureza, severidade e duração da restrição alimentar, do estágio de desenvolvimento em que se inicia a subnutrição, a idade de maturidade sexual e o modelo de realimentação (WANG *et al.*, 2000; ALI *et al.*, 2003; TIAN & QIN, 2003). Alevinos do bagre do canal *Ictalurus punctatus*, mantidos em tanques de terra e submetidos a seis e nove semanas de jejum e realimentados por doze e nove semanas, respectivamente, apresentaram peso médio

final inferior ao dos grupos continuamente alimentados, embora os animais submetidos a três semanas de jejum e realimentados por quinze semanas tenham alcançado o peso médio dos peixes continuamente alimentados já na sexta semana de realimentação (KIM & LOVELL, 1995b). Entretanto, em tilápia híbrida *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, após quatro semanas de realimentação, o peso corporal dos peixes submetidos à restrição alimentar por período de duas a quatro semanas foi menor do que o do grupo controle, apesar da ocorrência de hiperfagia. Essa incapacidade da tilápia em recuperar o peso corporal é, provavelmente, resultado da insuficiente capacidade de ganho de peso compensatório associada a grande perda de peso durante a privação alimentar em altas temperaturas (WANG *et al.*, 2000).

Em barramundi juvenil *Lates calcarifer*, a privação alimentar curta (uma semana) resultou em completa compensação, enquanto a restrição longa (duas a três semanas) resultou apenas em compensação parcial. A hiperfagia foi observada em todos os grupos de peixes durante a realimentação, mas não houve diferença significativa na eficiência de conversão alimentar e no coeficiente de digestibilidade aparente (TIAN & QIN, 2003). De acordo com ZHU *et al.* (2004), tanto juvenis da carpa “gibel” *Carassius auratus gibelio*, uma espécie onívora, quanto juvenis do bagre “longsnout” *Leiocassis longirostris*, uma espécie carnívora, submetidos a quatro ciclos de uma semana de jejum e duas semanas de realimentação até a saciedade aparente, demonstraram crescimento compensatório durante a realimentação, mas que permitiu apenas uma compensação parcial. Ocorreu hiperfagia durante os períodos de realimentação, estando presente, ainda, quando um novo ciclo de restrição era imposto, sugerindo que a resposta compensatória não havia cessado quando os animais eram novamente submetidos ao jejum.

A maioria dos estudos sobre crescimento compensatório em peixes tem utilizado períodos longos de jejum, sendo dada pouca atenção ao efeito da restrição alimentar por períodos mais curtos. Segundo KINDSCHI (1988), o ciclo semanal de arraçoamento, incluindo um ou dois dias de jejum, pode compensar pela redução dos custos com ração e mão-de-obra.

HAYWARD *et al.* (1997) observaram que o “sunfish” híbrido *Lepomis cyanellus x L. macrochirus*, submetido a ciclos de restrição de alimento por dois dias com realimentação até que a ingestão diária de alimento fosse inferior a do grupo continuamente alimentado, alcançou o dobro do ganho de peso observado nos animais continuamente alimentados. Em experimentos posteriores, estes mesmos autores constataram que alevinos de “sunfish” híbrido, mantidos em grupos sob vários ciclos de restrição alimentar por dois dias e realimentação até que a ingestão média de alimento fosse inferior a do grupo controle, não conseguiram alcançar o ganho de peso do grupo continuamente alimentado ao final do experimento, embora tenham apresentado hiperfagia. Entretanto, este mesmo híbrido, em unidades experimentais individuais, submetido à mesma estratégia de alimentação, apresentou, ao final do experimento, além da hiperfagia, ganho de peso médio superior ao dos peixes continuamente alimentados, sendo esta melhor resposta atribuída a ausência das interações sociais ocorridas nos animais mantidos em grupo (HAYWARD *et al.*, 2000).

Em juvenis de truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, submetidos a dois e quatro dias de jejum e realimentados até que a ingestão de alimento fosse igual a do controle, foi observada compensação completa, na qual os peixes submetidos à restrição alcançaram o peso dos animais continuamente alimentados. Entretanto, os juvenis submetidos a oito e 14 dias de jejum, embora tenham apresentado elevadas taxas de crescimento, não conseguiram alcançar o peso final dos peixes continuamente alimentados. Nestes animais, as altas taxas de crescimento durante a realimentação foram provavelmente obtidas pela alta taxa de ingestão de alimento, sem nenhuma melhora na eficiência alimentar (NIKKI *et al.*, 2004).

Juvenis de bagre do canal submetidos a cinco ou dez dias de jejum seguidos de 14 dias de realimentação em ciclos repetitivos não foram capazes de alcançar o peso dos peixes continuamente alimentados (REIGH *et al.*, 2006). Segundo HEIDE *et al.* (2006), em juvenis de “halibut” do Atlântico *Hippoglossus hippoglossus*, submetidos a diferentes esquemas de restrição-realimentação, foi observada clara resposta de crescimento compensatório com o início da alimentação após o jejum em todos os grupos submetidos à restrição de alimento, em comparação com o grupo

continuamente alimentado. Entretanto, apenas compensação parcial foi alcançada no período experimental. A possível explicação para este resultado pode ter sido um período de realimentação insuficiente para que os peixes alcançassem a condição do grupo continuamente alimentado.

Inúmeros estudos com peixes comprovam a capacidade de ganho compensatório, embora a maioria deles com espécies de clima temperado. As informações sobre peixes tropicais ainda são incipientes. SOUZA *et al.* (1997) observaram que, em juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* submetidos à restrição alimentar por 60 dias, ocorreu perda de peso, com recuperação marcante após 30 dias de realimentação. Do mesmo modo, jejum de 22 dias promoveu redução do crescimento da mesma espécie e a realimentação levou a um rápido crescimento (GONÇALVES, 2001). Segundo SANTOS *et al.* (2004), juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* submetidos a 14, 21 e 28 dias de jejum seguidos de 66, 59 e 52 dias de realimentação, respectivamente, apresentaram desempenho produtivo semelhante ao do grupo continuamente alimentado, demonstrando o potencial da espécie para o crescimento compensatório.

Segundo SOUZA *et al.* (2003), durante o período de outono/inverno, pode-se utilizar ciclo alimentar de seis semanas de restrição alternadas com sete semanas de realimentação para o pacu, sem que sua capacidade de crescimento compensatório seja prejudicada. Entretanto, durante as estações mais quentes do ano (primavera/verão), outros programas de alimentação devem ser testados, utilizando-se períodos mais curtos de restrição alimentar. Neste sentido, ODA *et al.* (2004) observaram que juvenis de pacu podem ser submetidos a seis dias de alimentação e um de jejum, ou ainda três dias de alimentação e um de jejum, sem que o desempenho produtivo seja inferior ao do grupo continuamente alimentado, permitindo uma economia de até 25% de ração.

Metabolismo energético na restrição e realimentação

De modo geral, os peixes são bem adaptados a sobreviver por períodos longos de privação alimentar, apresentando habilidade de recuperar-se por meio de alterações

comportamentais, fisiológicas e bioquímicas. Na privação de alimento, os processos orgânicos essenciais são mantidos às custas das reservas energéticas endógenas, o que resulta em progressivo esgotamento e desgaste dos tecidos corporais (WEATHERLEY & GILL, 1987).

De acordo com AIRES (1999) e BERNE & LEVY (2000), após a alimentação, quando os combustíveis metabólicos foram, em grande parte, absorvidos pelo intestino, o corpo começa utilizar aqueles armazenados durante a alimentação. No jejum, quando os nutrientes não estão disponíveis, ocorre mobilização da glicose como combustível para o sistema nervoso central, e de gordura para suprir, na medida do possível, as necessidades oxidativas de outros tecidos, além de aumento da degradação de proteínas a aminoácidos (catabolismo). Nesta condição, a secreção de insulina diminui e é regulada, principalmente, pela concentração da glicose no sangue. No tecido adiposo aumenta a hidrólise de triglicerídeos a ácidos graxos, que captados pelo fígado são oxidados a cetoácidos hidrossolúveis, fornecendo substrato oxidativo ao músculo e reduzindo o uso de glicose por este tecido. O fígado cataboliza gradativamente o glicogênio, e passa a depender mais intensamente da gliconeogênese, a partir dos aminoácidos resultantes da degradação protéica no músculo e do glicerol proveniente da lipólise (BERNE & LEVY, 2000).

A manutenção da glicemia durante a privação de alimento está diretamente relacionada com a capacidade de mobilização do glicogênio hepático, pelo menos durante o estágio inicial do jejum, e depende, ainda, de posterior ativação da gliconeogênese hepática e de redução da taxa de utilização da glicose (MOON *et al.*, 1989; FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2002). Em muitas espécies de peixe, o glicogênio é mobilizado no início da privação de alimento, mas o grau de depleção varia muito entre as espécies, desde uma rápida glicogenólise até uma parcial ou quase completa proteção das reservas de glicogênio durante o jejum (SHERIDAN & MOMMSEN, 1991).

De acordo com RIOS *et al.* (2002), em teleósteos, a principal reserva energética são as estocadas durante o período de abundância de alimento no fígado e na forma de gordura visceral. A dinâmica de utilização da energia endógena pode ser parcialmente

monitorada através de índices morfológicos como o fator de condição (K), o índice hepatossomático (IHS) e o índice gorduroviscerossomático (IGVS). Estes autores observaram em traíras *Hoplias malabaricus*, submetidas a jejum severo de 30 dias, significativa redução no índice hepatossomático e exaustão da gordura visceral, acompanhada por significativa redução na massa corporal total, sugerindo mobilização da proteína muscular como fonte de energia.

Segundo FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.* (2002), o matrinxã *Brycon cephalus*, na ausência de glicose proveniente da alimentação, rapidamente altera seu metabolismo para manter a homeostase. Essa flexibilidade no metabolismo de glicose, que caracteriza uma espécie onívora, está relacionada a mudanças nos hormônios pancreáticos que permitem ajustes metabólicos graduais durante a transição da condição prandial à privação de alimento. Dessa forma, 12 horas após ingestão de alimento foram observados elevados valores de glicose circulante e glicogênio hepático, caracterizando o período de absorção e 72 horas após ingestão de alimento, significativa redução nos dois parâmetros, indicando a mudança para a condição de jejum. A manutenção de altos níveis de ácidos graxos livres durante o período de jejum e o aumento observado 14 dias após a última refeição sugerem contribuição significativa do tecido adiposo em fornecer energia ao peixe

Conforme SOUZA *et al.* (2000), juvenis de pacu com peso médio de 141,7 g, submetidos à restrição alimentar por 60 dias e realimentados por 30 dias, demonstraram redução do glicogênio hepático no início da restrição, sugerindo que esta é uma reserva prontamente disponível para favorecer a homeostase glicêmica, sendo mantida ou restabelecida pela mobilização de outras fontes de energia como os lipídios e as proteínas. Estes autores observaram, ainda, que, em períodos curtos de restrição alimentar, a concentração de lipídio no fígado e outros tecidos diminuiu, ao mesmo tempo em que o de ácidos graxos livres no plasma aumentou. O aumento dos ácidos graxos livres pode inibir competitivamente a utilização da glicose pelos tecidos periféricos e a liberação de glicose pelo fígado. A maior absorção de ácidos graxos pelo fígado favorece o metabolismo lipídico, a homeostase glicêmica e a gliconeogênese a partir de lipídios. Em estudo posterior com a mesma espécie, SOUZA *et al.* (2002)

observaram em peixes com peso médio de 83,5 g, submetidos a quatro ciclos de quatro e seis semanas de restrição alimentar seguidas de nove e sete semanas de realimentação, respectivamente, a mesma dinâmica de mobilização das reservas energéticas durante a restrição alimentar. Além disso, os depósitos energéticos hepáticos foram facilmente recuperados quando restabelecido o fornecimento de alimento, evidenciando que a capacidade de sobreviver a períodos de privação alimentar depende da habilidade da espécie em utilizar suas reservas endógenas.

A ingestão de alimento em mamíferos induz mudanças nos níveis circulantes de vários hormônios. Existe uma complexa relação entre ingestão de alimento, liberação hormonal e metabólitos, não estando estabelecida a seqüência dos mecanismos envolvidos. Em peixes, o controle da ingestão de alimento, assim como em muitos outros processos, envolve o sistema nervoso central e a secreção de vários hormônios (TYLER & CALOW, 1985). Os hormônios apresentam importante função na regulação do crescimento e utilização dos nutrientes, sendo o sistema endócrino dos peixes sensível a alterações na ingestão de nutrientes (MACKENZIE *et al.*, 1998). Diversas pesquisas mostraram que alterações na ingestão de alimentos, composição da dieta, composição corporal e tempo de alimentação têm relação direta com o metabolismo dos hormônios tireoideanos (tiroxina, T_4 , e triiodotironina, T_3), pancreáticos (insulina e glucagon) e do crescimento, que incluem o hormônio do crescimento (GH) e o fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-I) (DONALDSON *et al.*, 1979; FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; CERDÁ-REVERTER *et al.*, 1996; ALI *et al.*, 2003).

Os hormônios tireoideanos, mais especificamente o T_3 , sua forma biologicamente ativa, está envolvido no metabolismo intermediário de peixes (PLISETSKAYA *et al.*, 1983; HIMICK & EALES, 1990). Embora exista grande variação entre espécies na regulação da atividade tireoideana em peixes, tem sido observado que a restrição de alimento pode reduzir a atividade do eixo hipotálamo-hipófise-tireóide e, conseqüentemente, os níveis circulantes dos hormônios tireoideanos (FLOOD & EALES, 1983; FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; CERDÁ-REVERTER *et al.*, 1996). Essa resposta durante a fase de privação alimentar provavelmente está envolvida na regulação da produção de hormônios anabólicos como o GH e o IGF-1,

representando uma estratégia de partição de energia em direção oposta ao crescimento, permitindo assim o catabolismo e uso dos metabólitos para a produção de energia (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; SCHMID *et al.*, 2003).

Em juvenis da truta arco-íris, a restrição de alimento resultou na redução dos níveis plasmáticos de T_3 e T_4 , com significativa redução no nível de T_3 aos seis dias de jejum (FLOOD & EALES, 1983). Nessa mesma espécie, FARBRIDGE & LEATHERLAND (1992) observaram que a restrição de alimento resultou em redução nos níveis circulantes dos hormônios tireoideanos e que após a realimentação por uma semana, esses níveis retornaram a valores similares aos observados nos animais continuamente alimentados. Do mesmo modo, segundo CERDÁ-REVERTER *et al.* (1996), a restrição de alimento por três dias promoveu significativa redução nos níveis circulantes de T_3 e T_4 em juvenis de “sea bass” *Dicentrarchus labrax*, mas essa mesma resposta não foi observada em juvenis de “sea bream” *Sparus aurata*, nos quais o jejum não ocasionou mudanças significativas nas concentrações plasmáticas de T_3 e T_4 .

Efeito da dieta nas respostas fisiológicas compensatórias

Um aspecto importante no manejo alimentar de peixes submetidos à restrição de alimento é a associação de diferentes estratégias de alimentação a dietas cuja composição forneça os nutrientes para dar o suporte energético e de nutrientes plásticos necessários durante a fase de maior crescimento e demanda metabólica (SOUZA *et al.*, 2003). Por outro lado, assim como outros vertebrados, os peixes regulam, ao menos parcialmente, a ingestão de alimentos para atender a exigência em energia (LEE & PUTNAM, 1973; CHO *et al.*, 1976). Entretanto, pouca informação existe sobre a alteração da exigência nutricional dos peixes durante o crescimento compensatório.

GAYLORD & GATLIN III (2001) submeteram alevinos do bagre do canal a ciclos de alimentação compostos por dois dias de restrição de alimento seguidos de 11 dias de realimentação com quatro dietas contendo dois níveis de proteína bruta (PB) associados a dois níveis de energia digestível (ED) (32% PB e 3,0 kcal ED g⁻¹, 37% PB e 3,0 kcal ED g⁻¹, 32% PB e 3,6 kcal ED g⁻¹, 37% PB e 3,6 kcal ED g⁻¹) e uma quinta

dieta com 32% PB, 3,0 kcal ED g⁻¹ e suplementação de aminoácidos essenciais (5% da dieta). Observaram que o nível de energia 3,6 kcal ED g⁻¹, assim como 37% PB, resultou em maior ganho de peso e melhor eficiência alimentar. O grupo submetido à restrição alimentar apresentou ganho de peso igual ao dos peixes continuamente alimentados e eficiência alimentar superior, sugerindo que a restrição de alimento foi capaz de induzir elevada taxa de ganho de peso na realimentação, mas a manipulação das dietas não aumentou a taxa de crescimento.

Os carboidratos, por serem uma fonte barata de energia, permitem economia na produção de rações. Estudos sobre a utilização de carboidratos como fonte energética têm apontado para um possível efeito economizador de proteína que estes podem exercer, atuando não somente como fator de redução no custo da ração, mas também como fator de redução de impacto ambiental (KIM & KAUSHIK, 1992; ERFANULLAH & JAFRI, 1995; SEENAPPA & DEVARAJ, 1995; HILLESTAD *et al.*, 2001). Neste aspecto, o pacu é uma espécie interessante como objeto de estudo de fisiologia da nutrição, em especial os que envolvem metabolismo energético e uso de carboidratos, pois a espécie apresenta hábito alimentar frugívoro. Sua alimentação natural, rica em carboidratos provenientes de frutos e sementes (SILVA, 1985; MENTON, 1989), indica que ela possui mecanismos bioquímicos bem adaptados para seu aproveitamento.

FERNANDES *et al.* (2000; 2001) avaliaram dietas isocalóricas contendo três diferentes níveis protéicos com substituição da farinha de peixe por farelo de soja, em alevinos (22, 26 e 30% PB) e juvenis de pacu (18, 22 e 26% PB). Observaram que os melhores coeficientes de digestibilidade para os juvenis foram obtidos com as dietas que continham farelo de soja ou sua mistura equitativa com a farinha de peixe, como principais concentrados protéicos. Os resultados indicaram, ainda, que o nível de 26% PB foi o mais adequado para o bom desempenho dos alevinos e o nível de 22% PB foi o melhor para os juvenis. Com esta mesma espécie, ABIMORAD (2004) avaliou o desempenho e composição corporal de alevinos de pacu alimentados com dietas contendo dois níveis de proteína digestível (19 e 22% PD), dois níveis de extrato etéreo (4 e 8% EE) e três níveis de extrativo não nitrogenado (41, 46 e 50% ENN) em esquema fatorial, sugerindo a utilização de 22% PD. Segundo o autor, quando o nível

de extrato etéreo da dieta for 4%, recomenda-se a inclusão de, no máximo, 46% ENN, podendo ser utilizado até 50% ENN nas dietas com 8% EE sem prejuízo ao crescimento. O incremento de carboidratos não-estruturais nas dietas melhorou a digestibilidade da energia, elevando a concentração de energia digestível, sendo a relação ED/PD ideal para os peixes alimentados com dietas contendo 22% PD e 8% EE de 15,7 kcal ED g PD⁻¹.

Segundo CARNEIRO *et al.* (1994), no tambacu *Colossoma macropomum* x *Piaractus mesopotamicus*, a elevação do nível de carboidratos não estruturais (CHO) até 45% em dietas com nível de energia bruta de 3900 kcal EB kg⁻¹ promoveu melhor crescimento, que decresceu com o aumento do nível energético da dieta (4500 kcal EB kg⁻¹). FIGUEIREDO-GARUTTI (1996), testando dietas com 35 e 50% de amido de cereais na alimentação do pacu, observou melhor crescimento com o nível mais alto, e melhor utilização do carboidrato em relação aos lipídios. GONÇALVES (2001) avaliou, em juvenis de pacu, o efeito do jejum por 22 dias e a realimentação controlada por 29 dias com dietas contendo 42,5% CHO e 25,9% PB e 49,5% CHO e 23,4% PB. O jejum provocou perda de peso nos peixes e a realimentação resultou em ganho compensatório, sendo a compensação apenas parcial nos peixes alimentados com a dieta contendo 42,5% CHO e 25,9% PB e total nos alimentados com a dieta com 49,5% CHO e 23,4% PB, indicando que o pacu utilizou mais eficientemente níveis mais altos de carboidratos como energia, poupando a proteína para o crescimento.

Efeito da restrição alimentar na sanidade dos peixes

Um ponto fundamental na adoção das estratégias de alimentação restrita é seu efeito na sanidade dos peixes e na capacidade de ajuste a condições estressantes, como as que normalmente os peixes são submetidos durante o cultivo. Estudos sobre a resistência à infestação com *Edwardsiella ictaluri* no bagre do canal, após programas de restrição alimentar, mostraram que animais em restrição mais severa eram muito susceptíveis à infestação, sendo os menores mais sensíveis que os maiores, enquanto animais moderadamente restritos respondiam do mesmo modo que os peixes continuamente alimentados (KIM & LOVELL, 1995; OKWOCHE & LOVELL, 1997).

Os estímulos estressores, sejam eles práticas rotineiras de manejo, como a despesca, onde os animais são submetidos a captura e exposição aérea, ou a infestação por parasitas e patógenos, provocam uma série de respostas primárias e secundárias no metabolismo dos peixes. A elevação do cortisol no plasma é uma importante resposta primária ao estresse, enquanto a elevação dos níveis de açúcar sanguíneo e alterações nos níveis de glicogênio, lipídios e proteínas em alguns tecidos, são efeitos secundários característicos (BARTON & IWAMA, 1991; MOMMSEN *et al.*, 1999). Além disso, a alteração osmorregulatória e eletrolítica no estresse em peixes é muito mais pronunciada do que em animais terrestres, sendo uma das mudanças mais características (WENDELAAR BONGA, 1997). Assim, alterações dos níveis de eletrólitos sanguíneos, como o cloreto, o potássio e o sódio podem indicar a presença do estresse (MCDONALD & MILLIGAN, 1997). Adicionalmente, a quantidade de leucócitos e de linfócitos e outros parâmetros hematológicos também fornecem boa indicação do estado de saúde de alguns peixes (CHEN *et al.*, 2002).

Quando a capacidade de regular os mecanismos homeostáticos se esgota, a saúde dos peixes pode estar comprometida. Os efeitos terciários do estresse incluem a diminuição do crescimento, da capacidade reprodutiva e da resistência a doenças (ROBERTSON *et al.*, 1987; WENDELAAR BONGA, 1997; WEIL *et al.*, 2001). Embora a literatura não apresente muitos dados sobre avaliação de respostas de estresse decorrente de condições de manejo e ataque de parasitos após aplicação de programas de restrição alimentar em peixes cultivados, FARBRIDGE & LEATHERLAND (1992) observaram, em juvenis da truta arco-íris, que a restrição de alimento resultou na redução dos níveis circulantes de cortisol dos peixes submetidos ao jejum por duas, quatro e seis semanas em comparação aos animais continuamente alimentados, sendo essa resposta uma estratégia para poupar os metabólitos do catabolismo. Após a realimentação, a concentração do hormônio voltou a níveis semelhantes ao dos peixes continuamente alimentados. Em traíras, a restrição severa de alimento ocasionou diminuição nos valores de hematócrito e número de células vermelhas, sugerindo a ocorrência de um estado de anemia, causando diminuição no transporte de oxigênio das brânquias para os tecidos (RIOS *et al.*, 2002).

Objetivos Gerais

1. Avaliar o efeito de três estratégias de alimentação, que incluíram períodos de restrição alimentar seguidos de realimentação, associadas a dois níveis de carboidratos nas dietas sobre o desempenho produtivo, a ocorrência de ganho de peso compensatório e hiperfagia e o metabolismo energético de juvenis de pacu;
2. Verificar as respostas fisiológicas frente à infestação induzida pelo parasito *Dolops carvalhoi* de juvenis de pacu submetidos a três estratégias de alimentação, que incluíram períodos de restrição alimentar seguidos de realimentação, associadas a dois níveis de carboidratos nas dietas em condições laboratoriais controladas.

Referências bibliográficas

ABIMORAD, E.G. **Relações entre níveis de proteína e energia digestíveis em dietas com diferentes proporções de lipídios e carboidratos para o crescimento do pacu, *Piaractus mesopotamicus***. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

AIRES, M.M. **Fisiologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2ed. 1999. 934p. ISBN 85-277-0539-7.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v.4, p.147-190, 2003.

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

BERNE, R.M.; LEVY, M.N. **Fisiologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 4ed. 2000. 1034p. ISBN 85-277-0559-1.

CARNEIRO, D.J.; FRAGNITO, P.S.; MALHEIROS, E.B. Influence of carbohydrate and energy level on growth and body composition of tambacu, a hybrid of tambaqui (*Colossoma macropomum*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture**, v.124, p.129-130, 1994.

CERDÁ-REVERTER, J.M.; ZANUY, S.; CARRILLO, M. KAH, O. Development of enzyme Immunoassays for 3,4,3' – Triiodo-L-thyronine and L-Thyroxine: time-course studies on the effect of food deprivation on plasma thyroid hormones in two marine teleosts, sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.), **General and Comparative Endocrinology**, v.103, p.290-300, 1996.

CHEN, W.H.; SUN, L.T.; TSAI, C.L.; SONG, Y.L.; CHANG, C.F. Cold-stress induced the modulation of catecholamines, cortisol, immunoglobulin M, and leukocyte phagocytosis in tilapia. **General and Comparative Endocrinology**, v.126, p.90-100, 2002.

CHO, C.Y.; SLINGER, S.J.; BAYLEY, H.S. Influence of level and type of dietary protein and of level of feeding on feed utilization by rainbow trout. **Journal of Nutrition**, v.106, p.1547-1556, 1976.

DONALDSON, E.M.; FAGERLUND, U.H.; HIGGS, D.A.; MCBRIDE, J.R. Hormonal enhancement of growth. In: Hoar, W.S.; Randall, D.J.; Brett, J.R. ed. **Fish Physiology VIII**; Bioenergetics and Growth, New York: Academic Press, 1979. 786p.

ERFANULLAH; JAFRI, A.K. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo rohita*. **Aquaculture**, v.136, p.331-339, 1995.

FARBRIDGE, K.J.; LEATHERLAND, J.K. Temporal changes in plasma thyroid hormone, growth hormone and free fatty acid concentrations, and hepatic 5'-monodeiodinase

activity, lipid and protein content during chronic fasting and re-feeding in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v.10, p.245-257, 1992.

FERNANDES, J.B.K.; CARNEIRO, D.J.; SAKOMURA, N.K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.646-653, 2000.

FERNANDES, J.B.K.; CARNEIRO, D.J.; SAKOMURA, N.K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.617-626, 2001.

FIGUEIREDO-GARUTTI, M.L. **Carboidrato como fonte de energia e a ação do cromo trivalente e da insulina em pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Pisces, Characidae)**. 1996. 64f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FIGUEIREDO-GARUTTI, M.L.; NAVARRO, I.; CAPILLA, E.; SOUZA, R.H.S.; MORAES, G.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTINI-PAULINO, M.L.M. Metabolic changes in *Brycon cephalus* (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, v.132, p.467-476, 2002.

FLOOD, C.G.; EALES, J.G. Effects starvation and refeeding on plasma T₄ and T₃ levels and T₄ deiodination in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. **Canadian Journal of Zoology**, v.61, p.1949-1953, 1983.

GAYLORD, T.G.; GATLIN III, D.M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.194, p.337-348, 2001.

GONÇALVES, F.D. **Metabolismo energético e desempenho produtivo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), submetidos a jejum e realimentação com dietas**

contendo diferentes níveis de carboidratos e proteína. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GURNEY, W.S.C.; JONES, W.; VEITCH, A.T.; NISBET, R.M. Resource allocation, hyperphagia, and compensatory growth in juveniles. **Ecology**, v.84, p.2777-2787, 2003.

HAYWARD, R.S.; NOLTIE, D.B.; WANG, N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.126, p.316-322, 1997.

HAYWARD, R.S.; WANG, N.; NOLTIE, D.B. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. **Aquaculture**, v.183, p.299-305, 2000.

HEIDE, A.; FOSS, A.; STEFANSSON, S.O. MAYER, I.; NORBERG, B.; ROTH, B.; JENSSEN, M.D.; NORTVEDT, R.; IMSLAND, A.K. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. **Aquaculture**, v.261, p.109-117, 2006.

HILLESTAD, M.; JOHNSEN, F.; ASGARD, T. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture Research**, v.32, p.517-529, 2001.

HIMICK, B.A.; EALES J.G. The acute effects of food and glucose challenge on plasma thyroxine and triiodothyronine levels in previously starved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **General and Comparative Endocrinology**, v.78, p.34-41, 1990.

HORNICK, J.L.; EENAEME, C.V.; GÉRARD, O.; DUFRASNE, I.; ISTASSE, L. Mechanisms of reduced and compensatory growth. **Domestic Animal Endocrinology**, v.19, p.121-132, 2000.

JOBLING, M.; JOHANSEN, S.J.S. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. **Aquaculture Research**, v.30, p.473-478, 1999.

KIM, J.D.; KAUSHIK, S.J. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.106, p.161-169, 1992.

KIM, M.K.; LOVELL, R.T. Effect of overwinter feeding regimen on body weight, body composition and resistance to *Edwardsiella ictaluri* in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v.134, p.237-246, 1995.

KIM, M.K.; LOVELL, R.T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. **Aquaculture**, v.135, p.285-293, 1995b.

KINDSCHI, G.A. Effect of intermittent feeding on growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **Aquacultural Fishery Manager**, v.19, p.213-215, 1988.

LEE, D.J.; PUTNAM, C.B. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. **Journal of Nutrition**, v.103, p.916-922, 1973.

MACKENZIE, D.S., VANPUTTE, C.M., LEINEIR, K.A. Nutrient regulation of endocrine function in fish. **Aquaculture**, v.161, p.3-25, 1998.

MCDONALD, G.; MILLIGAN, L. Ionic, osmotic and acid-base regulation in stress. *In*: Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B. (Ed.) **Fish stress and health in aquaculture**. Cambridge: Cambridge University Press, p.119-144. 1997.

MENTON, D. J. Research considerations into the nutrition of *Colossoma* and *Piaractus* in relation to culture conditions. *In*: Hernandez R, (Ed.) **Cultivo de Colossoma**. Guadalupe, Colombia. p. 75-84. 1989.

MIGLAVS, I.; JOBLING, M. Effects of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. **Journal of Fish Biology**, v.34, p.957-997, 1989.

MOMMSEN, T.P.; VIJAYAN, M.M.; MOON, T.W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. **Fish Biology and Fisheries**, v.9, p.211-268, 1999.

MOON, T.W.; FOSTER, G.D.; PLISETSKAYA E.M. Changes in peptide hormones and liver enzymes in the rainbow trout deprived of food 6 weeks. **Canadian Journal of Zoology**, v.67, p.2189-2193, 1989.

NIKKI, J.; PIRHONEN, J.; JOBLING, M.; KARJALAINEN, J. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held individually. **Aquaculture**, v.235, p.285-296, 2004.

O'CONNOR, K.I.; TAYLOR, A.C.; METCALFE, N.B. The stability of standard metabolic rate during a period of food deprivation in juvenile Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, v.57, p.41-51, 2000.

ODA, G.M.; UCHIYAMA, R.T.; TAKAHASHI, L.S.; FERNANDES, J.B.K.; URBINATI, E.C. Desempenho produtivo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos a diferentes estratégias de alimentação. In: AQUACIÊNCIA 2004 – CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE AQUICULTURA E BIOLOGIA AQUÁTICA, 1, 2004, Vitória, **Anais**. Vitória: Aquabio, 2004, p.93.

OKWOCHE, V.O.; LOVELL, R.T. Cool weather feeding influence responses of channel catfish to *Edwardsiella ictaluri* challenge. **Journal of Aquatic Animal Health**, v.9, p.163-171, 1997.

PLISETSKAYA, E.; DICKHOFF, W.W.; GORBMAN, A. Plasma thyroid hormones in cyclostomes: do they have a role in regulation of glycemic levels? **General and Comparative Endocrinology**, v.49, p.97-107, 1983.

REIGH, R.C.; WILLIAMS, M.B.; JACOB, B.J. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v.254, p.506-516, 2006.

RIOS, F.S.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. The effects of long-term food deprivation on respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. **Journal of Fish Biology**, v.61, p.85-95, 2002.

ROBERTSON, L.; THOMAS, P.; ARNOLD, C.R. TRANT, J.M. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and a disease outbreak. **Progressive Fish-Culturist**, v.49, p.1-12, 1987.

RUSSEL, N.R.; WOOTON, R.J. Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus*, following short periods of food restriction. **Environmental Biology of Fishes**, v.34, p.277-285, 1992.

SANTOS, G.R.S.; ITUASSÚ, D.R.; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M.P. Compensatory growth in tambaqui *Colossoma macropomum* juvenile. In: AQUACULTURE 2004, Hawaii, 2004. **Abstract Book**. Hawaii: WAS, 2004. p.523.

SCHMID, A.C.; LUTZ, I.; KLOAS, W.; REINECKE, M. Thyroid hormone stimulates hepatic IGF-I mRNA expression in a bony fish, the tilapia *Oreochromis mossambicus*, in vitro and in vivo. **General and Comparative Endocrinology**, v.130, p.129-134, 2003.

SEENAPPA, D.; DEVARAJ, K.V. Effect of different levels of protein, fat and carbohydrate on growth, feed utilization and body carcass composition of fingerlings in *Catla catla* (Ham.). **Aquaculture**, v.129, p.243-249, 1995.

SHERIDAN, M.A.; MOMMSEN, T.P. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. **General Comparative Endocrinology**, v.81, p.473-483, 1991.

SILVA, A.J. **Aspectos da alimentação do pacu adulto, *Colossoma mitrei* (Berg, 1895) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso.** 1985. 92f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; OLIVEIRA, E.G. Restrição alimentar, realimentação e as alterações no desenvolvimento de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.24, p.19-24, 1997.

SOUZA, V.L.; OLIVEIRA, E.G.; URBINATI, E.C. Effects of food restriction and refeeding on energy stores and growth of pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Characidae). **Journal of Aquaculture in the Tropics**, v.15, p.371-379, 2000.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; GONÇALVES, D.C.; SILVA, P.C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Acta Scientiarum**, v.24, p.533-540, 2002.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; MARTINS, M.I.E.G.; SILVA, P.C. 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**, v.32, p.19-28, 2003.

TIAN, X.; QIN, J.G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v.224, p.169-179, 2003.

TYTLER, P.; CALOW, P. **Fish energetics: New Perspectives.** Sidney: Croom Helm, 1985. 349p.

WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. **Aquaculture**, v.189, p.101-108, 2000.

WEATHERLEY, A.H.; GILL, H.S. **The biology of fish growth**. London: Academic Press, 1987. 443p.

WEIL, L.S.; BARRY, T.P.; MALISON, J.A. Fast growth in rainbow trout is correlated with a rapid decrease in post-stress cortisol concentrations. **Aquaculture**, v.193, p.373-380, 2001.

WENDELAAR BONGA, S.E. The stress response in fish. **Physiological Reviews**, v.77, p.591-625, 1997.

ZHU, X.; XIE, S.; ZOU, Z.; LEI, W.; CUI, Y.; YANG, Y.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth and food consumption in gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, and Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris*, experiencing cycles of feed deprivation and re-feeding. **Aquaculture**, v.241, p.235-247, 2004.

CAPITULO 2 – INGESTÃO COMPENSATÓRIA DE ALIMENTO E DESEMPENHO PRODUTIVO EM PACU SUBMETIDO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO COM DOIS TEORES DE CARBOIDRATOS DIETÉTICOS

RESUMO – Para avaliar o uso de estratégias de restrição alimentar e realimentação associadas a níveis de carboidratos dietéticos na ingestão de alimento, crescimento e metabolismo do pacu, 264 juvenis foram alimentados com dietas contendo 45 e 52% de carboidratos por 36 dias, segundo as estratégias: grupos controle – continuamente alimentados até a saciedade aparente; grupos submetidos à restrição com realimentação controlada em ciclos de restrição-realimentação de 3 dias de restrição seguidos de 3 dias de realimentação com a mesma quantidade consumida pelos grupos controle; e grupos submetidos à restrição com realimentação até a saciedade em ciclos de restrição-realimentação de 3 dias de restrição seguidos de 3 dias de realimentação até a saciedade dos peixes. Os resultados foram submetidos à ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). O ganho de peso do grupo controle foi maior que o dos grupos sujeitos à restrição de alimento, com as duas dietas testadas. O consumo total de alimento por peixe teve o mesmo perfil do ganho de peso. A conversão alimentar foi melhor no grupo controle seguido do grupo realimentado até a saciedade e com realimentação controlada, sem efeito do CHO. Houve hiperfagia no grupo realimentado até a saciedade, embora o período de realimentação tenha sido insuficiente para promover ganho de peso compensatório. O grupo controle apresentou menor nível de glicose e ácidos graxos livres no sangue e maior nível de triglicerídeos. Os peixes com realimentação controlada tinham nível reduzido de triglicerídeos e menor nível de triiodotironina. Os peixes realimentados até a saciedade apresentaram maior nível de glicose, possivelmente pela ingestão compensatória na realimentação, e de triglicerídeos mais reduzida. Os resultados sugerem que os esquemas de alimentação testados em pacu juvenil, por 36 dias, não promoveram ganho de peso compensatório embora ocorresse uma ingestão compensatória de alimento e alterações nos parâmetros fisiológicos, indicadoras da dinâmica do metabolismo intermediário.

Palavras-chave: manejo alimentar, hiperfagia, metabolismo intermediário.

Introdução

Devido a grande variação na disponibilidade de alimento no ecossistema aquático natural, os peixes enfrentam diferentes graus de restrição de alimento durante seu desenvolvimento, que resultam em grande variação no crescimento (TIAN & QIN, 2003). O rápido crescimento que ocorre após um período de crescimento reduzido, resultante da restrição de alimento ou de outra condição desfavorável do meio, é conhecido como crescimento compensatório e já foi descrito em vários animais (HORNICK *et al.*, 2000).

De acordo com o grau da recuperação, o crescimento compensatório pode ser classificado em três tipos: sobre compensação, no qual diversos ciclos de privação e realimentação resultam em ganho de peso que excede o ganho de peso dos peixes continuamente alimentados (HAYWARD *et al.*, 1997); compensação completa, na qual os peixes submetidos à restrição de alimento alcançam o mesmo peso corporal dos peixes continuamente alimentados (TIAN & QIN, 2003; NIKKI *et al.*, 2004) e compensação parcial, na qual os peixes submetidos ao jejum exibem acelerado crescimento após o restabelecimento da alimentação, embora inferior ao obtido pelos peixes continuamente alimentados (TIAN & QIN, 2003; NIKKI *et al.*, 2004; HEIDE *et al.*, 2006). De maneira geral, o ganho compensatório em peixes é acompanhado por um aumento na ingestão de alimento, também conhecido como hiperfagia, e algumas vezes por aumento da eficiência alimentar (ALI *et al.*, 2003). A hiperfagia é uma resposta compensatória considerada em muitas espécies de peixes como a principal responsável pelo crescimento compensatório (NIKKI *et al.*, 2004; HEIDE *et al.*, 2006).

A capacidade de responder a períodos de privação alimentar depende da habilidade da espécie em utilizar suas reservas endógenas durante a privação. Em teleósteos, as principais fontes de reserva energética são o fígado e a gordura visceral (FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.*, 2002; RIOS *et al.*, 2002) e sua mobilização depende de controle hormonal. Os peixes são bioquímica e hormonalmente preparados para compensar o processo de utilização de alimentos após período de privação alimentar (MOMMSEN & PLISETSKAYA, 1991).

Além dos hormônios pancreáticos, insulina e glucagon (MOMMSEN & PLISETSKAYA, 1991), os hormônios tireoideanos, especialmente o T₃, que é a forma biologicamente ativa, podem estar envolvidos no metabolismo intermediário, tendo sido observado que a restrição de alimento pode reduzir os níveis circulantes dos hormônios tireoideanos em peixes (FLOOD & EALES, 1983; HIMICK & EALES, 1990).

Embora a intensidade do ganho de peso compensatório dependa da natureza, severidade e duração da restrição alimentar e da realimentação, essa resposta compensatória é de interesse da aquicultura, porque o entendimento da sua dinâmica pode permitir o desenvolvimento de estratégias de alimentação que reduzam as despesas com ração e mão-de-obra e melhorem a conversão alimentar (HAYWARD *et al.*, 1997; REIGH *et al.*, 2006). Estudos com o pacu *Piaractus mesopotamicus*, peixe de grande importância na piscicultura brasileira, sugerem que a espécie apresenta altas taxas de crescimento durante a realimentação controlada após períodos longos de restrição alimentar, mostrando alta capacidade compensatória (SOUZA *et al.*, 1997; SOUZA *et al.*, 2003). Adicionalmente, GONÇALVES (2001) mostrou que o pacu parece utilizar preferencialmente carboidrato após jejum, poupando proteína para o crescimento. Assim, a associação de ciclos curtos de restrição e realimentação com dietas cuja composição forneça os nutrientes necessários para sustentar um crescimento compensatório deve ser investigada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o emprego de estratégias de alimentação (restrição alimentar com realimentação controlada ou até a saciedade aparente) associadas a dois níveis de carboidratos dietéticos (45 e 52% CHO) nas respostas de ingestão de alimento, de crescimento e na dinâmica das reservas energéticas de juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido, de junho a julho de 2006, no Biotério do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal (FCAV-UNESP). Foram utilizadas 24 caixas de polietileno, com capacidade para 100 L, dispostas num sistema de circulação aberto, com renovação contínua de água e

aeração forçada por meio de compressores de ar radiais e pedras porosas. Periodicamente, a matéria orgânica depositada no fundo das caixas era removida por sifonamento. Os parâmetros físico-químicos da água mensurados semanalmente foram: concentração de oxigênio dissolvido ($7,06 \pm 0,29 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), temperatura da água ($28,60 \pm 0,25^\circ \text{ C}$), amônia total ($0,08 \pm 0,01 \text{ mg N-NH}_4 \text{ L}^{-1}$) e pH ($7,56 \pm 0,13$).

Antes da fase experimental, juvenis de pacu, obtidos de um produtor comercial, foram aclimatados às condições laboratoriais por 30 dias, sendo alimentados até a saciedade aparente, duas vezes ao dia, com ração comercial. A seguir, os peixes (peso inicial = $36,9 \pm 2,8 \text{ g}$ e comprimento total inicial = $12,2 \pm 0,4 \text{ cm}$) foram mantidos em jejum por aproximadamente 24 horas, capturados aleatoriamente e distribuídos em 24 caixas de polietileno de 100 L, correspondentes aos seis tratamentos (duas dietas e três estratégias de alimentação) com quatro caixas por tratamento, na densidade de 11 peixes/caixa.

Durante 36 dias, os peixes foram alimentados com as dietas experimentais, em duas refeições diárias (09h 00min e 17h 00min), de acordo com as seguintes estratégias de alimentação:

- Grupos controle: animais continuamente alimentados até a saciedade aparente, durante todo o período experimental, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO);
- Grupos submetidos à restrição com realimentação controlada: período experimental dividido em ciclos de restrição-realimentação de seis dias, nos quais os peixes foram submetidos a três dias de restrição total de alimento e três dias subseqüentes de realimentação, sendo fornecida a mesma quantidade consumida pelo grupo controle nos dias de realimentação, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO);
- Grupos submetidos à restrição com realimentação até a saciedade aparente: período experimental dividido em ciclos de restrição-realimentação de seis dias, nos quais os peixes foram submetidos a três dias de restrição total de alimento e três dias subseqüentes de realimentação, sendo fornecido alimento até a saciedade aparente dos animais, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO).

Para preparação das dietas experimentais, os ingredientes foram triturados em moinho com peneira de 0,8 mm de diâmetro e misturados de acordo com a formulação.

As dietas foram extrusadas, com adição de água, e os grânulos secos em estufa a 45°C por 12 horas, armazenados em frascos plásticos e conservados em geladeira durante todo o experimento. As duas dietas testadas apresentavam dois níveis de carboidratos não estruturais (45 e 52% CHO), conforme a formulação apresentada na Tabela 1. As composições dos ingredientes e das dietas foram determinadas segundo metodologia da A.O.A.C. (1984) e a energia bruta por meio de bomba calorimétrica (Parr 1281 Calorimeter). A digestibilidade da proteína e da energia das dietas foi determinada segundo ABIMORAD & CARNEIRO (2004). O consumo de ração foi rigorosamente controlado, possibilitando a avaliação da ingestão de alimento, além dos parâmetros de eficiência alimentar.

Para registro de dados biométricos foram realizadas amostragens no início do experimento e 36 dias depois, no último dia de realimentação do 6º ciclo de alimentação. Nas biometrias, todos os peixes de cada parcela (caixa) foram anestesiados com benzocaína (1g 15L⁻¹ de água), pesados individualmente em balança digital e medidos em ictiômetro. Para as análises bioquímicas, foram amostrados 3 peixes/caixa, totalizando 12 peixes/tratamento.

Os índices de desempenho produtivo avaliados foram: ganho de peso (GP = peso final médio – peso inicial médio); consumo alimentar médio (Consumo = alimento consumido total ÷ número de peixes), conversão alimentar aparente (CA = alimento fornecido ÷ ganho de peso); taxa de eficiência protéica [TEP = 100 x (ganho de peso ÷ proteína bruta consumida)] e taxa de crescimento específico [TCE = 100 x (Ln peso final – Ln peso inicial) ÷ dias de experimento].

Dos peixes amostrados retirou-se sangue por punção da veia caudal, sendo uma alíquota separada em microtubo de centrífuga (1,5 mL) contendo 15 µL de Glistab (EDTA e fluoreto de potássio), destinada à determinação da glicose sangüínea (Método GOD-Trinder, Kit Labtest) e ácidos graxos livres (Método Enzimático-colorimétrico, Kit Wako) e o restante, após repouso de três horas à temperatura ambiente, foi centrifugado a 3000 rpm, durante 10 minutos, a 10°C, para separação do soro e determinação da concentração de triglicérides (Método Enzimático-Trinder, Kit

Labtest), proteína total (Método do Biureto, Kit Labtest) e do hormônio triiodotironina – T₃ (Radioimunoensaio, Kit Coat-a-Count da DPC).

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Farinha de peixe	13,3	13,3
Farelo de soja	33,0	31,0
Milho	10,5	16,6
Farelo de trigo	24,0	4,0
Farinha de trigo	8,0	30,8
Óleo de soja	1,7	1,0
Mist. Min./Vit. ¹	1,0	1,0
Fosfato Bicálcico	2,0	1,8
Celulose	6,5	0,5
Total	100,0	100,0
Composição Centesimal		
MS %	95,1	93,4
PB %	27,8	26,5
PD ² %	24,7	24,4
EE %	4,5	3,6
FB %	8,7	3,1
MM %	9,0	8,7
CHO ³ %	45,1	51,5
EB kcal kg ⁻¹	4.105	3.678
ED ² kcal kg ⁻¹	3.033	3.219

¹Rovimix Stay C 35® (unidades kg⁻¹ de produto): Vit. A (500.000 UI); Vit. D3 (200.000 UI); Vit. E (5.000 UI); Vit. B1 (1.500 mg); Vit. B2 (4.000 mg); Vit. B6 (1.500 mg); Vit. C (350.000 mg); Vit. K3 (15.000 mg); Ac. Fólico (500 mg); Ac. Pantotênico (4.000 mg); Biotina (50 mg); Cobalto (10 mg); Cobre (500 mg); Ferro (5.000 mg); Inositol (1.000 mg); Iodo (50 mg); Manganês (1.500 mg); Nicotinamida (7.000 mg); Selênio (10 mg); Zinco (5.000 mg); B.H.T. (12.500 mg); Colina (40.000 mg); Veículo q.s.p. (1.000 mg).

² Determinado segundo metodologia adotada por ABIMORAD & CARNEIRO (2004).

³ CHO = MS – PB – EE – FB – MM.

Os peixes foram, então, laparotomizados para retirada e pesagem da gordura visceral e do fígado, sendo também retirado um fragmento do músculo esquelético da região caudal, que foram congelados em nitrogênio líquido e armazenados a –20°C. Com os tecidos procedeu-se às análises para determinação do lipídio total hepático e muscular (BLIGH & DYER, 1959), do glicogênio hepático (MOON *et al.*, 1989) e da proteína muscular (LOWRY *et al.*, 1951). Foram avaliadas as relações somáticas: fator

de condição (K), índice gorduroviscerossomático (IGVS) e índice hepatossomático (IHS) de acordo com a fórmula: $[100 \times (\text{peso do tecido (g)} \div \text{peso corporal (g)})]$.

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado. Para os parâmetros de desempenho produtivo e análises bioquímicas foram considerados seis tratamentos em esquema fatorial (3x2) composto por três estratégias de alimentação e duas dietas, com quatro repetições cada. Para avaliação da resposta compensatória da ingestão de alimento foram considerados, além das três estratégias e das duas dietas, dias do ciclo de restrição-realimentação, totalizando 24 tratamentos em esquema fatorial (3x2x4) composto pelas três estratégias de alimentação, duas dietas e quatro dias do ciclo (terceiro dia do jejum, primeiro, segundo e terceiro dia da realimentação), com quatro repetições cada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%), através do programa estatístico SAS, versão 8.2.

Resultados e Discussão

A aplicação de esquemas de manejo alimentar com restrição de alimento e realimentação por períodos curtos (três dias de jejum e três dias de realimentação), em juvenis de pacu (peso inicial de $36,9 \pm 2,8$ g), em temperatura média de $28,60 \pm 0,25^\circ$ C, não promoveu crescimento compensatório total ao final de 36 dias, quer seja com realimentação controlada ou até a saciedade aparente. Ocorreu hiperfagia, mas o alimento não foi melhor utilizado em consequência da privação. Metabolicamente, observou-se intensa capacidade de recuperação das reservas teciduais.

Os resultados de desempenho produtivo dos juvenis de pacu alimentados com as duas dietas experimentais, de acordo com as estratégias de alimentação estudadas, são apresentados na Tabela 2. O consumo médio total, o ganho de peso e a taxa de crescimento específico foram influenciados significativamente pela interação entre as estratégias de alimentação e as dietas experimentais, enquanto a conversão alimentar e a taxa de eficiência protéica foram influenciadas apenas pela estratégia de alimentação empregada. A adoção de estratégias de alimentação com restrição e realimentação não aumentou a eficiência de utilização do alimento, em relação à

alimentação contínua. Pelo contrário, a realimentação controlada resultou em pior conversão alimentar e redução da taxa de eficiência protéica.

Tabela 2. Médias dos dados de desempenho produtivo: consumo médio total (Consumo), ganho de peso (GP), conversão alimentar aparente (CA), taxa de crescimento específico (TCE) e taxa de eficiência protéica (TEP) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação.

	Variáveis				
	Consumo g/peixe	GP g/peixe	CA	TCE %/dia	TEP %
Médias para Estratégia:					
Continuamente alimentado	40,1 A	26,9 A	1,51 B	1,51 A	2,57 A
Realimentação controlada	18,8 C	10,5 B	1,81 A	0,69 C	2,15 B
Realimentação até saciedade	22,6 B	13,4 B	1,71 AB	0,86 B	2,28 AB
Médias para Dieta:					
45% CHO	29,9 a	18,4 a	1,74 a	1,09 a	2,27 a
52% CHO	24,4 b	15,5 b	1,61 a	0,95 b	2,40 a
F para:					
Estratégia (EA)	952,48**	91,19**	5,11*	95,50**	5,48*
Dieta (D)	166,37**	7,76*	2,78 ^{NS}	7,16*	1,62 ^{NS}
EA x D	21,37**	5,29*	1,95 ^{NS}	4,64*	1,96 ^{NS}
CV (%)	3,8	15,3	11,4	12,2	11,0

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Durante os 36 dias experimentais, o consumo médio total de alimento variou de 16,5 a 44,7 g/peixe. Conforme apresentado na Tabela 3, os peixes realimentados até a saciedade aparente apresentaram um consumo médio total superior ao dos animais com realimentação controlada, embora ainda inferior ao consumo dos peixes continuamente alimentados, nas duas dietas testadas. O ganho de peso e a taxa de crescimento específico dos juvenis acompanharam o consumo de alimento, com os peixes continuamente alimentados apresentando ganho de peso maior que o dos peixes submetidos à restrição.

Tabela 3. Consumo médio total (Consumo), ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico (TCE) de juvenis de pacu submetidos as estratégias de alimentação com as dietas experimentais por 36 dias.

<i>Estratégia</i>	<i>Dieta</i>							
	45% CHO			52% CHO				
Consumo, g/peixe								
Continuamente alimentado	44,7	±	1,8	Aa	35,5	±	0,8	Ab
Realimentação controlada	21,2	±	0,5	Ca	16,5	±	0,2	Cb
Realimentação até saciedade	23,9	±	1,3	Ba	21,4	±	0,8	Bb
GP, g/peixe								
Continuamente alimentado	30,7	±	4,8	Aa	23,1	±	2,4	Ab
Realimentação controlada	11,4	±	2,0	Ba	9,6	±	0,7	Ca
Realimentação até saciedade	13,1	±	2,6	Ba	13,7	±	0,3	Ba
TCE, %/dia								
Continuamente alimentado	1,7	±	0,22	Aa	1,3	±	0,09	Ab
Realimentação controlada	0,7	±	0,12	Ba	0,6	±	0,04	Ca
Realimentação até saciedade	0,9	±	0,15	Ba	0,9	±	0,02	Ba

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dieta e minúsculas, dietas dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

O consumo da dieta com 45% CHO foi superior ao da dieta com 52% CHO nas três estratégias de alimentação testadas provavelmente decorrente da menor relação ED/PB que esta dieta apresenta (10,9 kcal ED g⁻¹ PB). Embora apresente valor de EB mais elevado, em decorrência do alto teor de fibra, a dieta fornece menor quantidade de energia digestível. De acordo com DREHER (1987), o efeito da fibra na ração dos peixes é ainda um assunto em discussão, e a celulose microfina (utilizada em rações experimentais) apresenta pouca influência na velocidade de trânsito gastrintestinal, não promove fermentação e pouco interfere no controle da glicemia e do colesterol. Entretanto, no presente trabalho, a inclusão desta celulose resultou na redução da digestibilidade da energia da dieta.

Em peixes carnívoros, como o tucunaré *Cichla* sp. e o “black bass” *Micropterus salmoides*, a diminuição da relação ED/PB resultou em aumento no consumo de ração para atender a demanda energética (SAMPAIO *et al.*, 2000; PORTZ *et al.*, 2001). Da mesma forma, em peixes frugívoros como o pacu, a relação ED/PB também influenciou

diretamente a ingestão de alimento, como observado por ABIMORAD (2004). O maior ganho de peso observado nos peixes continuamente alimentados com a dieta com 45% CHO em comparação aos peixes continuamente alimentados com a dieta com 52% CHO possivelmente foi consequência deste maior consumo observado durante o experimento.

A adoção de estratégias de alimentação com ciclos curtos de restrição e realimentação são práticas de alimentação que podem ter efeitos significativos no custo de produção e na rentabilidade da produção de peixes (SOUZA *et al.*, 2003). Diferentemente do observado com “sunfish” híbridos *Lepomis cyanellus* x *L. macrochirus*, que, quando submetidos a ciclos de restrição de alimento por dois dias com realimentação até que a ingestão diária de alimento fosse inferior a do grupo continuamente alimentado, apresentaram o dobro do ganho de peso (HAYWARD *et al.*, 1997) e com juvenis de truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, que submetidos a dois e quatro dias de jejum e realimentados até saciedade apresentaram compensação completa de crescimento (NIKKI *et al.*, 2004), no presente estudo, a adoção de ciclos seguidos de três dias de jejum com três dias de realimentação não promoveu ganho de peso compensatório no pacu.

Os resultados de consumo médio diário dos juvenis de pacu nos diferentes dias dos seis ciclos de restrição-realimentação empregados durante os 36 dias de experimento, mostram que a resposta compensatória na ingestão de alimento, em cada dia do ciclo de restrição-realimentação, foi influenciada tanto pelo dia, como pela estratégia e dieta (Tabela 4). Conforme a Tabela 5, mesmo não tendo ocorrido crescimento compensatório, a ingestão diária média dos juvenis de pacu indica uma resposta compensatória na ingestão de alimento, pois a ingestão dos peixes realimentados até a saciedade aparente foi superior a dos peixes continuamente alimentados. No grupo alimentado com a dieta com 52% CHO esse comportamento permaneceu até o terceiro dia de realimentação, quando um novo ciclo de restrição e realimentação era iniciado.

Tabela 4. Médias dos dados de consumo médio diário de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Consumo médio diário
	g/peixe
Médias para Dia do ciclo:	
3° dia Jejum	0,36 c
1° dia Realimentação	1,24 b
2° dia Realimentação	1,28 a
3° dia Realimentação	1,24 b
Médias para Estratégia:	
Continuamente alimentado	1,19 A
Realimentação controlada	0,86 C
Realimentação até saciedade	1,03 B
Médias para Dieta:	
45% CHO	1,14 x
52% CHO	0,92 y
F para:	
Dia do ciclo (DC)	1866,64**
Estratégia (EA)	345,23**
Dieta (D)	478,37**
DC x D	35,60**
DC x EA	343,13**
EA x D	13,58**
DC x EA X D	8,72*
CV (%)	4,9

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A exemplo daquilo observado neste experimento, em juvenis do “halibut” do Atlântico *Hippoglossus hippoglossus*, submetidos a diferentes esquemas de restrição e realimentação, foi observada uma clara resposta de ingestão de alimento compensatória com o início da realimentação, entretanto, apenas compensação parcial de crescimento foi alcançada e a possível explicação para este resultado pode ter sido um período de realimentação insuficiente para que os peixes alcançassem o crescimento dos grupos continuamente alimentados (HEIDE *et al.*, 2006).

Tabela 5. Consumo médio diário (g/peixe) em diferentes dias do ciclo de restrição-realimentação de juvenis de pacu submetidos as estratégias de alimentação com as dietas experimentais por 36 dias.

	<i>Dia do ciclo de alimentação</i>							
	<i>3º dia Jejum</i>		<i>1º dia Realim.</i>		<i>2º dia Realim.</i>		<i>3º dia Realim.</i>	
45% CHO								
Cont. alimentado	1,2 ± 0,08	Acx	1,4 ± 0,03	Bbx	1,3 ± 0,02	Bbx	1,5 ± 0,04	Aax
Realim. controlada	0,0 ± 0,00	Bbx	1,3 ± 0,05	Bax	1,3 ± 0,03	Bax	1,3 ± 0,05	Bax
Realim. até saciedade	0,0 ± 0,00	Bcx	1,6 ± 0,08	Aax	1,5 ± 0,11	Aax	1,3 ± 0,07	Bbx
52% CHO								
Cont. alimentado	1,0 ± 0,06	Aby	1,1 ± 0,06	Baby	1,1 ± 0,04	Bay	1,1 ± 0,06	Bay
Realim. controlada	0,0 ± 0,00	Bcx	0,9 ± 0,06	Cby	1,0 ± 0,02	Bay	1,0 ± 0,01	Bay
Realim. até saciedade	0,0 ± 0,00	Bcx	1,2 ± 0,04	Aby	1,4 ± 0,04	Aax	1,2 ± 0,06	Abx

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dia e dieta e minúsculas (a,b,c) comparam dias do ciclo de alimentação dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x,y) comparam dietas dentro de cada estratégia e dia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A,B,C) e minúsculas (x,y) na coluna e minúsculas (a,b,c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Em estudos anteriores, o pacu demonstrou grande capacidade em exibir ganho de peso compensatório. De acordo com SOUZA *et al.* (1997), peixes com peso médio de 141,7 g, em viveiros escavados com temperatura média de 24,5° C, submetidos à restrição alimentar por 60 dias, apresentaram completa compensação de crescimento com realimentação controlada por 30 dias. Durante o período de outono/inverno, pode-se utilizar ciclo alimentar de seis semanas de restrição alternadas com sete semanas de realimentação para juvenis de pacu, com peso médio de 83,5 g, em viveiros escavados, sem que sua capacidade de crescimento compensatório seja prejudicada. Entretanto, durante as estações mais quentes do ano (primavera/verão) outros programas de alimentação devem ser testados, utilizando-se períodos mais curtos de restrição alimentar (SOUZA *et al.*, 2003).

Entretanto, no presente trabalho, a adoção de estratégias de ciclos curtos de restrição e realimentação, durante 36 dias, em condições laboratoriais, não promoveu crescimento compensatório em juvenis de pacu com peso médio de 36,9 g. Essa diferença na resposta compensatória de crescimento pode ser atribuída ao fato do peixe, por ser menor, estar numa fase de crescimento mais acelerado e com menores reservas energéticas. Além disto, a temperatura da água mais elevada (28,6° C), e,

conseqüentemente maior consumo voluntário de alimento (DIAS-KOBERSTEIN *et al.*, 2004) e acelerado metabolismo, podem ter exigido uma quantidade extra de energia durante o jejum (SOUZA, 1998), não sendo compensada durante a realimentação por três dias. Diferente dos trabalhos anteriores realizados com o pacu em condições de campo, o uso de caixas de polietileno, em condições controladas, não possibilitou o aproveitamento de qualquer tipo de alimento natural, que possa ter sido aproveitado em viveiros escavados. Dessa forma, a privação alimentar parece ter sido mais severa, limitando a capacidade de crescimento compensatório nos juvenis de pacu. No estudo feito por GONÇALVES (2001), que submeteu pacus, com peso médio de 22-28 g, à restrição severa de alimento por 22 dias, em condições de laboratório, observou-se após realimentação por 29 dias recuperação parcial nos peixes realimentados com níveis mais baixos de CHO e recuperação total nos realimentados com dietas contendo níveis mais altos de CHO.

O perfil metabólico dos peixes do presente estudo foi monitorado por parâmetros sanguíneos (glicose sangüínea, ácidos graxos livres, triglicerídeos, proteína total e hormônio triiodotironina), teciduais (glicogênio hepático, lipídio hepático, lipídio muscular e proteína muscular) e por índices morfométricos (fator de condição, índice hepatossomático e índice gorduroviscerossomático). Os metabólitos sanguíneos e a concentração do hormônio triiodotironina não foram influenciados pela interação da estratégia de alimentação com a dieta experimental, mas foram significativamente afetados por estes fatores isoladamente (Tabela 6). A concentração de glicose foi influenciada significativamente pela estratégia de alimentação, sendo o maior valor observado nos peixes submetidos à restrição e realimentação até a saciedade aparente e o menor valor nos peixes continuamente alimentados. A coleta de sangue dos peixes foi realizada após o terceiro dia de realimentação, dessa forma, a maior concentração de glicose observada nos peixes realimentados pode ser conseqüência da maior ingestão de alimento durante a realimentação. A dieta também influenciou a concentração de glicose, sendo a maior média observada nos peixes alimentados com a dieta com o maior teor de carboidratos não-estruturais (52% CHO).

Tabela 6. Médias para glicose sanguínea, ácidos graxos livres (AGL), triglicerídeos, proteína e hormônio triiodotironina (T₃) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis				
	Glicose mmol L ⁻¹	AGL mEq L ⁻¹	Triglicerídeos mg dL ⁻¹	Proteína g dL ⁻¹	T3 ng dL ⁻¹
Médias para Estratégia:					
Continuamente alimentado	2,52 B	0,28 B	339,0 A	3,42 A	215,9 A
Realimentação controlada	2,76 AB	0,50 A	265,8 B	3,56 A	173,8 B
Realimentação até saciedade	2,89 A	0,42 AB	262,4 B	3,52 A	216,9 A
Médias para Dieta:					
45% CHO	2,54 b	0,35 a	278,5 a	3,53 a	219,3 a
52% CHO	2,90 a	0,44 a	298,3 a	3,48 a	185,1 b
F para:					
Estratégia (EA)	6,70**	3,67*	13,30**	1,29 ^{NS}	5,60**
Dieta (D)	18,08**	1,55 ^{NS}	2,65 ^{NS}	0,40 ^{NS}	8,06**
EA x D	1,13 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,38 ^{NS}	1,09 ^{NS}	1,43 ^{NS}
CV (%)	13,1	58,8	30,5	9,3	17,8

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De acordo com estudo de SOUZA *et al.* (2000), em juvenis de pacu não foram observadas diferenças significativas na glicemia entre os grupos continuamente alimentado e submetidos à restrição alimentar por longos períodos (60 dias), indicando que o pacu apresenta elevada capacidade de manter a homeostase glicêmica. Entretanto, no matrinxã, *Brycon cephalus*, foram observados elevados valores de glicose circulante até 24 horas após a alimentação com redução nestes níveis durante o jejum (FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.*, 2002).

Por outro lado, em juvenis do bacalhau do Atlântico *Gadus morhua*, submetidos à alimentação contínua ou à alimentação em dias alternados com diferentes dietas, foi observada elevada concentração de glicose em peixes que receberam dietas contendo baixa concentração de proteína e elevada concentração de lipídio e carboidrato, mas sem efeito da estratégia de alimentação (ROSENLUND *et al.*, 2004). Segundo os autores, a elevada glicose é provavelmente resultado de uma alimentação

desbalanceada ou de dietas deficientes em algum nutriente, refletindo um efeito secundário de estresse.

De acordo com HEMRE *et al.* (1990), duas horas após a alimentação de bacalhau a concentração de glicose foi significativamente superior nos peixes alimentados com alto teor de carboidratos em comparação aos peixes alimentados com dieta contendo apenas proteína e lipídio. Após sete dias de restrição alimentar, a glicemia observada no grupo alimentado com dieta com carboidrato foi superior ($1,7 \text{ mmol L}^{-1}$) à observada nos peixes alimentados com a dieta com proteína e lipídio ($0,7 \text{ mmol L}^{-1}$).

A concentração de ácidos graxos livres, superior nos peixes submetidos à restrição e realimentação controlada, indica uma contribuição do tecido adiposo no fornecimento de energia aos peixes, como foi observado em juvenis de pacu (SOUZA *et al.*, 2000) e no matrinxã (FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.*, 2002). Por outro lado, a elevada concentração de triglicerídeos nos peixes continuamente alimentados, em comparação aos grupos submetidos à restrição, sugere menor demanda e conseqüentemente menor velocidade de aproveitamento pelos tecidos nos peixes continuamente alimentados.

Nos peixes, os hormônios tireoidianos estão envolvidos no metabolismo intermediário (PLISETSKAYA *et al.*, 1983; HIMICK & EALES, 1990). Dessa forma, a ingestão de alimento, assim como a restrição, influencia a atividade do eixo hipotálamo-hipófise-tireóide e, conseqüentemente, os níveis circulantes dos hormônios tireoideanos (FLOOD & EALES, 1983; FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; CERDÁ-REVERTER *et al.*, 1996). Durante a fase de privação alimentar, ocorre inibição dos mecanismos anabólicos e produção de outros hormônios anabólicos como a insulina, permitindo assim o catabolismo e uso dos metabólitos para a produção de energia (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; SCHMID *et al.*, 2003).

No presente estudo, os níveis circulantes de T_3 foram inferiores nos peixes submetidos à restrição e realimentação controlada, sugerindo que os peixes estavam em déficit nutricional, e conseqüentemente em estado de catabolismo, como reportado em juvenis da truta arco-íris, onde a restrição de alimento resultou na significativa

redução no nível de T_3 com retorno a valores similares aos observados nos animais continuamente alimentados durante a realimentação (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992). Da mesma forma, a restrição de alimento por três dias promoveu significativa redução nos níveis circulantes de T_3 e T_4 , em juvenis de “sea bass” *Dicentrarchus labrax* (CERDÁ-REVERTER *et al.*, 1996).

A dinâmica de utilização da energia endógena pode ser parcialmente monitorada através de índices morfológicos como o fator de condição, o índice hepatossomático e o índice gorduroviscerossomático (RIOS *et al.*, 2002). Na Tabela 7, são apresentados o fator de condição (K), o índice hepatossomático (IHS), os teores de lipídio e glicogênio hepáticos, o índice gorduroviscerossomático (IGVS) e as concentrações de lipídio e proteína musculares. Os juvenis de pacu submetidos às estratégias de alimentação com restrição de alimento e realimentação apresentaram ao final do período experimental maiores valores de IHS, consequência das maiores concentrações de lipídio e glicogênio estocados no fígado durante a resposta compensatória de ingestão de alimento, indicando que os peixes na realimentação estocaram nutrientes no fígado para serem mobilizados durante a privação alimentar. O IGVS foi influenciado pela interação entre a estratégia de alimentação e a dieta, enquanto as concentrações de lipídio muscular e proteína muscular não apresentaram diferenças significativas para os tratamentos testados.

O K, índice que relaciona o peso com o comprimento corporal do animal, pode diferenciar os peixes alimentados dos que foram submetidos à restrição alimentar, como foi observado em juvenis de pacu, onde os peixes submetidos a 22 dias de jejum apresentaram K inferior aos peixes continuamente alimentados (GONÇALVES, 2001). No presente estudo, a adoção de ciclos de restrição-realimentação com três dias de restrição e três dias de realimentação, durante 36 dias, não resultou em diferença significativa neste índice, devido ao fato da restrição alimentar imposta não ter ocasionado perda de peso dos peixes e as estratégias usadas não terem causado efeitos severos sobre o crescimento dos peixes.

Tabela 7. Médias para fator de condição (K), índice hepatossomático (IHS), concentração de glicogênio hepático (Glic Hep.), concentração de lipídio hepático (Lip. Hep.), índice gorduroviscerossomático (IGVS), concentração de lipídio muscular (Lip. Musc.) e concentração de proteína muscular (Prot. Musc.) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis						
	K	IHS %	Glic. Hep. g 100 g ⁻¹	Lip. Hep. g 100 g ⁻¹	IGVS %	Lip. Musc. g 100 g ⁻¹	Prot. Musc. g 100 g ⁻¹
Médias para Estratégia:							
Continuamente alimentado	2,19 A	1,77 B	9,7 B	4,27 B	2,62 A	1,52 A	13,7 A
Realimentação controlada	2,13 A	2,11 A	12,5 A	5,24 A	2,28 AB	1,24 A	13,7 A
Realimentação até saciedade	2,11 A	2,17 A	12,1 A	5,17 A	2,04 B	1,27 A	12,7 A
Médias para Dieta:							
45% CHO	2,14 a	1,97 a	10,7 b	4,18 b	2,29 a	1,35 a	13,6 a
52% CHO	2,14 a	2,07 a	12,2 a	5,04 a	2,34 a	1,33 a	13,2 a
F para:							
Estratégia (EA)	3,51 ^{NS}	14,09 ^{**}	18,99 ^{**}	6,54 [*]	5,59 ^{**}	2,25 ^{NS}	2,60 ^{NS}
Dieta (D)	0,01 ^{NS}	2,38 ^{NS}	14,95 ^{**}	10,61 ^{**}	0,13 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,75 ^{NS}
EA x D	0,95 ^{NS}	0,15 ^{NS}	3,47 [*]	1,56 ^{NS}	6,73 ^{**}	0,05 ^{NS}	0,46 ^{NS}
CV (%)	2,9	14,0	12,0	25,8	25,2	29,10	9,2

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Conforme mostra a Tabela 8, os peixes submetidos à restrição e realimentados com a dieta com 52% CHO apresentaram concentrações de glicogênio hepático significativamente maiores do que os animais continuamente alimentados. Essas concentrações refletem as diferenças observadas no IHS, resultado das alterações metabólicas advindas da adoção de ciclos repetitivos de restrição-realimentação. As concentrações de glicogênio hepático mais elevadas nos peixes realimentados com a dieta com 52% CHO refletem a maior disponibilidade da glicose como precursor da reserva energética hepática.

GONÇALVES (2001) observou em juvenis de pacu, redução no IHS aos 15 dias de jejum, sendo estes valores mantidos até os 22 dias. Essa redução no índice foi acompanhada pela diminuição nos valores de lipídio hepático e possivelmente glicogênio hepático, indicando que o organismo acionou os processos de glicogenólise

e gliconeogênese. Entretanto, durante a realimentação, já aos sete dias, os valores de IHS foram recuperados, sendo, nos peixes alimentados com a dieta com alto teor de carboidrato (23,4% PB e 49,5% CHO) superior ao dos peixes continuamente alimentados.

Tabela 8. Concentração de glicogênio hepático e índice gorduroviscerossomático (IGVS) de juvenis de pacu submetidos às estratégias de alimentação com as dietas experimentais por 36 dias.

Estratégia	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Glicogênio Hepático, g 100g⁻¹		
Continuamente alimentado	9,6 ± 1,4 Aa	9,8 ± 0,9 Ba
Realimentação controlada	11,6 ± 2,0 Ab	13,3 ± 0,8 Aa
Realimentação até saciedade	10,8 ± 1,6 Ab	13,6 ± 1,1 Aa
IGVS, %		
Continuamente alimentado	2,3 ± 0,5 ABb	3,0 ± 0,8 Aa
Realimentação controlada	2,6 ± 0,5 Aa	2,0 ± 0,6 Bb
Realimentação até saciedade	2,0 ± 0,5 Ba	2,1 ± 0,5 Ba

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dieta e minúsculas, dietas dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De acordo com SOUZA *et al.* (2002), a rápida diminuição do IHS dos juvenis de pacu durante a restrição alimentar severa (4 e 6 semanas) indicou rápida utilização dos estoques de energia. Quando realimentados (9 e 7 semanas) esses estoques foram restabelecidos, chegando, algumas vezes, a exceder os dos peixes continuamente alimentados. Por outro lado, em juvenis de truta arco-íris submetidos a 2, 4, 8 e 14 dias de jejum e realimentados até que a ingestão de alimento fosse igual a do controle, não foram observadas diferenças significativas no IHS ou na quantidade de gordura visceral (NIKKI *et al.*, 2004).

Em matrinxã, FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.* (2002) observaram significativa redução no glicogênio hepático 72 horas após a refeição, sugerindo que o glicogênio hepático é umas das primeiras reservas energéticas a ser consumida na privação de alimento. No pacu, a reserva energética na forma de glicogênio hepático é rapidamente mobilizada no início da restrição alimentar, sendo restabelecida ou mantida durante períodos mais prolongados de jejum às custas de outras reservas energéticas como a

gordura visceral, sendo rapidamente recuperada na realimentação à valores superiores aos animais continuamente alimentados (SOUZA *et al.*, 2000; GONÇALVES, 2001).

O tecido adiposo do mesentério é um importante sitio de estoque de energia para o pacu. GONÇALVES (2001) observou significativa redução no IGVS de pacu aos 15 dias de jejum e recuperação após 29 dias de realimentação. SOUZA *et al.* (2002), observaram redução do IGVS em restrição de 4 e 6 semanas e valores semelhantes aos dos peixes continuamente alimentados após realimentação por 9 e 7 semanas, indicando que a recuperação dos estoques energéticos mesentéricos não é tão rápida quanto à do fígado.

Em juvenis de pacu submetidos a 22 dias de jejum, o lipídio total muscular não foi afetado (GONÇALVES, 2001). Entretanto, SOUZA *et al.* (2002) observaram em pacus submetidos a ciclos de restrição de 4 e 6 semanas e realimentados por 9 e 7 semanas redução do lipídio corporal, mas sem efeito sobre os teores de proteína bruta da carcaça. No presente trabalho, embora as estratégias de alimentação e dietas adotadas tenham ocasionado diferenças na dinâmica das reservas energéticas, o teor de lipídio e proteína muscular não sofreram alteração, sugerindo que os tratamentos adotados não ocasionaram catabolismo no tecido muscular, sendo a proteína poupada às custas dos estoques viscerais e hepáticos na ausência de alimento.

Conclusões

As estratégias de alimentação com curtos ciclos de restrição e realimentação associadas a dois níveis de carboidratos não estruturais dietéticos adotadas para os juvenis de pacu não foram eficientes em induzir ganho de peso compensatório, embora uma ingestão de alimento compensatória tenha sido observada e não tenha ocorrido prejuízos ao tecido muscular. A adoção destes manejos alimentares com restrição e realimentação por determinados períodos, comparados à alimentação contínua, se torna interessante pela redução na quantidade de ração fornecida (53 e 44%, nos grupos realimentados controladamente e até a saciedade aparente, respectivamente), principal componente do custo de produção, sem que ocorram prejuízos drásticos aos peixes.

Referências Bibliográficas

ABIMORAD, E.G. **Relações entre níveis de proteína e energia digestíveis em dietas com diferentes proporções de lipídios e carboidratos para o crescimento do pacu, *Piaractus mesopotamicus***. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1101-1109, 2004.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v.4, p.147-190, 2003.

A.O.A.C. (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 14ed. Association of Official Analytical Chemists. Ailington, V.A., 1984, 937p.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. Rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p.911-917, 1959.

CERDÁ-REVERTER, J.M.; ZANNY, S.; CARRILLO, M. KAH, O. Development of enzyme Immunoassays for 3,4,3' – Triiodo-L-thyronine and L-Thyroxine: time-course studies on the effect of food deprivation on plasma thyroid hormones in two marine teleosts, sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.), **General and Comparative Endocrinology**, v.103, p.290-300, 1996.

DIAS-KOBERSTEIN, T.C.R.; CARNEIRO. D.J.; URBINATI, E.C. Comportamento alimentar de alevinos pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) pr meio das observações do tempo de retorno do apetite e do tempo de saciação dos peixes em duas temperaturas de cultivo. **Acta Scientiarum**, v.26, p.339-344, 2004.

DREHER, M.L. **Handbook of dietary fiber**. Marcel Dekker, New York, 1987, 237p.

FARBRIDGE, K.J.; LEATHERLAND, J.K. Temporal changes in plasma thyroid hormone, growth hormone and free fatty acid concentrations, and hepatic 5'-monodeiodinase activity, lipid and protein content during chronic fasting and re-feeding in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v.10, p.245-257, 1992.

FIGUEIREDO-GARUTTI, M.L.; NAVARRO, I.; CAPILLA, E.; SOUZA, R.H.S.; MORAES, G.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTINI-PAULINO, M.L.M. Metabolic changes in *Brycon cephalus* (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, v.132, p.467-476, 2002.

FLOOD, C.G.; EALES, J.G. Effects starvation and refeeding on plasma T₄ and T₃ levels and T₄ deiodination in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. **Canadian Journal of Zoology**, v.61, p.1949-1953, 1983.

GONÇALVES, F.D. **Metabolismo energético e desempenho produtivo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), submetidos a jejum e realimentação com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos e proteína**. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

HAYWARD, R.S.; NOLTIE, D.B.; WANG, N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.126, p.316-322, 1997.

HEIDE, A.; FOSS, A.; STEFANSSON, S.O. MAYER, I.; NORBERG, B.; ROTH, B.; JENSSEN, M.D.; NORTVEDT, R.; IMSLAND, A.K. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. **Aquaculture**, v.261, p.109-117, 2006.

HEMRE, G.I.; LIE, O.; LAMBERTSEN, G.; SUNDBY, A. Dietary carbohydrate utilization in cod (*Gadus morhua*). Hormonal response of insulin, glucagon and glucagon-like-

peptide to diet and starvation. **Comparative Biochemistry Physiology**, v.97, p.41-44, 1990.

HIMICK, B.A.; EALES J.G. The acute effects of food and glucose challenge on plasma thyroxine and triiodothyronine levels in previously starved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **General and Comparative Endocrinology**, v.78, p.34-41, 1990.

HORNICK, J.L.; EENAEME, C.V.; GÉRARD, O.; DUFRASNE, I.; ISTASSE, L. Mechanisms of reduced and compensatory growth. **Domestic Animal Endocrinology**, v.19, p.121-132, 2000.

LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.J.; FARR, A.L.; RANDALL, R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v.193, p.265-275, 1951.

MOMMSEN, T.P.; PLISETSKAYA, E.M. Insulin in fishes and agnathans: history, structure, and metabolic regulation. **Reviews Aquatic Sciences**, v.4, p.225-259, 1991.

MOON, T.W.; FOSTER, G.D.; PLISETSKAYA E.M. Changes in peptide hormones and liver enzymes in the rainbow trout deprived of food 6 weeks. **Canadian Journal of Zoology**, v.67, p.2189-2193, 1989.

NIKKI, J.; PIRHONEN, J.; JOBLING, M.; KARJALAINEN, J. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held individually. **Aquaculture**, v.235, p.285-296, 2004.

PLISETSKAYA, E.; DICKHOFF, W.W.; GORBMAN, A. Plasma thyroid hormones in cyclostomes: do they have a role in regulation of glycemic levels? **General and Comparative Endocrinology**, v.49, p.97-107, 1983.

PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P.; MARTINO, R. Growth and body composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in response to dietary protein and energy levels. **Aquaculture Nutrition**, v.7, p.247-254, 2001.

REIGH, R.C.; WILLIAMS, M.B.; JACOB, B.J. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v.254, p.506-516, 2006.

RIOS, F.S.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. The effects of long-term food deprivation on respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. **Journal of Fish Biology**, v.61, p.85-95, 2002.

ROSENLUND, G.; KARLSEN, O.; TVEIT, K.; MANGOR-JENSEN, A.; HEMRE, G.I. Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. **Aquaculture Nutrition**, v.10, p.371-378, 2004.

SAMPAIO, A.M.B.M.; KUBITZA, F.; CYRINO, J.E.P. Relação energia:proteína na nutrição do tucunaré. **Scientia Agricola**, v.57, p.231-219, 2000.

SCHMID, A.C.; LUTZ, I.; KLOAS, W.; REINECKE, M. Thyroid hormone stimulates hepatic IGF-I mRNA expression in a bony fish, the tilapia *Oreochromis mossambicus*, in vitro and in vivo. **General and Comparative Endocrinology**, v.130, p.129-134, 2003.

SOUZA, V.L. **Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no crescimento e metabolismo energético de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)**. 1998. 118f. Tese (Doutorado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; OLIVEIRA, E.G. Restrição alimentar, realimentação e as alterações no desenvolvimento de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.24, p.19-24, 1997.

SOUZA, V.L.; OLIVEIRA, E.G.; URBINATI, E.C. Effects of food restriction and refeeding on energy stores and growth of pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Characidae). **Journal of Aquaculture in the Tropics**, v.15, p.371-379, 2000.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; GONÇALVES, D.C.; SILVA, P.C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Acta Scientiarum**, v.24, p.533-540, 2002.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; MARTINS, M.I.E.G.; SILVA, P.C. 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**, v.32, p.19-28, 2003.

TIAN, X.; QIN, J.G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v.224, p.169-179, 2003.

CAPITULO 3 – HIPERFAGIA, CRESCIMENTO E METABOLISMO ENERGÉTICO DE PACU *Piaractus mesopotamicus* SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ALIMENTAÇÃO E TEORES DE CARBOIDRATOS NA DIETA

RESUMO – Para avaliação de respostas compensatórias de crescimento e metabólicas, pacus ($36,9 \pm 2,8$ g; $12,2 \pm 0,4$ cm), distribuídos em 24 caixas de 100 L (11 animais/caixa), foram alimentados com 2 dietas experimentais (45 e 52% CHO) durante 84 dias, de acordo com as estratégias: grupos controle – alimentados até a saciedade aparente; grupos submetidos à restrição alimentar com realimentação controlada em ciclos de 3 dias de restrição de alimento seguidos de 3 dias de realimentação com a mesma quantidade consumida pelos grupos controle; grupos submetidos à restrição com realimentação até a saciedade aparente em ciclos de 3 dias de restrição de alimento seguidos de 3 dias de realimentação com oferta de ração até a saciedade dos peixes. Os resultados foram submetidos à ANOVA, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). Ao final do experimento, o consumo de alimento dos peixes submetidos à restrição alimentar foi 50 e 40 % (na realimentação controlada e até a saciedade, respectivamente) inferior ao consumo dos peixes controle, o que refletiu no crescimento. Houve maior consumo da dieta com 45% CHO, sem influência no ganho de peso. A conversão alimentar, taxa de eficiência protéica e taxa de crescimento específico foram inferiores nos peixes submetidos à restrição alimentar. A ingestão de alimento diário do grupo realimentado até a saciedade demonstrou comportamento de hiperfagia dos peixes, que não foi suficiente para promover ganho de peso compensatório. A glicose e os triglicerídeos sanguíneos tiveram valores reduzidos durante o jejum e recuperação na realimentação. O índice hepatossomático e os níveis de glicogênio e lipídio hepáticos mostraram rápida mobilização das reservas energéticas hepáticas no jejum e recuperação na realimentação. O uso das estratégias e dietas testadas por 84 dias não resultou em crescimento compensatório do pacu, apesar da ingestão compensatória de alimento e capacidade de atender metabolicamente a demanda energética durante a privação alimentar.

Palavras-chave: restrição-realimentação, ingestão, reservas energéticas.

Introdução

A produção de pacu *Piaractus mesopotamicus*, espécie nativa da América do Sul, tem assumido grande importância na piscicultura brasileira por sua alta rusticidade e facilidade no manejo alimentar, rápido crescimento e boa conversão alimentar, sendo apreciado tanto para a pesca esportiva como peixe para a mesa (OLIVEIRA *et al.*, 2004; QUEIROZ *et al.*, 2005).

Inúmeros estudos com peixes comprovam a capacidade de ganho compensatório, ou seja, um crescimento acelerado em condições de alta disponibilidade de alimento após um período de privação alimentar. O crescimento compensatório, dependendo da extensão em que ocorre, pode ser classificado em três categorias: compensação parcial, na qual os peixes submetidos a jejum exibem acelerado crescimento após o restabelecimento da alimentação, embora não alcancem o mesmo peso dos peixes continuamente alimentados; compensação completa, na qual os peixes submetidos à restrição de alimento alcançam, na realimentação, o mesmo peso corporal dos peixes continuamente alimentados, e sobre compensação, na qual a privação alimentar seguida de realimentação resulta em um ganho de peso que excede o ganho de peso dos peixes sempre alimentados (ALI *et al.*, 2003).

O pacu tem demonstrado alta capacidade de recuperar-se após longos períodos de restrição alimentar, apresentando altas taxas de crescimento na realimentação (SOUZA *et al.*, 1997; GONÇALVES, 2001). Em peixes tropicais, com altas taxas metabólicas e de crescimento, períodos curtos de restrição alimentar e realimentação precisam ser avaliados (SOUZA *et al.*, 2003).

A capacidade de exibir respostas compensatórias após privação alimentar depende da habilidade da espécie em utilizar suas reservas endógenas durante a restrição e da magnitude da resposta de ingestão e aproveitamento do alimento durante a realimentação (ALI *et al.*, 2003). Dessa forma, o entendimento dos mecanismos fisiológicos envolvidos nas respostas compensatórias pode contribuir para o estabelecimento de estratégias de alimentação que aumentem a eficiência produtiva e reduzam os custos de produção (SOUZA *et al.*, 2003). O presente trabalho avaliou as

respostas compensatórias e a dinâmica da mobilização das reservas energéticas de juvenis de pacu submetidos a 14 ciclos de curtos períodos de restrição alimentar com realimentação controlada e até a saciedade aparente com dietas contendo 45 e 52% de carboidratos não-estruturais.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido de junho a setembro de 2006, no Biotério do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal (FCAV-UNESP). Juvenis de pacu ($36,9 \pm 2,8$ g e $12,2 \pm 0,4$ cm) provenientes da Piscicultura Águas Claras, Mococa-SP, foram aleatoriamente distribuídos, na densidade de 11 peixes/caixa, em 24 caixas de polietileno de 100 L, correspondentes aos seis tratamentos (duas dietas e três estratégias de alimentação) com quatro caixas por tratamento, dispostas num sistema de circulação aberto, com renovação contínua de água e aeração forçada por meio de compressores de ar radiais e pedras porosas. Os parâmetros físico-químicos da água mensurados semanalmente foram: concentração de oxigênio dissolvido ($7,16 \pm 0,24$ mg O₂ L⁻¹), temperatura da água ($28,45 \pm 0,28$ °C), amônia total ($0,09 \pm 0,01$ mg N-NH₄ L⁻¹) e pH ($7,62 \pm 0,15$).

Os peixes foram alimentados, durante 84 dias, com as dietas experimentais, em duas refeições diárias (09h 00min e 17h 00min), de acordo com as seguintes estratégias de alimentação:

- Grupos controle: animais continuamente alimentados até a saciedade aparente, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO);
- Grupos submetidos à restrição e realimentação controlada: período experimental dividido em ciclos de restrição-realimentação de seis dias, nos quais os peixes foram submetidos a três dias de restrição de alimento seguidos de três dias de realimentação com a mesma quantidade consumida pelos grupos controle, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO);
- Grupos submetidos à restrição e realimentação até a saciedade aparente: período experimental dividido em ciclos de restrição-realimentação de seis dias, nos quais os

peixes foram submetidos a três dias de restrição de alimento seguidos de três dias de realimentação com alimento oferecido até a saciedade aparente dos peixes, com uma das duas dietas (45% e 52% CHO).

Para preparação das dietas experimentais, os ingredientes foram triturados em moinho com peneira de 0,8 mm de diâmetro e misturados de acordo com a formulação. As dietas foram extrusadas com adição de água e os grânulos secos a 45°C por 12 horas, armazenados em frascos plásticos e conservados em geladeira durante todo o período experimental. As duas dietas testadas apresentavam dois níveis de carboidratos não estruturais (45 e 52% CHO), conforme a formulação apresentada na Tabela 1. A composição dos ingredientes e das dietas foi determinada segundo A.O.A.C. (1984) e a energia bruta por meio de bomba calorimétrica (Parr 1281 Calorimeter). A digestibilidade da proteína e da energia das dietas foi determinada segundo ABIMORAD & CARNEIRO (2004). O consumo de ração foi controlado para cálculo da ingestão de alimento e dos parâmetros de eficiência alimentar.

Os dados biométricos foram obtidos no início do experimento e 84 dias após início da aplicação das estratégias alimentares. Nas biometrias, todos os peixes de cada caixa foram anestesiados com benzocaína (1g 15L⁻¹ de água), pesados individualmente em balança digital e medidos em ictiômetro. O material biológico para avaliação bioquímica foi obtido de 6 peixes/tratamento, ao final do 14º ciclo de restrição-realimentação, no 3º dia de jejum e no 1º, 2º e 3º dia de realimentação deste último ciclo.

Os índices de desempenho produtivo avaliados foram: ganho de peso (GP = peso final médio – peso inicial médio); consumo alimentar médio (Consumo = alimento consumido total ÷ número de peixes), conversão alimentar (CA = alimento fornecido ÷ ganho de peso); taxa de eficiência protéica [TEP = 100 x (ganho de peso ÷ proteína bruta consumida)] e taxa de crescimento específico [TCE = 100 x (Ln peso final – Ln peso inicial) ÷ período experimental].

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Farinha de peixe	13,3	13,3
Farelo de soja	33,0	31,0
Milho	10,5	16,6
Farelo de trigo	24,0	4,0
Farinha de trigo	8,0	30,8
Óleo de soja	1,7	1,0
Mist. Min./Vit. ¹	1,0	1,0
Fosfato Bicálcico	2,0	1,8
Celulose	6,5	0,5
Total	100,0	100,0
Composição Centesimal		
MS %	95,1	93,4
PB %	27,8	26,5
PD ² %	24,7	24,4
EE %	4,5	3,6
FB %	8,7	3,1
MM %	9,0	8,7
CHO ³ %	45,1	51,5
EB kcal kg ⁻¹	4.105	3.678
ED ² kcal kg ⁻¹	3.033	3.219

¹Rovimix Stay C 35® (unidades kg⁻¹ de produto): Vit. A (500.000 UI); Vit. D3 (200.000 UI); Vit. E (5.000 UI); Vit. B1 (1.500 mg); Vit. B2 (4.000 mg); Vit. B6 (1.500 mg); Vit. C (350.000 mg); Vit. K3 (15.000 mg); Ac. Fólico (500 mg); Ac. Pantotênico (4.000 mg); Biotina (50 mg); Cobalto (10 mg); Cobre (500 mg); Ferro (5.000 mg); Inositol (1.000 mg); Iodo (50 mg); Manganês (1.500 mg); Nicotinamida (7.000 mg); Selênio (10 mg); Zinco (5.000 mg); B.H.T. (12.500 mg); Colina (40.000 mg); Veículo q.s.p. (1.000 mg).

² Determinado segundo metodologia adotada por ABIMORAD & CARNEIRO (2004).

³ CHO = MS – PB – EE – FB – MM.

O sangue dos peixes foi retirado por punção caudal. Parte do sangue obtido foi separada em microtubo de centrifuga (1,5 mL) contendo 15 µL de Glistab (EDTA e fluoreto de potássio) para determinação dos níveis de glicose sangüínea (Método GOD - Trinder, Kit Labtest) e ácidos graxos livres (Método Enzimático - colorimétrico, Kit Wako) e parte, após três horas à temperatura ambiente, foi centrifugada a 3000 rpm, por 10 minutos, a 10°C, para separação do soro e determinação dos níveis de triglicerídeos (Método Enzimático - Trinder, Kit Labtest) e proteína total (Método do Biureto, Kit Labtest).

Os peixes foram laparotomizados para retirada e pesagem da gordura visceral e do fígado, que foram congelados em nitrogênio líquido e armazenados a -20° C. O fígado foi usado para determinação das concentrações de lipídio total (BLIGH & DYER, 1959) e glicogênio (MOON *et al.*, 1989). Foram calculados o fator de condição [$K = (\text{peso/comprimento}^3) \times 100$] e as relações somáticas: índice gorduroviscerossomático (IGVS) e índice hepatossomático (IHS) de acordo com a fórmula: [$100 \times (\text{peso do tecido (g)} \div \text{peso corporal (g)})$].

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado. Para os parâmetros de desempenho produtivo foram considerados seis tratamentos em esquema fatorial (3x2) composto por três estratégias de alimentação e duas dietas, com quatro repetições cada. Para avaliação do consumo médio e dados do metabolismo energético foram considerados 24 tratamentos em esquema fatorial (3x2x4) composto por três estratégias de alimentação, duas dietas e quatro dias do ciclo de restrição-realimentação (no 3º dia de jejum e no 1º, 2º e 3º dia de realimentação do ciclo de restrição-realimentação). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%), através do programa estatístico SAS, versão 8.2.

Resultados e Discussão

A aplicação de 14 ciclos consecutivos de três dias de jejum seguidos de três dias de realimentação em pacus, com peso médio de 36,9 g, em condições laboratoriais controladas, em temperatura média de $28,45^{\circ}$ C, não promoveu crescimento compensatório. Os peixes realimentados até a saciedade aparente exibiram ingestão de alimento compensatória, mas não houve melhora na eficiência alimentar nos peixes realimentados com quantidades controladas de alimento ou até a saciedade. As estratégias de alimentação mobilizaram as reservas energéticas de estoque durante o jejum para atender as demandas biológicas e eram recuperadas rapidamente quando a alimentação era normalizada.

Os indicadores de desempenho produtivo dos peixes submetidos as diferentes estratégias de alimentação com dietas contendo 45 e 52% CHO estão apresentados na

Tabela 2. O consumo médio total e o ganho de peso durante os 84 dias de experimento foram significativamente afetados pela interação da estratégia de alimentação com a dieta (Tabela 3). A conversão alimentar, a taxa de crescimento específico e a taxa de eficiência protéica foram influenciadas apenas pela estratégia de alimentação.

O grupo de peixes controle apresentou a melhor conversão alimentar e as maiores taxas de crescimento específico e eficiência protéica, enquanto os peixes realimentados apresentaram as piores conversões alimentares e as taxas de crescimento específico e de eficiência protéica mais baixas, sem diferença estatística entre elas (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos dados de desempenho produtivo: consumo médio total (Consumo), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), taxa de crescimento específico (TCE) e taxa de eficiência protéica (TEP) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis				
	Consumo g/peixe	GP g/peixe	CA	TCE %/dia	TEP %
Médias para Estratégia:					
Continuamente alimentado	110,3 A	70,6 A	1,59 B	1,26 A	2,45 A
Realimentação controlada	55,1 C	28,7 B	1,95 A	0,68 B	2,00 B
Realimentação até saciedade	65,3 B	34,4 B	1,92 A	0,79 B	2,04 B
Médias para Dieta:					
45% CHO	84,6 a	47,6	1,91	0,95	2,07
52% CHO	69,2 b	41,6	1,73	0,87	2,26
F para:					
Estratégia (EA)	421,40**	83,03**	6,50**	81,46**	7,44**
Dieta (D)	86,97**	4,32 ^{NS}	4,04 ^{NS}	3,33 ^{NS}	3,57 ^{NS}
EA x D	9,12**	4,03*	2,21 ^{NS}	3,14 ^{NS}	1,73 ^{NS}
CV (%)	5,3	15,8	12,3	10,6	11,8

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

O ganho de peso compensatório observado em vários animais durante a realimentação pode ser resultado de diversos processos, entre eles o aumento da eficiência de conversão do alimento durante a realimentação (MIGLAVS & JOBLING, 1989; RUSSEL & WOOTON, 1992; GAYLORD & GATLIN III, 2001). No presente estudo, a aplicação de estratégias de alimentação com períodos curtos de restrição-

realimentação não resultou em melhor conversão alimentar e taxa de eficiência protéica, pelo contrário, os grupos submetidos à restrição e realimentação apresentaram pior utilização do alimento e taxa de crescimento específico mais baixa.

Na Tabela 3, são apresentadas as médias do consumo médio total e ganho de peso para a interação entre estratégia de alimentação e dieta comparadas pelo teste de Tukey (5%). Como resultado da diferença no consumo médio total e do aproveitamento do alimento nos grupos submetidos à restrição, o ganho de peso, ao final do experimento, foi maior nos peixes continuamente alimentados, seguido dos peixes com realimentação até a saciedade e realimentação controlada.

Tabela 3. Consumo médio total (Consumo) e ganho de peso (GP) de juvenis de pacu em função da estratégia de alimentação e da dieta experimental.

Estratégia	Dieta			
	45% CHO		52% CHO	
Consumo, g/peixe				
Continuamente alimentado	122,9 ± 4,8	Aa	97,6 ± 7,6	Ab
Realimentação controlada	60,7 ± 1,2	Ca	49,6 ± 0,7	Cb
Realimentação até saciedade	70,2 ± 3,9	Ba	60,4 ± 0,8	Bb
GP, g/peixe				
Continuamente alimentado	79,2 ± 6,7	Aa	62,0 ± 13,5	Aa
Realimentação controlada	30,0 ± 3,8	Ba	27,4 ± 4,6	Ba
Realimentação até saciedade	33,5 ± 5,4	Ba	35,3 ± 2,4	Ba

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dieta e minúsculas, dietas dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Segundo ALI *et al.* (2003), um dos principais mecanismos responsável pelo ganho de peso compensatório na realimentação é a elevada ingestão de alimento, enquanto outros autores (RUSSEL & WOOTON, 1992; GAYLORD & GATLIN III, 2001) sugerem que ocorra melhor utilização do alimento disponível. No presente estudo, a realimentação controlada não proporcionou melhor utilização do alimento e a realimentação até a saciedade resultou apenas em um discreto aumento na ingestão, mas insuficiente para promover ganho de peso compensatório.

Nas três estratégias testadas, os peixes alimentados com a dieta com 45% CHO apresentaram consumo maior do que os alimentados com a dieta com 52% CHO, possivelmente resultado da maior relação ED/PB da dieta com 52% CHO (12,15 kcal ED g PB⁻¹). A dieta com 45% CHO continha maior valor de EB (4.105 kcal EB kg⁻¹), mas em decorrência da maior concentração de fibra apresentava menor valor de ED (3.033 kcal EB kg⁻¹) do que a dieta com 52% CHO (3.219 kcal EB kg⁻¹).

O consumo médio diário foi influenciado pela interação entre dia do ciclo de restrição-realimentação, estratégia de alimentação e dieta (Tabela 4). O resultado do desdobramento desta interação encontra-se na Tabela 5, com as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 4. Médias do consumo médio diário de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Consumo médio diário g/peixe
Médias para Dia do ciclo:	
3° dia Jejum	0,42 c
1° dia Realimentação	1,45 a
2° dia Realimentação	1,28 b
3° dia Realimentação	1,31 b
Médias para Estratégia:	
Continuamente alimentado	1,24 A
Realimentação controlada	0,96 C
Realimentação até saciedade	1,14 B
Médias para Dieta:	
45% CHO	1,23 x
52% CHO	1,00 y
F para:	
Dia do ciclo (DC)	1220,14**
Estratégia (EA)	147,29**
Dieta (D)	286,47**
DC x D	13,55**
DC x EA	326,78**
EA x D	6,75**
DC x EA X D	3,03*
CV (%)	5,9

NS – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 5. Consumo médio diário (g/peixe) de juvenis de pacu para diferentes dias do ciclo de alimentação submetidos às estratégias de alimentação com as dietas experimentais.

	<i>Dia do ciclo de alimentação</i>							
	<i>3º dia Jejum</i>		<i>1º dia Realim</i>		<i>2º dia Realim</i>		<i>3º dia Realim</i>	
45% CHO								
Cont. alimentado	1,40 ± 0,07	Aax	1,42 ± 0,09	Bax	1,34 ± 0,06	Bax	1,40 ± 0,04	ABax
Realim. controlada	0,00 ± 0,00	Bcx	1,53 ± 0,03	Bax	1,34 ± 0,03	Bbx	1,38 ± 0,03	Bbx
Realim. saciedade	0,00 ± 0,00	Bcx	1,88 ± 0,10	Aax	1,53 ± 0,10	Abx	1,51 ± 0,10	Abx
52% CHO								
Cont. alimentado	1,12 ± 0,09	Aay	1,12 ± 0,12	Bay	1,05 ± 0,12	Bay	1,09 ± 0,10	Bay
Realim. controlada	0,00 ± 0,00	Bcx	1,21 ± 0,03	Bay	1,12 ± 0,05	Bby	1,14 ± 0,06	Baby
Realim. saciedade	0,00 ± 0,00	Bcx	1,51 ± 0,03	Aay	1,32 ± 0,02	Aby	1,34 ± 0,04	Aby

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dia e dieta e minúsculas (a,b,c) comparam dias do ciclo de alimentação dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x,y) comparam dietas dentro de cada estratégia e dia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A,B,C) e minúsculas (x,y) na coluna e minúsculas (a,b,c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

O consumo médio diário dos pacus, nos diferentes dias do ciclo de restrição-realimentação, mostra que os peixes submetidos à restrição com realimentação até a saciedade apresentaram consumo médio superior ao dos peixes controle, nos três dias de realimentação, permanecendo mais elevado até o terceiro dia, quando novo ciclo de restrição-realimentação era iniciado.

No presente trabalho, a aplicação de 14 ciclos curtos de restrição-realimentação não resultou em ganho de peso compensatório no pacu, embora a espécie tenha demonstrado previamente grande capacidade de resposta de ganho compensatório em outras condições de cultivo. Segundo SOUZA *et al.* (1997), pacus com peso médio de 141,7 g, criados em viveiros escavados, à temperatura média de 24,5° C, e submetidos à restrição alimentar por 60 dias, apresentaram compensação completa de crescimento com realimentação controlada por 30 dias. Entretanto, em estudo realizado de outubro a janeiro, em viveiros escavados, à temperatura média da água de 27° C, pacus com peso de 200-300 g foram submetidos a 60 dias de restrição alimentar e realimentados por 30 dias, sendo observado que, embora tenha ocorrido ganho de peso compensatório só se registrou compensação parcial de crescimento (SOUZA, 1998). O autor atribuiu essa diferença na resposta de crescimento à maior taxa metabólica no período (primavera-verão), ocasião onde há maior demanda energética para sustentar

as atividades biológicas do peixe. De acordo com SOUZA *et al.* (2003), a utilização de ciclos de alimentação de seis semanas de restrição alternadas com sete semanas de realimentação, em pacus com peso médio de 83 g, em viveiros escavados, pode ser recomendada durante o período de outono/inverno, embora, durante as estações mais quentes do ano (primavera/verão), outros programas de alimentação devem ser testados, utilizando-se períodos mais curtos de restrição alimentar.

A ausência de crescimento compensatório pode ser atribuída também às condições de criação e tamanho dos animais, além da elevada temperatura da água observada durante o experimento. No presente trabalho, a utilização de caixas de polietileno para o cultivo não permitiu aos peixes acesso a qualquer tipo de alimento natural que pode ocorrer no viveiro. Além disso, os peixes eram menores, com uma taxa de crescimento mais acelerada e menores reservas energéticas corporais.

A ocorrência do ganho de peso compensatório depende da natureza, severidade e duração da restrição alimentar, do estágio de desenvolvimento do peixe no início da privação, a maturidade sexual e o modelo de realimentação (WANG *et al.*, 2000; ALI *et al.*, 2003; TIAN & QIN, 2003). Um período prolongado de jejum é necessário para que ocorram mudanças fisiológicas responsáveis por desencadear e manter respostas compensatórias, como mudanças na atividade enzimática (CHRISTIANSEN & KLUNGSOYR, 1988) e neuropeptídeos envolvidos na ingestão de alimentos, como proposto pelo modelo lipostático (JOBILING & JOHANSEN, 1999).

Por outro lado, de acordo com NIKKI *et al.* (2004), o período de realimentação tem que ser superior ao período de restrição alimentar. Em juvenis do “halibut” do Atlântico *Hippoglossus hippoglossus*, submetidos a diferentes esquemas de restrição-realimentação, apesar da presença de resposta de crescimento compensatório com o início da realimentação, apenas compensação parcial foi alcançada, devido ao período de realimentação ter sido insuficiente para que os peixes alcançassem o grupo continuamente alimentado (HEIDE *et al.*, 2006).

No presente trabalho, é possível que o período de realimentação tenha sido insuficiente para a reorganização e recuperação dos mecanismos bioquímicos de fornecimento de energia para a sustentação das exigências biológicas do peixe e

crescimento. Segundo ODA *et al.* (2004), juvenis de pacu podem ser submetidos a seis dias de alimentação e um de jejum, ou ainda três dias de alimentação e um de jejum, sem que o desempenho produtivo seja inferior ao do grupo continuamente alimentado, permitindo uma economia de até 25% de ração. No presente estudo, a aplicação de ciclos repetitivos de restrição-realimentação não resultou em melhor aproveitamento ou maior ingestão de alimento e, conseqüentemente, ganho de peso compensatório.

A dinâmica dos estoques energéticos, monitorada por parâmetros sanguíneos (glicose sangüínea, proteína total, triglicerídeos e ácidos graxos livres), teciduais (glicogênio hepático e lipídio hepático) e por índices morfométricos (fator de condição, índice hepatossomático e índice gorduroviscerossomático), acompanhou as exigências metabólicas do processo de crescimento dos peixes. Para a glicose, proteína, triglicerídeos e ácidos graxos livres do sangue não houve interação entre dia do ciclo, estratégia de alimentação e dieta (Tabela 6), mas a glicose e os triglicerídeos foram significativamente afetados pela interação entre dia do ciclo de restrição-realimentação e estratégia de alimentação, sendo as médias descritas na Tabela 7. Os ácidos graxos livres foram influenciados apenas pelo dia do ciclo de restrição-realimentação.

Segundo BERNE & LEVY (2000), várias horas após a alimentação, quando os combustíveis metabólicos foram absorvidos pelo intestino, o corpo começa utilizar aqueles armazenados durante a alimentação. No jejum, ocorre mobilização da glicose como combustível para o sistema nervoso central, e de gordura para suprir as necessidades oxidativas de outros tecidos, além de aumento da degradação de proteínas a aminoácidos (catabolismo). Nesta condição, a secreção de insulina diminui e é regulada, principalmente, pela concentração da glicose no sangue. No tecido adiposo, aumenta a hidrólise de triglicerídeos a ácidos graxos, que captados pelo fígado são oxidados a cetoácidos hidrossolúveis, fornecendo substrato oxidativo ao músculo, reduzindo o uso de glicose pelo tecido. O fígado esgota gradativamente o glicogênio, e passa a depender mais intensamente da gliconeogênese, a partir dos aminoácidos resultantes da degradação protéica no músculo e do glicerol proveniente da lipólise.

Tabela 6. Médias dos metabólitos sanguíneos: glicose, proteína total, triglicerídeos e ácidos graxos livres (AGL) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis			
	Glicose mmol L ⁻¹	Proteína g dL ⁻¹	Triglicerídeos mg dL ⁻¹	AGL mEq L ⁻¹
Médias para Dia do ciclo:				
3 ^o dia Jejum	2,74 c	3,55 ab	258,5 c	0,42 ab
1 ^o dia Realimentação	3,66 b	3,36 b	454,2 a	0,48 a
2 ^o dia Realimentação	4,17 a	3,81 a	341,0 b	0,18 b
3 ^o dia Realimentação	3,74 b	3,61 ab	271,5 c	0,61 a
Médias para Estratégia:				
Continuamente alimentado	3,33 B	3,49	358,1 A	0,34
Realimentação controlada	3,79 A	3,56	297,5 B	0,48
Realimentação até saciedade	3,61 AB	3,71	346,0 AB	0,46
Médias para Dieta:				
45% CHO	3,30 y	3,66	313,3 y	0,36
52% CHO	3,86 x	3,52	355,0 x	0,49
F para:				
Dia do ciclo (DC)	36,00**	4,21**	26,41**	7,53**
Estratégia (EA)	7,18**	1,86 ^{NS}	3,87*	1,80 ^{NS}
Dieta (D)	30,07**	2,16 ^{NS}	5,79*	3,87 ^{NS}
DC x D	2,16 ^{NS}	1,95 ^{NS}	1,06 ^{NS}	2,50 ^{NS}
DC x EA	7,08**	3,34 ^{NS}	14,26**	1,26 ^{NS}
EA x D	1,89 ^{NS}	3,17 ^{NS}	0,70 ^{NS}	1,15 ^{NS}
DC x EA X D	1,29 ^{NS}	2,70 ^{NS}	1,02 ^{NS}	1,59 ^{NS}
CV (%)	16,8	15,1	30,5	87,1

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Por outro lado, após a ingestão de alimentos, a atividade metabólica é dirigida para o processamento e absorção dos substratos ricos em energia. Sob influência da insulina, carboidratos e lipídios da dieta são transferidos para depósitos de armazenamento no fígado, no tecido adiposo e no músculo, e os aminoácidos são convertidos em proteínas, em vários tecidos. Dessa forma, os processos catabólicos do jejum são revertidos. As calorias ingeridas sob forma de gordura, além das necessárias para a produção de energia, são armazenadas no tecido adiposo como triglicerídeos. Os carboidratos são armazenados na forma de glicogênio no fígado e no músculo,

convertidos em triglicerídeos no fígado e transferidos para armazenamento no tecido adiposo. Os aminoácidos ingeridos são utilizados para a síntese de novas proteínas. O organismo encontra-se no estado de anabolismo (BERNE & LEVI, 2000).

No terceiro dia de jejum, a concentração de glicose sanguínea dos pacus foi mais baixa nos grupos submetidos à restrição alimentar. Com o início da realimentação, essa diferença desapareceu e no segundo e terceiro dias de realimentação a situação se inverteu. Essa dinâmica da glicose sanguínea é resultado da capacidade do pacu de buscar a homeostase glicêmica (SOUZA *et al.*, 2000). Da mesma forma, o matrinxã apresentou níveis elevados de glicose até 24 horas após alimentação e níveis reduzidos durante a restrição alimentar por 72 horas (FIGUEIREDO-GARUTTI *et al.*, 2002).

Tabela 7. Concentração de glicose (mmol L^{-1}) e triglicerídeos (mg dL^{-1}) do sangue de juvenis de pacu em função do dia do ciclo e da estratégia de alimentação.

	<i>Dia do ciclo de alimentação</i>							
	<i>3º dia Jejum</i>		<i>1º dia Realim</i>		<i>2º dia Realim</i>		<i>3º dia Realim</i>	
Glicose, mmol L^{-1}								
Cont. alimentado	3,2 ± 0,45	Aa	3,4 ± 0,68	Aa	3,5 ± 0,51	Ba	3,2 ± 0,63	Ba
Realim. controlada	2,6 ± 0,35	Bb	4,0 ± 0,86	Aa	4,4 ± 0,83	Aa	4,2 ± 0,87	Aa
Realim. saciedade	2,5 ± 0,40	Bc	3,6 ± 0,76	Ab	4,6 ± 0,81	Aa	3,8 ± 0,71	ABab
Triglicerídeos, mg dL^{-1}								
Cont. alimentado	462,0 ± 132,0	Aa	346,4 ± 100,3	Bab	328,8 ± 133,6	Ab	285,9 ± 81,6	Ab
Realim. controlada	158,7 ± 57,4	Bc	468,8 ± 133,8	ABa	318,7 ± 96,9	Ab	250,1 ± 27,2	Abc
Realim. saciedade	171,6 ± 21,5	Bc	557,1 ± 159,1	Aa	378,6 ± 104,6	Ab	280,8 ± 90,2	Abc

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dia e minúsculas comparam dias do ciclo de alimentação dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Como para a glicose, os níveis sanguíneos de triglicerídeos dos pacus também refletem a mudança do estado de jejum para a condição prandial. No terceiro dia de jejum, foram observadas concentrações mais baixas desse metabólito nos grupos de peixes submetidos à restrição alimentar e realimentação, em relação aos valores dos peixes continuamente alimentados. No primeiro dia de realimentação, os níveis registrados nos peixes realimentados foram superiores aos do grupo controle, mas se igualam no 2º e 3º dias de realimentação devido o aporte fornecido pela dieta.

Segundo RIOS *et al.* (2002), a dinâmica de utilização da energia endógena pode ser parcialmente monitorada através de índices morfológicos como o fator de condição, o índice hepatossomático e o índice gorduroviscerossomático. O fator de condição (K), o índice gorduroviscerossomático (IGVS), o índice hepatossomático (IHS), a concentração de glicogênio hepático e lipídio hepático são apresentados na Tabela 8. O IHS e o glicogênio hepático foram afetados pela interação entre dia do ciclo de alimentação e estratégia de alimentação, sendo as médias descritas na Tabela 9.

Tabela 8. Médias dos parâmetros: fator de condição (K), índice gorduroviscerossomático (IGVS), índice hepatossomático (IHS), glicogênio hepático e lipídio hepático de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis				
	K	IGVS %	IHS %	Glicogênio Hepático g 100 g ⁻¹	Lipídio Hepático g 100 g ⁻¹
Médias para Dia do ciclo:					
3 ^o dia Jejum	1,92 b	2,32 a	1,13 c	7,75 c	2,92 c
1 ^o dia Realimentação	1,96 b	2,42 a	1,64 a	17,50 b	4,42 b
2 ^o dia Realimentação	1,94 b	2,43 a	1,62 a	21,32 a	6,96 a
3 ^o dia Realimentação	2,17 a	2,40 a	1,46 b	19,41 ab	4,70 b
Médias para Estratégia:					
Continuamente alimentado	2,04 A	2,69 A	1,30 B	14,28 B	4,27 B
Realimentação controlada	1,99 AB	2,21 B	1,58 A	18,33 A	5,24 A
Realimentação até saciedade	1,96 B	2,27 B	1,52 A	16,69 A	5,17 A
Médias para Dieta:					
45% CHO	2,00 x	2,32 x	1,39 y	15,7 x	4,30 y
52% CHO	1,99 x	2,46 x	1,53 x	17,1 x	5,47 x
F para:					
Dia do ciclo (DC)	25,44**	0,20 ^{NS}	34,52**	76,23**	38,81**
Estratégia (EA)	3,52*	6,76**	18,34**	13,79**	4,51*
Dieta (D)	0,05 ^{NS}	1,55 ^{NS}	10,07**	5,81 ^{NS}	19,17**
DC x D	0,03 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,34 ^{NS}	1,44 ^{NS}	0,49 ^{NS}
DC x EA	1,09 ^{NS}	0,53 ^{NS}	18,47**	6,48**	1,21 ^{NS}
EA x D	2,54 ^{NS}	2,89 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,59 ^{NS}	2,10 ^{NS}
DC x EA X D	1,50 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,99 ^{NS}	1,99 ^{NS}	2,47*
CV (%)	7,2	28,8	16,7	25,6	29,6

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 9. Índice hepatossomático (IHS, %) e glicogênio hepático (Glic. Hepático, g 100 g⁻¹) de juvenis de pacu em função do dia do ciclo e da estratégia de alimentação.

	<i>Dia do ciclo de alimentação</i>			
	<i>3º dia Jejum</i>	<i>1º dia Realim</i>	<i>2º dia Realim</i>	<i>3º dia Realim</i>
IHS, %				
Cont. alimentado	1,45 ± 0,25 Aa	1,44 ± 0,21 Ba	1,19 ± 0,23 Bb	1,10 ± 0,23 Bb
Realim. controlada	0,96 ± 0,23 Bb	1,74 ± 0,20 Aa	1,91 ± 0,26 Aa	1,74 ± 0,35 Aa
Realim. até saciedade	0,97 ± 0,16 Bb	1,74 ± 0,26 Aa	1,79 ± 0,32 Aa	1,58 ± 0,24 Aa
Glic. Hepático, g 100 g⁻¹				
Cont. alimentado	9,79 ± 1,55 Ab	14,16 ± 4,61 Bab	15,36 ± 4,87 Ba	17,80 ± 5,45 Aa
Realim. controlada	8,35 ± 3,26 Ab	20,01 ± 4,98 Aa	24,99 ± 7,23 Aa	21,08 ± 2,76 Aa
Realim. até saciedade	5,09 ± 3,11 Bc	18,33 ± 4,64 ABb	24,23 ± 4,40 Aa	19,36 ± 3,01 Ab

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dia e minúsculas comparam dias do ciclo de alimentação dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

O fator de condição K, índice que relaciona o peso com o comprimento corporal do peixe, foi influenciado apenas pelo dia do ciclo de restrição-realimentação e pela estratégia de alimentação. O maior valor de K ocorreu no terceiro dia de realimentação. Com relação a estratégia de alimentação, o grupo continuamente alimentado apresentou K superior ao grupo realimentado até a saciedade aparente. Segundo GONÇALVES (2001), o K pode diferenciar os peixes alimentados dos que foram submetidos à restrição alimentar, como foi observado em pacus submetidos a 22 dias de jejum que apresentaram K inferior ao dos peixes continuamente alimentados, refletindo perdas corpóreas causadas pelo jejum.

O IGVS permite o acompanhamento da mobilização da gordura armazenada na cavidade visceral dos peixes. Como o observado com o K, o grupo continuamente alimentado apresentou IGVS superior ao dos grupos submetidos à restrição alimentar. Segundo SOUZA *et al.* (2002), a restrição por 4 e 6 semanas causou diminuição do IGVS e a realimentação por 9 e 7 semanas recuperou os valores, embora nem sempre semelhantes aos dos peixes continuamente alimentados. Esses resultados indicam que o tecido adiposo do mesentério é um importante sítio de estoque de energia para o pacu, embora sua recuperação não seja tão rápida quanto a do fígado.

Por outro lado, o lipídio hepático, inferior no terceiro dia de jejum, foi recuperado durante a realimentação. O IHS e a concentração de glicogênio hepático foram inferiores no terceiro dia de jejum nos grupos submetidos à restrição alimentar, mas

com o início da realimentação, os peixes submetidos à restrição e realimentação apresentaram valores mais elevados de IHS e glicogênio hepático do que os peixes continuamente alimentados indicando que as reservas energéticas hepáticas são estoques mobilizados e recuperados rapidamente.

Conforme SOUZA *et al.* (2000), em juvenis de pacu, a redução do glicogênio hepático no início da restrição mostra que esta reserva está prontamente disponível para contribuir para a homeostase glicêmica, sendo mantido ou restabelecido durante a permanência do jejum por períodos mais prolongados pela mobilização de outras fontes de energia como os lipídios e proteínas. Estes autores observaram, ainda, que em períodos curtos de restrição alimentar, a concentração de lipídio no fígado e outros tecidos diminuiu, ao mesmo tempo em que o de ácidos graxos livres no plasma aumentou. O aumento dos ácidos graxos livres pode inibir competitivamente a utilização da glicose pelos tecidos periféricos e liberação de glicose pelo fígado. A maior absorção de ácidos graxos pelo fígado favorece o metabolismo lipídico, a homeostase glicêmica e a gliconeogênese a partir de lipídios. Em estudo posterior com a mesma espécie, SOUZA *et al.* (2002) confirmaram a mesma dinâmica de reservas energéticas na restrição alimentar. Além disso, os depósitos energéticos hepáticos foram facilmente recuperados quando restabelecido o fornecimento de alimento, evidenciando que a capacidade de sobreviver a períodos de privação alimentar depende da habilidade da espécie em utilizar suas reservas endógenas.

Conclusões

O pacu tem grande habilidade em utilizar suas reservas energéticas e recuperá-las durante a realimentação. Embora as estratégias de alimentação e dietas utilizadas durante 84 dias, em 14 ciclos de restrição-realimentação, não tenham promovido ganho de peso compensatório completo, mesmo com aumento da ingestão de alimento na realimentação, a adoção de manejo alimentar, com períodos curtos de restrição e realimentação, pode ser recomendada em condições específicas de manejo, pois não há prejuízo biológico irreversível nos peixes e a redução nos custos de produção é considerável. Deve-se considerar que os peixes submetidos à restrição alimentar, em

84 dias, consumiram 50 e 40% (na realimentação controlada e até a saciedade, respectivamente) menos alimento que os peixes controle, e que a restrição alimentar liberou mão de obra em metade do período experimental. Para pesquisas futuras, o estudo de ciclos de restrição-realimentação, com períodos de realimentação mais longos, é recomendado.

Referências Bibliográficas

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1101-1109, 2004.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v.4, p.147-190, 2003.

A.O.A.C. (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 14ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, V.A., 1984, 937p.

BERNE, R.M.; LEVY, M.N. **Fisiologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 4ed. 2000. 1034p. ISBN 85-277-0559-1.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. Rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p.911-917, 1959.

CHRISTIANSEN, D.C.; KLUNGSOYR, L. Metabolic utilization of nutrients and the effects of insulin in fish. **Comparative Biochemistry Physiology**, v.88B, p;710-711, 1988.

FIGUEIREDO-GARUTTI, M.L.; NAVARRO, I.; CAPILLA, E.; SOUZA, R.H.S.; MORAES, G.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTINI-PAULINO, M.L.M. Metabolic changes in *Brycon*

cephalus (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, v.132, p.467-476, 2002.

GAYLORD, T.G.; GATLIN III, D.M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.194, p.337-348, 2001.

GONÇALVES, F.D. **Metabolismo energético e desempenho produtivo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), submetidos a jejum e realimentação com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos e proteína**. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

HEIDE, A.; FOSS, A.; STEFANSSON, S.O. MAYER, I.; NORBERG, B.; ROTH, B.; JENSSEN, M.D.; NORTVEDT, R.; IMSLAND, A.K. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short-term starvation and subsequent feeding. **Aquaculture**, v.261, p.109-117, 2006.

JOBLING, M.; JOHANSEN, S.J.S. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. **Aquaculture Research**, v.30, p.473-478, 1999.

MIGLAVS, I.; JOBLING, M. Effects of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. **Journal of Fish Biology**, v.34, p.957-997, 1989.

MOON, T.W.; FOSTER, G.D.; PLISETSKAYA E.M. Changes in peptide hormones and liver enzymes in the rainbow trout deprived of food 6 weeks. **Canadian Journal of Zoology**, v.67, p.2189-2193, 1989.

NIKKI, J.; PIRHONEN, J.; JOBLING, M.; KARJALAINEN, J. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held individually. **Aquaculture**, v.235, p.285-296, 2004.

ODA, G.M.; UCHIYAMA, R.T.; TAKAHASHI, L.S.; FERNANDES, J.B.K.; URBINATI, E.C. Desempenho produtivo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos a diferentes estratégias de alimentação. In: AQUACIÊNCIA 2004 – CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE AQUICULTURA E BIOLOGIA AQUÁTICA, 1, 2004, Vitória, **Anais**. Vitória: Aquabio, 2004, p.93.

OLIVEIRA, A.M.B.M.S.; CONTE, L.; CYRINO, J.E.P. Produção de Characiformes autóctones. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALLOSSI, D.M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.). *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. São Paulo: TecArt; Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2004. p.217-238.

QUEIROZ, J.F.; LOURENÇO, J.N.P.; KITAMURA, P.C.; SCORVO FILHO, J.D.; CYRINO, J.E.P.; CASTAGNOLLI, N.; VALENTI, W.C.; BERNARDINO, G. Aquaculture in Brazil: research priorities and potential for further international collaboration. *World Aquaculture Magazine*, Baton Rouge, v.36, p.45-50, 2005.

RIOS, F.S.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. The effects of long-term food deprivation on respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. **Journal of Fish Biology**, v.61, p.85-95, 2002.

RUSSEL, N.R.; WOOTON, R.J. Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus*, following short periods of food restriction. **Environmental Biology of Fishes**, v.34, p.277-285, 1992.

SOUZA, V.L. **Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no crescimento e metabolismo energético de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)**. 1998. 118f. Tese (Doutorado) – Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; OLIVEIRA, E.G. Restrição alimentar, realimentação e as alterações no desenvolvimento de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.24, p.19-24, 1997.

SOUZA, V.L.; OLIVEIRA, E.G.; URBINATI, E.C. Effects of food restriction and refeeding on energy stores and growth of pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Characidae). **Journal of Aquaculture in the Tropics**, v.15, n.4, p.371-379, 2000.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; GONÇALVES, D.C.; SILVA, P.C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Acta Scientiarum**, v.24, p.533-540, 2002.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; MARTINS, M.I.E.G.; SILVA, P.C. 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**, v.32, n.1, p.19-28, 2003.

TIAN, X.; QIN, J.G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v.224, p.169-179, 2003.

WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Compensatory growth in Hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. **Aquaculture**, v.189, p.101-108, 2000.

CAPITULO 4 – RESPOSTAS FISIOLÓGICAS À INFESTAÇÃO POR *Dolops carvalhoi* INDUZIDA EM PACU SUBMETIDO À RESTRIÇÃO E REALIMENTAÇÃO COM DOIS TEORES DE CARBOIDRATOS NA DIETA.

RESUMO – Para avaliar se o uso de ciclos de restrição alimentar afeta a suscetibilidade imunológica do pacu, juvenis foram expostos ao ectoparasito *Dolops carvalhoi* (10 parasitos adultos/peixe) por até 30 horas, após 84 dias de alimentação com duas dietas experimentais (45 e 52% de carboidratos, CHO), de acordo com os tratamentos: grupos controle – peixes alimentados diariamente até a saciedade aparente; grupos submetidos à restrição com realimentação controlada em ciclos 3 dias de restrição de alimento seguidos de 3 dias de realimentação com a mesma quantidade de alimento consumida pelo grupo controle; grupos submetidos à restrição com realimentação até a saciedade aparente em ciclos de 3 dias de restrição de alimento seguidos de 3 dias de realimentação com ração oferecida até a saciedade aparente. Os resultados foram submetidos a ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). Ao final do período experimental, os peixes submetidos à restrição alimentar e realimentados consumiram menos alimento que os do grupo controle com conseqüente ganho de peso mais baixo. A dieta com 52% CHO promoveu menor consumo, mas não afetou o crescimento. Apesar do prejuízo no desempenho zootécnico, os parâmetros fisiológicos e hematológicos analisados indicaram condição de estresse apenas por infestação pelo parasito *D. carvalhoi*, sem influência da estratégia de alimentação e dietas. O uso de ciclos curtos de restrição e realimentação com dietas com níveis variáveis de carboidratos, mesmo que tenha submetido os peixes ao fornecimento de apenas 50% da alimentação diária controle e afetado o crescimento, não exacerbou as respostas de estresse do pacu à infestação pelo parasito, indicando que a capacidade os peixes de responder à condição estressante não foi comprometida.

Palavras-chave: jejum, recuperação, estresse.

Introdução

A adoção de práticas de criação que tragam benefícios econômicos pela redução de custos com ração e mão-de-obra é uma meta importante na produção animal. Uma forma de se atingir esse objetivo é a adoção de manejo alimentar, com aplicação de ciclos de alimentação com restrição alimentar e realimentação que promovam crescimento compensatório dos peixes (REIGH *et al.*, 2006). Entretanto, é necessário avaliar os efeitos da alimentação limitada e da realimentação compensatória na sanidade dos peixes e na capacidade de ajuste às condições estressantes que normalmente ocorrem durante o cultivo, como é o caso das infestações parasitárias, visto que a privação alimentar tem um custo energético alto para os peixes (SHERIDAN & MOMMSEN, 1991; COLLINS & ANDERSON, 1995).

As respostas de estresse dividem-se em três: a primária, caracterizada por mudanças nos níveis sanguíneos hormonais, principalmente de catecolaminas e cortisol; a secundária, correspondendo às mudanças metabólicas (glicose e íons circulantes) e hematológicas (células vermelhas e brancas), e terciária relacionada ao comprometimento do crescimento, da reprodução e da resistência imunológica (WENDELAAR BONGA, 1997). Doenças parasitárias, como as causadas por ectoparasitos como o *Dolopos carvalhoi*, representam uma forma de estresse para os peixes, provocando alterações nos níveis de cortisol circulante, distúrbios osmorregulatórios, diminuição do hematócrito e alterações hematológicas, podendo levar a redução na taxa de crescimento e até a morte (GRIMNES & JAKOBSEN, 1996; BOWERS *et al.*, 2000; BILLER, 2005). Por outro lado, exposição prévia a diferentes estressores aumentou a suscetibilidade do bagre do canal *Ictalurus punctatus* à infecção pela bactéria *Edwardsiella ictaluri* (WISE *et al.*, 1993; CIEMBOR *et al.*, 1995) e *Aeromonas hydrophila* (WALTERS & PLUMB, 1980).

O ectoparasito *D. carvalhoi*, inicialmente descrito na região amazônica, é endêmico no continente sul americano e hoje se encontra disseminado no Estado de São Paulo, sendo responsável por consideráveis perdas e prejuízos econômicos na criação de peixes. Adicionalmente, o pacu *Piaractus mesopotamicus*, espécie importante da piscicultura brasileira, apresenta alta susceptibilidade ao parasito

(ONAKA, 2005). Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar respostas fisiológicas indicadoras de estresse após infestação pelo *D. carvalhoi* de pacu submetido a ciclos de restrição-realimentação e avaliar se a exposição prévia dos peixes à privação alimentar exacerbou as respostas de estresse ao parasito.

Material e Métodos

Pacus ($36,9 \pm 2,8$ g e $12,2 \pm 0,4$ cm) provenientes da Piscicultura Águas Claras, Mococa-SP, foram aleatoriamente distribuídos, na densidade de 11 peixes/caixa, em 24 caixas de polietileno (100 L) dispostas em sistema de circulação aberto, com renovação contínua de água e aeração forçada por meio de compressores de ar radiais e pedras porosas. Semanalmente, monitorou-se na água das caixas, a concentração de oxigênio dissolvido ($7,06 \pm 0,29$ mg O₂ L⁻¹), a temperatura ($28,60 \pm 0,25$ °C), a amônia total ($0,08 \pm 0,01$ mg N-NH₄ L⁻¹) e o pH ($7,56 \pm 0,13$).

Os peixes foram alimentados, durante 84 dias, com duas dietas experimentais (45 e 52% de carboidratos não estruturais, Tabela 1), em duas refeições diárias (09h 00min e 17h 00min), de acordo com os seguintes tratamentos:

- Grupos controle: peixes foram continuamente alimentados até a saciedade aparente com uma das duas dietas;
- Grupos submetidos à restrição alimentar com realimentação controlada: peixes foram submetidos a 14 ciclos de restrição-realimentação (três dias de restrição de alimento e três dias de realimentação, com a mesma quantidade de alimento consumida pelo grupo controle) com uma das duas dietas;
- Grupos submetidos à restrição alimentar com realimentação até a saciedade aparente: peixes foram submetidos a 14 ciclos de restrição-realimentação (três dias de restrição de alimento e três dias de realimentação, com alimento até a saciedade aparente) com uma das duas dietas.

O consumo de ração foi controlado para cálculo da ingestão de alimento. Os peixes foram pesados no início e final do experimento para cálculo do ganho de peso.

Após o período de tratamentos, os peixes mantidos em jejum por 24 horas foram anestesiados e transferidos para 24 aquários de 30 L, aeração, temperatura constante e

luminosidade controlada. Para a infestação parasitária induzida adotou-se o protocolo experimental proposto por ONAKA (2005) e BILLER (2005). Exemplares adultos de *D. carvalhoi*, obtidos de peixes infestados mantidos em aquários independentes, foram soltos nos aquários na densidade de 10 parasitos/peixe. Pela observação visual, constatou-se a presença dos parasitos na superfície corporal dos peixes desde que eles foram colocados nos aquários. Dos peixes amostrados foram colhidas antes, seis e trinta horas após contato com o parasito sangue por punção da veia caudal com seringas com e sem anti-coagulante (EDTA 10%), para avaliação das respostas fisiológicas à presença do parasito.

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Farinha de peixe	13,3	13,3
Farelo de soja	33,0	31,0
Milho	10,5	16,6
Farelo de trigo	24,0	4,0
Farinha de trigo	8,0	30,8
Óleo de soja	1,7	1,0
Mist. Min./Vit. ¹	1,0	1,0
Fosfato Bicálcico	2,0	1,8
Celulose	6,5	0,5
Total	100,0	100,0
Composição Centesimal		
MS %	95,1	93,4
PB %	27,8	26,5
PD ² %	24,7	24,4
EE %	4,5	3,6
FB %	8,7	3,1
MM %	9,0	8,7
CHO ³ %	45,1	51,5
EB kcal kg ⁻¹	4.105	3.678
ED ² kcal kg ⁻¹	3.033	3.219

¹Rovimix Stay C 35® (unidades kg⁻¹ de produto): Vit. A (500.000 UI); Vit. D3 (200.000 UI); Vit. E (5.000 UI); Vit. B1 (1.500 mg); Vit. B2 (4.000 mg); Vit. B6 (1.500 mg); Vit. C (350.000 mg); Vit. K3 (15.000 mg); Ac. Fólico (500 mg); Ac. Pantotênico (4.000 mg); Biotina (50 mg); Cobalto (10 mg); Cobre (500 mg); Ferro (5.000 mg); Inositol (1.000 mg); Iodo (50 mg); Manganês (1.500 mg); Nicotinamida (7.000 mg); Selênio (10 mg); Zinco (5.000 mg); B.H.T. (12.500 mg); Colina (40.000 mg); Veículo q.s.p. (1.000 mg).

² Determinado segundo metodologia adotada por ABIMORAD & CARNEIRO (2004).

³ CHO = MS – PB – EE – FB – MM.

Do sangue sem anticoagulante, separou-se soro para análise de cortisol (Radioimunoensaio, Kit Coat-a-Count da DPC), sódio, potássio e cálcio (Seletor de íons Iselab Drake) e osmolalidade (osmômetro Wescor Mod. 505). No sangue total com anticoagulante determinou-se glicemia (KING & GARNER, 1947), contagem de células vermelhas, volume corpuscular médio e hematócrito (Contador de Células Celm CC550), e após separação do plasma determinou-se os níveis de cloreto (Método Colorimétrico, Kit Labtest). Para contagem diferencial de células sanguíneas de defesa orgânica foram preparadas extensões coradas pelo método de ROSENFELD (1947), sendo contadas 2.000 células em cada extensão, e estabelecido o porcentual de cada componente celular.

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas, sendo: parcelas as 3 estratégias de alimentação (grupo continuamente alimentado, grupo com restrição e realimentação controlada e grupo com restrição e realimentação até a saciedade) e 2 dietas (45 e 52% CHO) em esquema fatorial e sub-parcelas: os 3 tempos de amostragem (antes, 6 e 30 horas após infestação com *D. carvalhoi*), com 8 repetições por tratamento. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%), por meio do programa estatístico SAS, versão 8.2.

Resultados e Discussão

A aplicação de esquemas de manejo alimentar com restrição de alimento e realimentação por períodos curtos (três dias de jejum e três dias de realimentação), em pacus com peso médio inicial de $36,9 \pm 2,8$ g, resultou, ao final de 84 dias, em oferta de 40-50% do alimento ingerido pelos peixes controle e reduziu o crescimento, mas não exacerbou as respostas de estresse geradas pela infestação induzida pelo parasito *D. carvalhoi*.

Os resultados de consumo médio total e ganho de peso (Tabela 2) indicam que estes parâmetros foram influenciados significativamente pela associação entre estratégia de alimentação e dieta avaliada. Durante os 84 dias, o consumo médio total variou de 49,6 a 122,9 g/peixe. O menor valor foi observado nos peixes submetidos à

restrição e realimentação controlada com a dieta com 52% CHO e o maior valor nos peixes continuamente alimentados com a dieta com 45% CHO (Tabela 3).

Tabela 2. Médias dos dados de desempenho produtivo: consumo médio total (Consumo) e ganho de peso (GP) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis	
	Consumo g/peixe	GP g/peixe
Médias para Estratégia:		
Continuamente alimentado	110,3 A	70,6 A
Realimentação controlada	55,1 C	28,7 B
Realimentação até saciedade	65,3 B	34,4 B
Médias para Dieta:		
45% CHO	84,6 a	47,6 a
52% CHO	69,2 b	41,6 a
F para:		
Estratégia (EA)	421,40**	83,03**
Dieta (D)	86,97**	4,32 ^{NS}
EA x D	9,12**	4,03*
CV (%)	5,3	15,8

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 3. Consumo médio total (Consumo) e ganho de peso (GP) de juvenis de pacu em função da estratégia de alimentação e da dieta experimental.

	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Consumo, g/peixe		
Continuamente alimentado	122,9 ± 4,8 Aa	97,6 ± 7,6 Ab
Realimentação controlada	60,7 ± 1,2 Ca	49,6 ± 0,7 Cb
Realimentação até saciedade	70,2 ± 3,9 Ba	60,4 ± 0,8 Bb
GP, g/peixe		
Continuamente alimentado	79,2 ± 6,7 Aa	62,0 ± 13,5 Aa
Realimentação controlada	30,0 ± 3,8 Ba	27,4 ± 4,6 Ba
Realimentação até saciedade	33,5 ± 5,4 Ba	35,3 ± 2,4 Ba

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada dieta e minúsculas comparam dietas dentro de cada estratégia. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

No presente trabalho, os pacus que foram realimentados até a saciedade consumiram mais alimento que os peixes realimentados com alimento controlado,

porém esse aumento na ingestão não foi suficiente para que o consumo médio total se igualasse ao dos peixes sempre alimentados, o que possivelmente resultou no menor ganho de peso dos peixes submetidos à restrição. O mesmo foi verificado em juvenis do “halibut” do Atlântico *Hippoglossus hippoglossus*, nos quais a adoção de diferentes esquemas de restrição-realimentação também resultou em aumento da ingestão de alimento na realimentação, embora, apenas compensação parcial de ganho de peso tenha ocorrido dentro do período experimental (HEIDE *et al.*, 2006).

A infestação do pacu foi caracterizada pela presença do *D. carvalhoi* na superfície externa dos peixes embora não se tenha quantificado o número de parasitos que se fixaram, uma vez que o parasito se desprende do animal com facilidade. Segundo THATCHER (1991), argulídeos como o *D. carvalhoi* são capazes de nadar livremente na coluna d’água, podendo movimentar-se intensamente no hospedeiro e até mudar de peixe. Nenhuma mortalidade foi observada durante o experimento. Os parâmetros fisiológicos do sangue como glicose, cortisol, osmolalidade, cloreto, sódio, potássio e cálcio são apresentados na Tabela 4.

A glicemia dos peixes foi influenciada significativamente apenas pela infestação pelo parasito (amostragem). Seis horas após contato dos peixes com os parasitos ocorreu aumento significativo da glicose independente da estratégia adotada como resposta indicativa de estresse frente à infestação pelo parasito, permanecendo elevada até trinta horas após a infestação.

Em situações de estresse, ocorre aumento dos níveis de glicose no sangue para atender a elevada demanda energética do organismo (MORGAN & IWAMA, 1997). De forma semelhante ao observado com os juvenis de pacu, em salmão do Atlântico *Salmo salar*, a infestação por “sea lice” *Lepeophtheirus salmonis*, ectoparasito copépodo, resultou em níveis elevados de glicose circulante (BOWERS *et al.*, 2000; MUSTAFA *et al.*, 2000).

O cortisol plasmático é usado como indicador de rotina da magnitude e duração da resposta de estresse (BARTON & IWAMA, 1991) em diversas situações estressantes, como o transporte (CARNEIRO *et al.*, 2002), a transferência de tanques (BARCELLOS *et al.*, 2001) e infestação por parasitos (GRIMNES & JAKOBSEN, 1996;

BOWERS *et al.*, 2000; MUSTAFA *et al.*, 2000; ACKERMAN & IWAMA, 2001; BILODEAU *et al.*, 2003; BILLER, 2005). No presente trabalho, a concentração de cortisol circulante foi influenciada pela dieta, pela infestação (amostragem) e pelas interações entre a estratégia de alimentação e dieta e amostragem e dieta, conforme mostra a Tabela 4. Na Tabela 5, observa-se o desdobramento das interações. As estratégias de restrição adotadas, por si só, não afetaram o cortisol circulante no pacu, mas, de modo geral, nas três estratégias, os valores médios do hormônio foram mais baixos nos peixes realimentados com 52% CHO, embora a diferença estatística só foi verificada no grupo de peixes restritos e realimentados com quantidade de alimento controlada.

Diferentemente do observado no pacu, em juvenis de truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, a restrição de alimento por duas, quatro e seis semanas resultou na redução dos níveis circulantes de cortisol, sendo essa resposta uma estratégia para poupar os metabólitos do catabolismo, de acordo com o estudo. Após a realimentação, a concentração do hormônio voltou a níveis semelhantes ao dos peixes continuamente alimentados (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992).

Entretanto, os níveis circulantes de cortisol foram reduzidos pela infestação do *D. carvalhoi*, independente do tratamento alimentar, sendo que a redução foi diferente nos peixes que receberam 45 ou 52% CHO. Nos peixes da dieta com 45% CHO, a redução ocorreu seis horas após o contato com o parasito, e se acentuou trinta horas depois, enquanto que nos peixes da dieta com 52% CHO a redução só foi verificada trinta horas após o contato dos peixes com o parasito. Antes da infestação, os níveis de cortisol eram mais altos nos peixes que receberam dieta com 45% CHO, nos quais a redução do cortisol ocorreu mais precocemente, enquanto que no grupo alimentado com 52% de CHO, nos quais o cortisol era mais baixo antes da infestação, a redução do hormônio frente à presença do parasito só mais tardia.

Tabela 4. Médias dos parâmetros fisiológicos: glicose, cortisol, osmolalidade (Osmol.), cloreto (Cl), sódio (Na), potássio (K) e cálcio (Ca) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis						
	Glicose mmol L ⁻¹	Cortisol ng mL ⁻¹	Osmol. mOsm L ⁻¹	Cl mEq L ⁻¹	K mEq L ⁻¹	Na mEq L ⁻¹	Ca mEq L ⁻¹
Médias para Estratégia:							
Continuamente alimentado	2,0 A	68,0 A	328,0 A	121,2 A	2,8 A	136,6 A	1,1 A
Realimentação controlada	2,2 A	70,5 A	331,6 A	123,0 A	2,6 A	136,6 A	1,1 A
Realimentação até saciedade	2,2 A	63,4 A	329,1 A	123,3 A	2,9 A	137,8 A	1,2 A
Médias para Dieta:							
45% CHO	2,1 x	78,8 x	330,0 x	122,8 x	2,6 x	136,8 x	1,1 x
52% CHO	2,1 x	55,8 y	329,1 x	122,2 x	2,9 x	137,1 x	1,1 x
Médias para Amostragem:							
antes da infestação	1,8 b	90,2 a	336,7 a	120,8 a	2,6 b	139,0 a	1,3 a
6 h após infestação	2,3 a	73,3 b	331,0 a	124,7 a	2,6 b	136,4 b	1,0 c
30 h após infestação	2,2 a	36,7 c	320,3 b	122,1 a	3,1 a	135,2 b	1,1 b
F para:							
Estratégia (EA)	2,92 ^{NS}	0,25 ^{NS}	1,00 ^{NS}	0,91 ^{NS}	1,01 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,98 ^{NS}
Dieta (D)	0,82 ^{NS}	18,94**	0,04 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,99 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Amostragem (A)	17,43**	39,05**	12,79**	1,71 ^{NS}	4,88**	12,95**	29,73**
EA x D	0,52 ^{NS}	4,07*	1,23 ^{NS}	2,30 ^{NS}	2,22 ^{NS}	2,03 ^{NS}	6,25**
D x A	0,62 ^{NS}	4,42*	0,30 ^{NS}	0,71 ^{NS}	3,97*	1,66 ^{NS}	1,85 ^{NS}
EA x A	1,24 ^{NS}	2,03 ^{NS}	0,48 ^{NS}	1,40 ^{NS}	1,83 ^{NS}	0,24 ^{NS}	2,20 ^{NS}
EA x D x A	1,29 ^{NS}	1,51 ^{NS}	2,32 ^{NS}	0,38 ^{NS}	1,71 ^{NS}	5,96**	16,31**
CV (%)	19,3	43,5	4,5	8,3	29,2	2,3	17,3

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os resultados de cortisol do presente estudo contradizem o comumente descrito na literatura, quer seja pela ausência de redução do cortisol durante restrição alimentar (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992), quer seja pela redução dos níveis de cortisol circulante na presença de patógenos ao invés de elevação (GRIMNES & JAKOBSEN, 1996; BOWERS *et al.*, 2000; MUSTAFA *et al.*, 2000; ACKERMAN & IWAMA, 2001; BILODEAU *et al.*, 2003; BILLER, 2005).

Tabela 5. Concentração de cortisol (ng mL^{-1}) de juvenis de pacu em função da dieta e da estratégia de alimentação e em função da dieta e da amostragem.

	<i>Dieta</i>	
	<i>45% CHO</i>	<i>52% CHO</i>
<i>Estratégia</i>		
Continuamente alimentado	74,7 ± 44,7 Aa	61,8 ± 37,3 Aa
Realimentação controlada	90,7 ± 42,7 Aa	49,4 ± 25,7 Ab
Realimentação até saciedade	71,3 ± 45,3 Aa	55,5 ± 27,6 Aa
<i>Amostragem</i>		
Antes infestação	111,9 ± 39,5 Aa	68,5 ± 33,9 Ab
6 h após infestação	76,1 ± 29,5 Ba	68,3 ± 22,5 Aa
30 h após infestação	44,2 ± 36,6 Ca	29,8 ± 14,4 Ba

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação ou amostragens dentro de cada dieta e minúsculas, dietas dentro de cada estratégia de alimentação ou amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Uma diferença observada entre o presente estudo e outros que encontraram aumento dos níveis de cortisol circulante (BOWERS *et al.*, 2000; MUSTAFA *et al.*, 2000; ACKERMAN & IWAMA, 2001; BILODEAU *et al.*, 2003) é o tempo após a infestação pelos patógenos em que se monitora o cortisol, que foi de 7 a 21 dias nos citados estudos. No caso do presente estudo, a avaliação dos níveis de cortisol se deu em seis e trinta horas após a infestação do *D. carvalhoi*. A redução observada pode indicar uma tentativa inicial de ajuste do peixe ao estressor (presença do parasito) como defesa contra os efeitos do cortisol na suscetibilidade a patógenos. É conhecido que, no estresse crônico, a secreção prolongada de cortisol é responsável por redução da resistência imunológica (WENDELAAR BONGA, 1997). Por outro lado, os pacus passaram por uma condição estressante prévia, que foi a transferência das caixas para os aquários. Manejos semelhantes resultam em níveis aumentados de cortisol (BARCELLOS *et al.*, 2001). A redução poderia indicar, então, mecanismo de retro-alimentação para reduzir os níveis circulantes aumentados, embora não justifique o atraso na redução observada nos peixes da dieta de 52% CHO. Nesse caso, os peixes da dieta 45% CHO apresentaram consumo de alimento mais alto, que pode ter criado condições biológicas mais favoráveis de resposta protetora contra os efeitos supressores da resistência à infestação do cortisol.

A osmolalidade sanguínea dos peixes foi afetada apenas pela infestação, sendo mais baixa 30 horas após a infestação com *D. carvalhoi*, embora já tenha ocorrido redução numérica seis horas após contato dos peixes com o parasito (Tabela 4). O aumento de catecolaminas circulantes em situações de estresse, como a que provavelmente ocorreu durante a transferência dos peixes para os aquários, altera a permeabilidade do epitélio das brânquias, promovendo perda significativa de íons, predominantemente sódio e cloreto, e influxo de água causando sérios distúrbios eletrolíticos, desde que o meio interno dos peixes tem concentração osmótica diferente da do meio ambiente externo. No caso de peixes de água doce, ocorre perda de íons corporais (EDDY, 1981). Segundo GRIMNES & JAKOBSEN (1996), a infestação com crustáceos ectoparasitos pode induzir distúrbios osmorregulatórios. A concentração plasmática de cloreto não foi influenciada pelos tratamentos testados (Tabela 4), embora a infestação de exemplares jovens de pacu pelo *D. carvalhoi* tenha aumentado a concentração de cloreto circulante vinte e quatro horas após a infestação (BILLER, 2005). Por outro lado, significativas perdas de cloreto plasmático foram encontradas em peixes submetidos a outros tipos de estressores (CARMICHAEL *et al.*, 1983; TOMASSO *et al.*, 1980).

A concentração sérica de potássio foi influenciada pela interação entre amostragem e dieta, com as médias apresentadas na Tabela 7. A concentração de potássio aumentou após infestação com *D. carvalhoi* nos peixes alimentados com 45% CHO, com intensidade maior trinta horas depois. O potássio é o principal íon citoplasmático e sua presença no sangue, como ocorre em situações de estresse (CARNEIRO & URBINATI, 2001), indica fragilidade e rompimento celular, o que parece ter ocorrido apenas nos peixes que receberam a dieta com 45% CHO após exposição ao parasito.

As concentrações séricas de sódio e cálcio dos juvenis de pacu foram influenciadas pela interação entre estratégia de alimentação, amostragem e dieta, as médias estão apresentadas na Tabela 8. A concentração de sódio diminuiu após a infestação com *D. carvalhoi*, de forma geral e mais notadamente nos peixes que receberam a dieta com 45% CHO. Nos peixes sempre alimentados com 45% CHO e

nos realimentados até a saciedade com 52% CHO, essa redução foi significativa seis horas após infestação, enquanto nos peixes realimentados até a saciedade com 45% CHO e sempre alimentados com 52% CHO, isso ocorreu trinta horas após infestação (Tabela 8).

Tabela 7. Concentração de potássio (K, mEq L⁻¹) de juvenis de pacu em função da amostragem e da dieta.

Amostragem	Dieta	
	45% CHO	52% CHO
Antes infestação	2,2 ± 0,9 Bb	3,0 ± 1,4 Aa
6 h após infestação	2,7 ± 0,8 ABa	2,6 ± 0,6 Aa
30 h após infestação	3,1 ± 0,9 Aa	3,1 ± 0,7 Aa

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam amostragens dentro de cada dieta e minúsculas, dietas dentro de cada amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 8. Concentração sérica de sódio (Na) e cálcio (Ca) de juvenis de pacu em diferentes amostragens em função das estratégias de alimentação e das dietas experimentais.

	Amostragem					
	Antes da infestação		6 h após infestação		30 h após infestação	
Na, mEq L⁻¹						
45% CHO						
Continuamente alimentado	139,5 ± 2,0	Aax	133,5 ± 5,7	Bby	136,0 ± 2,9	Aabx
Realimentação controlada	140,6 ± 3,6	Aax	137,9 ± 2,5	Aax	133,7 ± 6,1	Aax
Realimentação até saciedade	137,9 ± 1,3	Aay	138,3 ± 2,5	Aax	134,3 ± 2,9	Abx
52% CHO						
Continuamente alimentado	138,5 ± 0,8	Bax	138,0 ± 1,6	Aax	133,9 ± 2,5	Abx
Realimentação controlada	136,4 ± 1,4	Bay	135,0 ± 1,4	Bay	137,0 ± 1,0	Aax
Realimentação até saciedade	141,6 ± 3,6	Aax	136,3 ± 2,3	Abx	137,3 ± 4,3	Aax
Ca, mEq L⁻¹						
45% CHO						
Continuamente alimentado	1,58 ± 0,45	Aax	0,77 ± 0,25	Bbx	1,17 ± 0,12	Aax
Realimentação controlada	1,22 ± 0,21	Aax	1,11 ± 0,20	Aax	0,99 ± 0,17	Aax
Realimentação até saciedade	1,09 ± 0,18	Aay	1,14 ± 0,22	Aax	1,00 ± 0,11	Aax
52% CHO						
Continuamente alimentado	0,91 ± 0,05	Bby	0,93 ± 0,09	Abx	1,10 ± 0,12	Aax
Realimentação controlada	1,34 ± 0,22	Aax	0,88 ± 0,13	Aby	1,13 ± 0,13	Aabx
Realimentação até saciedade	1,60 ± 0,29	Aax	0,95 ± 0,07	Aby	1,10 ± 0,12	Abx

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada amostragem e dieta e minúsculas (a, b, c) comparam amostragem dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x, y) comparam dietas dentro de cada estratégia e amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A, B, C) e minúsculas (x, y) na coluna e minúsculas (a, b, c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A concentração de cálcio diminuiu após infestação no grupo continuamente alimentado com a dieta de 45% CHO e nos dois grupos realimentados com 52% CHO, voltando a subir trinta horas após infestação nos dois grupos continuamente alimentados. A infestação dos pacus pelo *D. carvalhoi* provocou mudanças eletrolíticas e distúrbio osmorregulatório, mas as estratégias de alimentação e dietas não resultaram em alterações que caracterizem padrão de estresse.

Os parâmetros hematológicos hematócrito, volume corpuscular médio, número de eritrócitos, de eritroblastos, de trombócitos e de leucócitos foram afetados pela interação entre estratégia de alimentação, dieta e período de amostragem (Tabela 9). Os desdobramentos das interações encontram-se nas Tabelas 10-A e 10-B.

Tabela 9. Médias dos parâmetros hematológicos: hematócrito (Hct), volume corpuscular médio (VCM), número de eritrócitos (Er), número de eritroblastos (Eb), número de trombócitos (Tr) e número de leucócitos (Le) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis					
	Hct %	VCM mm ³	Er 10 ⁶ mm ⁻³	Eb mm ⁻³	Tr mm ⁻³	Le mm ⁻³
Médias para Estratégia:						
Continuamente alimentado	26,8 A	128,8 A	1,4 A	27.514 B	19.093 A	19.663 A
Realimentação controlada	19,4 B	120,5 B	1,2 AB	48.123 A	20.291 A	18.929 A
Realimentação até saciedade	18,5 B	120,7 B	1,0 B	42.451 A	17.109 A	22.125 A
Médias para Dieta:						
45% CHO	21,3 x	122,1 x	1,2 x	38.735 x	19.178 x	20.331 x
52% CHO	21,9 x	124,3 x	1,2 x	40.586 x	18.437 x	20.198 x
Médias para Amostragem:						
antes da infestação	34,6 a	173,8 a	1,5 a	20.175 b	19.446 a	16.513 b
6 h após infestação	18,1 b	95,3 b	1,4 a	24.742 b	25.109 a	11.871 b
30 h após infestação	13,1 c	98,2 b	0,7 b	74.557 a	11.994 b	32.392 a
F para:						
Estratégia (EA)	29,12**	5,45**	6,60**	5,18**	0,68 ^{NS}	0,54 ^{NS}
Dieta (D)	0,05 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Amostragem (A)	241,0**	2301,1**	70,78**	53,97**	10,15**	22,07**
EA x D	0,25 ^{NS}	4,08**	10,67**	2,78 ^{NS}	3,14 ^{NS}	1,97 ^{NS}
D x A	1,56 ^{NS}	3,29*	0,37 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,34 ^{NS}	0,20 ^{NS}
EA x A	4,49**	3,68**	6,50**	1,48 ^{NS}	2,35 ^{NS}	2,02 ^{NS}
EA x D x A	3,91**	16,70**	12,50**	6,60**	2,72*	4,90**
CV (%)	20,5	5,0	30,4	69,8	71,8	75,2

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 10-A. Hematócrito (Hct), volume corpuscular médio (VCM) e número de eritrócitos (Er) de juvenis de pacu em diferentes amostragens em função das estratégias de alimentação e das dietas experimentais.

	Amostragem					
	Antes da infestação		6 h após infestação		30 h após infestação	
Hct, %						
45% CHO						
Continuamente alimentado	37,5 ± 1,9	Aax	22,9 ± 6,3	Aby	18,7 ± 5,3	Acx
Realimentação controlada	34,7 ± 2,4	Aax	15,8 ± 7,7	Bbx	9,3 ± 4,6	Bbx
Realimentação até saciedade	33,1 ± 2,5	Bax	15,4 ± 5,9	Bbx	9,5 ± 5,7	Bbx
52% CHO						
Continuamente alimentado	35,9 ± 4,1	Aax	29,5 ± 1,9	Abx	16,6 ± 3,2	Acx
Realimentação controlada	34,0 ± 2,8	Aax	11,9 ± 5,6	Bbx	15,0 ± 5,2	Abx
Realimentação até saciedade	32,3 ± 1,8	Aax	13,3 ± 3,2	Bbx	11,1 ± 4,8	Abx
VCM, mm³						
45% CHO						
Continuamente alimentado	188,5 ± 13,7	Aax	96,7 ± 4,9	Abx	99,5 ± 2,3	Abx
Realimentação controlada	161,1 ± 5,6	Bay	96,1 ± 3,7	Abx	98,3 ± 6,2	Abx
Realimentação até saciedade	164,3 ± 5,7	Bay	96,5 ± 4,8	Abx	97,5 ± 3,1	Abx
52% CHO						
Continuamente alimentado	169,9 ± 3,8	Bay	99,4 ± 3,3	Abx	100,5 ± 6,5	Abx
Realimentação controlada	173,2 ± 5,0	ABax	93,3 ± 3,3	Bbx	98,5 ± 4,5	Abx
Realimentação até saciedade	184,4 ± 16,6	Aax	91,5 ± 4,9	Bbx	95,2 ± 7,2	Abx
Er, 10⁶ mm⁻³						
45% CHO						
Continuamente alimentado	1,00 ± 0,38	Bay	1,41 ± 0,51	ABay	1,06 ± 0,47	Aax
Realimentação controlada	1,90 ± 0,26	Aax	1,71 ± 0,74	Aax	0,54 ± 0,27	Bbx
Realimentação até saciedade	1,73 ± 0,23	Aax	1,14 ± 0,27	Bbx	0,59 ± 0,35	ABcx
52% CHO						
Continuamente alimentado	1,99 ± 0,27	Aax	2,45 ± 0,54	Aay	0,57 ± 0,61	Abx
Realimentação controlada	1,28 ± 0,16	Bay	1,05 ± 0,30	Bay	0,67 ± 0,31	Abx
Realimentação até saciedade	1,38 ± 0,23	Bay	0,84 ± 0,34	Bbx	0,66 ± 0,30	Abx

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada amostragem e dieta e minúsculas (a, b, c) comparam amostragem dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x, y) comparam dietas dentro de cada estratégia e amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A, B, C) e minúsculas (x, y) na coluna e minúsculas (a, b, c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

O hematócrito que antes da infestação era menor, estatística ou numericamente, nos dois grupos de peixes submetidos à restrição alimentar, diminuiu em todos os grupos após contato com o parasito. O volume corpuscular médio e o número de eritrócitos mostraram mesmo perfil, com redução significativa nas amostragens após infestação pelo parasito. Na amostragem anterior à infestação, os peixes do grupo

continuamente alimentado tinham maior volume corpuscular médio e menor número de eritrócitos, enquanto que nos grupos submetidos à restrição e realimentação foi observado o inverso, nas duas dietas testadas (Tabela 10-A). Por outro lado, o número de eritroblastos e de leucócitos aumentou significativamente nas amostragens posteriores à infestação, principalmente trinta horas após (Tabela 10-B).

Os valores de hematócrito e do número de leucócitos observados antes da infestação com o parasito estão próximos daqueles considerados basais para o pacu (TAVARES-DIAS & MATAQUEIRO, 2004), mas o número de eritrócitos e de trombócitos são inferiores. Entretanto, os autores relatam que um elevado coeficiente de variação nestes parâmetros, decorrente de variações intra-específicas, é esperado.

Após a infestação, a redução no hematócrito foi maior nos peixes submetidos à restrição e realimentação, acompanhada pela redução do volume corpuscular médio e número de eritrócitos. Entretanto, o aumento do número de eritroblastos, células vermelhas jovens, indica uma eritropoiese para repor os eritrócitos reduzidos (TAVARES-DIAS & MATAQUEIRO, 2004), uma vez que o *D. carvalhoi*, causa lesões na superfície corporal e brânquias, alimentando-se de sangue, muco, plasma e células epiteliais (MALTA & VARELLA, 1983). Em salmão do Atlântico infestado por “sea lice”, houve aumento do hematócrito e da fração de células vermelhas, que segundo BOWERS *et al.* (2000), ocorreu por hemoconcentração, como consequência da saída de fluído decorrente das lesões na superfície corporal causadas pelo parasito.

Trinta horas após contato com o parasito, foi observado nos juvenis de pacu um aumento no número de leucócitos. Segundo SECOMBES (1996), essa resposta indica um mecanismo de defesa do organismo. Foram observadas também alterações no número de trombócitos, células multifuncionais envolvidas na liberação de eicosanóides, no processo de coagulação sangüínea e na defesa orgânica, e que embora não sejam consideradas de linhagem leucocitária, também realizam fagocitose (TAVARES-DIAS & MATAQUEIRO, 2004).

Tabela 10-B. Número de eritroblastos (Eb), número de trombócitos (Tr) e número de leucócitos (Le) de juvenis de pacu em diferentes amostragens em função das estratégias de alimentação e das dietas experimentais.

	Amostragem					
	Antes da infestação		6 h após infestação		30 h após infestação	
Eb, mmm⁻³						
45% CHO						
Cont. alimentado	8.137 ± 1.952	Bbx	11.568 ± 3.542	Bbx	73.129 ± 14.803	Aay
Realim. controlada	29.710 ± 3.350	Abx	32.611 ± 8.352	Aabx	59.339 ± 10.352	Aay
Realim. até saciedade	31.513 ± 5.777	Abx	24.986 ± 4.654	ABbx	85.317 ± 21.591	Aax
52% CHO						
Cont. alimentado	18.264 ± 4.421	Aax	34.521 ± 13.956	Aax	33.497 ± 7.793	Bax
Realim. controlada	23.312 ± 2.999	Abx	24.219 ± 3.616	Abx	126.923 ± 20.535	Aax
Realim. até saciedade	11.532 ± 3.158	Aby	24.148 ± 8.638	Abx	75.844 ± 12.711	Bax
Tr, mmm⁻³						
45% CHO						
Cont. alimentado	11.434 ± 2.695	Aby	25.671 ± 3.446	Aax	12.447 ± 3.516	Abx
Realim. controlada	23.160 ± 3.816	Aax	20.309 ± 4.967	Aabx	8.315 ± 1.787	Abx
Realim. até saciedade	16.388 ± 3.840	Aax	17.398 ± 2.046	Aax	15.439 ± 1.903	Aax
52% CHO						
Cont. alimentado	26.439 ± 3.370	Aax	26.384 ± 3.438	Aax	7.500 ± 3.028	Abx
Realim. controlada	14.150 ± 3.209	Bax	19.519 ± 3.565	Aax	15.603 ± 4.525	Aax
Realim. até saciedade	24.726 ± 3.467	ABax	15.389 ± 2.839	Aabx	13.227 ± 2.420	Abx
Le, mmm⁻³						
45% CHO						
Cont. alimentado	10.568 ± 1.224	Bbx	11.205 ± 1.826	Aby	47.365 ± 7.741	Aax
Realim. controlada	21.605 ± 4.165	Aax	18.903 ± 4.384	Bax	22.176 ± 6.397	Bax
Realim. até saciedade	15.349 ± 1.975	ABabx	8.808 ± 1.279	Bbx	22.597 ± 3.723	Bax
52% CHO						
Cont. alimentado	16.360 ± 3.435	Aax	23.253 ± 4.869	Aax	17.498 ± 4.154	Aay
Realim. controlada	13.856 ± 1.313	Abx	5.633 ± 287	Bby	31.284 ± 5.649	Aax
Realim. até saciedade	21.196 ± 3.845	Aabx	6.913 ± 1.578	Bbx	36.842 ± 7.707	Aax

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada amostragem e dieta e minúsculas (a, b, c) comparam amostragem dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x, y) comparam dietas dentro de cada estratégia e amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A, B, C) e minúsculas (x, y) na coluna e minúsculas (a, b, c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Com relação às estratégias de alimentação e composição das dietas, segundo ROSEN LUND *et al.* (2004), em juvenis do bacalhau do Atlântico *Gadus morhua*, a alimentação alternada ou contínua com dietas contendo de 36 a 66% de proteína bruta, 8 a 28% de lipídio e 8 a 18% de carboidrato, não influenciou os parâmetros hematócrito, volume corpuscular médio e taxa de hemoglobina.

Os parâmetros hematológicos número de linfócitos, neutrófilos, monócitos, células granulocíticas especiais, eosinófilos e de basófilos são apresentados na Tabela 11. Apenas para linfócito e monócito, houve efeito significativo da interação entre estratégia de alimentação, dieta e amostragem, sendo o desdobramento destas interações apresentado na Tabela 12.

Tabela 11. Médias dos parâmetros hematológicos: linfócito (Li), neutrófilo (Ne), monócito (Mo), célula granulocítica especial (CGE), eosinófilo (Eo) e basófilo (Ba) de juvenis de pacu, valores de F e coeficiente de variação (CV).

	Variáveis					
	Li mm ⁻³	Ne mm ⁻³	Mo mm ⁻³	CGE mm ⁻³	Eo mm ⁻³	Ba mm ⁻³
Médias para Estratégia:						
Continuamente alimentado	15.465 A	249 A	1.004 A	1.451 A	1.264 A	230 A
Realimentação controlada	15.000 A	293 A	858 A	1.033 A	1.492 A	254 A
Realimentação até saciedade	16.963 A	232 A	1.638 A	918 A	1.880 A	493 A
Médias para Dieta:						
45% CHO	16.125 x	273 x	934 x	1.030 x	1.682 x	288 x
52% CHO	15.517 x	243 x	1420 x	1.224 x	1.422 x	372 x
Médias para Amostragem:						
antes da infestação	13.167 b	180 a	501 b	310 b	2.189 a	166 a
6 h após infestação	8.231 b	306 a	795 b	1.770 a	416 b	354 a
30 h após infestação	26.028 a	293 a	2.246 a	1.347 ab	2.004 a	475 a
F para:						
Estratégia (EA)	0,38 ^{NS}	0,19 ^{NS}	1,39 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,71 ^{NS}	1,73 ^{NS}
Dieta (D)	0,44 ^{NS}	0,14 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,58 ^{NS}
Amostragem (A)	28,48 ^{**}	0,87 ^{NS}	7,86 ^{**}	6,37 ^{**}	5,91 ^{**}	2,97 ^{NS}
EA x D	1,87 ^{NS}	2,17 ^{NS}	8,14 ^{**}	1,64 ^{NS}	2,70 ^{NS}	2,03 ^{NS}
D x A	0,40 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,51 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,06 ^{NS}
EA x A	1,46 ^{NS}	1,94 ^{NS}	1,56 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,80 ^{NS}	1,88 ^{NS}
EA x D x A	5,74 ^{**}	1,56 ^{NS}	5,69 ^{**}	2,91 ^{NS}	0,66 ^{NS}	2,09 ^{NS}
CV (%)	72,6	180,6	184,2	189,0	174,3	193,0

^{NS} – não significativo

* – diferença significativa (P<0,05)

** – diferença significativa (P<0,01)

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os peixes possuem mecanismos de defesa não específicos, representados por inflamação local, com acúmulo de leucócitos no tecido invadido. Uma variedade de tipos de leucócitos está envolvida na defesa celular não específica de peixes, incluindo

monócitos/macrófagos, granulócitos e células citotóxicas não específicas. Os macrófagos são células mononucleadas, altamente fagocíticas, que podem secretar radicais livres de oxigênio e nitrogênio e eliminar uma variedade de patógenos. Os granulócitos são muito móveis e tendem a predominar nos primeiros dias após a infecção, e são divididos em neutrófilos, eosinófilos e basófilos (SECOMBES, 1996).

Tabela 12. Número de linfócitos e monócitos de juvenis de pacu em diferentes amostragens em função das estratégias de alimentação e das dietas experimentais.

	Amostragem								
	Antes da infestação			6 h após infestação			30 h após infestação		
Linfócitos									
45% CHO									
Cont. alimentado	7.388	± 887	Bbx	8.410	± 1.598	ABbx	39.258	± 6.199	Aax
Realim. controlada	18.663	± 3.400	Aax	13.447	± 2.773	Aax	11.926	± 3.119	Bay
Realim. até saciedade	11.709	± 1.441	ABbx	6.477	± 892	Bbx	20.096	± 3.567	Bax
52% CHO									
Cont. alimentado	13.811	± 9.332	Aax	14.759	± 7.418	Aax	14.849	± 9.370	Aay
Realim. controlada	9.372	± 892	Aby	3.568	± 398	Bby	27.561	± 5.468	Aax
Realim. até saciedade	17.877	± 3.320	Abx	4.591	± 1.229	Bbx	32.992	± 6.362	Aax
Monócitos									
45% CHO									
Cont. alimentado	537	± 326	Abx	545	± 137	Aby	2.648	± 1.110	Aax
Realim. controlada	333	± 161	Abx	1.182	± 556	Aabx	2.483	± 720	Aax
Realim. até saciedade	332	± 83	Aax	431	± 136	Aax	268	± 131	Aay
52% CHO									
Cont. alimentado	286	± 83	Bax	1.907	± 693	Aax	848	± 474	Bax
Realim. controlada	172	± 49	Bax	494	± 84	Aax	379	± 157	Bay
Realim. até saciedade	1.328	± 449	Abx	589	± 331	Abx	5.835	± 1.507	Aax

Médias ± desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam estratégias de alimentação dentro de cada amostragem e dieta e minúsculas (a, b, c) comparam amostragem dentro de cada estratégia de alimentação e dieta e letras minúsculas (x, y) comparam dietas dentro de cada estratégia e amostragem. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas (A, B, C) e minúsculas (x,y) na coluna e minúsculas (a, b, c) na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De maneira geral, diversos tipos de agentes estressores afetaram os parâmetros hematológicos dos peixes. Os neutrófilos, conhecidos por terem função fagocítica (SECOMBES, 1996), não permitiram, no presente estudo, a identificação de resposta padrão relacionada a estresse. Entretanto, o número de monócitos, células fagocíticas encontradas no sangue e particularmente importante na inflamação, resposta celular à

invasão microbiana ou lesão tecidual, aumentou trinta horas após a infestação, como resposta ao ataque do parasito (SECOMBES, 1996).

Conclusão

Os resultados sugerem que alterações fisiológicas características de estresse foram observadas no pacu como resposta à presença do ectoparasito *D. carvalhoi*, mas não por influência das estratégias de alimentação e dietas avaliadas. Desta forma, a utilização de estratégias com ciclos curtos de restrição e realimentação que geram redução nos custos de produção pela redução dos gastos com ração (em torno de 50% a menos) e mão-de-obra (metade dos dias de criação), embora não tenham resultado em crescimento compensatório completo, pode ser adotada sem que comprometa as respostas fisiológicas à infestação por parasitos como o *D. carvalhoi*.

Referências Bibliográficas

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1101-1109, 2004.

ACKERMAN, P.A.; IWAMA, G.K. Physiological and cellular stress responses of juvenile rainbow trout to vibriosis. **Journal of Aquatic Animal Health**, v. 13, 173–180, 2001.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v.4, p.147-190, 2003.

BARCELLOS, L.J.G.; WOEHL, V.M.; WASSERMANN, G.F.; QUEVEDO, R.M.; ITTZÉS, I.; KRIEGER, M.H. Plasma levels of cortisol and glucose in response to capture and tank transference in *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard), a South American catfish. **Aquaculture Research**, v.32, p.121-123, 2001.

BARTON, B.A.; IWAMA, G.K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the responses and effects of corticosteroids. **Annual Review of Fish Diseases**, v.1, p.3–269, 1991.

BILLER, J.D. **Efeitos da administração oral de cortisol e do estresse de captura em pacu *Piaractus mesopotamicus* jovens infestados com *Dolops carvalhoi***. 2005. 35 f. Trabalho (Graduação em Medicina Veterinária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

BILODEAU, A.L.; SMALL, B.C.; WOLTERS, W.R. Pathogen loads, clearance and plasma cortisol response in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), following challenge with *Edwardsiella ictaluri*. **Journal of Fish Diseases**, v.26, p.433–437, 2003.

BOWERS, J.M.; MUSTAFA, A.; SPEARE, D.J.; CONBOY, G.A.; BRIMACOMBE, M.; SIMS, D.E.; BURKA, J.F. The physiological response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to a single experimental challenge with sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. **Journal of Fish Diseases**, v.23, p.165-172, 2000.

CARMICHAEL, G.J., WEDMEYER, G.A., MCCRAEN, J.D., MILLARD, J.L. Physiological effects of handling and hauling stress on smallmouth bass. **Progressive Fish-Culturist**, v. 45, p.110-113, 1983.

CARNEIRO, P.C.F.; URBINATI, E.C. Salt as a stress response mitigator of matrinxã *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae) during transport. **Aquaculture Research**, v.32, p.297-304, 2001.

CARNEIRO, P.C.F.; MARTINS, M.L.; URBINATI, E.C. Effect of sodium chloride on physiological responses and the gill parasite, *Piscinoodinium* sp., in matrinxã, *Brycon cephalus*, (Teleostei: Characidae) subjected to transport stress. **Journal of Aquaculture in the Tropics**, v.17, p.337-348, 2002.

CIEMBOR, P.G.; BLAZER, P.O.; DAWE, D.; SHOTTS, E.B. Susceptibility of channel catfish to infection with *Edwardsiella ictaluri*: effect of exposure method. **Journal of Aquatic Animal Health**, v.7, p.132– 140, 1995.

COLLINS, A.L.; ANDERSON, T.A. The regulation of endogenous energy stores during starvation and refeeding in the somatic tissues of the golden perch. **Journal of Fish Biology**, v.47, p.1004-1015, 1995.

EDDY, F.B. Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. *In*: PICKERING, A.D. (Ed.). **Stress and fish**. New York: Academic Press, 1981. p.77-102.

FARBRIDGE, K.J.; LEATHERLAND, J.K. Temporal changes in plasma thyroid hormone, growth hormone and free fatty acid concentrations, and hepatic 5'-monodeiodinase activity, lipid and protein content during chronic fasting and re-feeding in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v.10, p.245-257, 1992.

GRIMNES, A.; JAKOBSEN, P.J. The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, v.48, p.1179-1194, 1996.

HEIDE, A.; FOSS, A.; STEFANSSON, S.O. MAYER, I.; NORBERG, B.; ROTH, B.; JENSSEN, M.D.; NORTVEDT, R.; IMSLAND, A.K. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. **Aquaculture**, v.261, p.109-117, 2006.

KING, E.J.; GARNER, R.J. Colorimetric determination of glucose. **Journal of Clinical Pathology**, v.1, p.30-33, 1947.

MALTA, J.C.O.; VARELLA, A. Os argulídeos (Crustacea: Branchiura) da Amazônia brasileira 3. Aspectos da ecologia de *Dolops striata* Bouvier, 1899 e *Dolops carvalhoi* Castro, 1949. **Acta Amazonica**, v.13, p. 299-306, 1983.

MORGAN, J.D.; IWAMA, G.K. Measurements of stressed states in the field. *In*: IWAMA, G.K., PICKERING, A.D., SUMPTER, J.P., SCHRECK, C.B. (Ed). **Fish stress and health in aquaculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. cap.10, p.247 -270.

MUSTAFA, A.; MACWILLIAMS, C.; FERNANDEZ, N.; MATCHETT, K.; CONBOY, G.A.; BURKA, J.F. Effects of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Kröyer, 1837) infestation on macrophage functions in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 10, p.47–59, 2000.

ONAKA, E.M. **Infestação experimental por *Dolops carvalhoi* (Crustácea: Branchiura) em peixes tropicais e seu controle com diflubenzuron na ração**. 2005. 64 f. Tese (Doutorado) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

REIGH, R.C.; WILLIAMS, M.B.; JACOB, B.J. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v.254, p.506-516, 2006.

ROSENFELD, G. Corante pancrônico para hematologia e citologia clínica. Nova combinação dos componentes do May-Grunwald e do Giemsa num só corante de emprego rápido. **Memorial do Instituto Butantã**, v.20, p.329-334, 1947.

ROSENLUND, G.; KARLSEN, O.; TVEIT, K.; MANGOR-JENSEN, A.; HEMRE, G.I. Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. **Aquaculture Nutrition**, v.10, p.371-378, 2004.

SECOMBES, C.J. **The fish immune system – the non specific immune system: cellular defenses**. New York: Academic Press, 1996, p.63-103.

SHERIDAN, M.A.; MOMMSEN, T.P. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. **General and Comparative Endocrinology**, v.81, p.473-483, 1991.

TAVARES-DIAS, M.; MATAQUEIRO, M.I. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) oriundos de cultivo intensivo. **Acta Scientiarum**, v.26, p.157-162, 2004.

THATCHER, V.E. Amazon fish parasites. **Amazoniana**, v.11, p.263-272, 1991.

TOMASSO, J.R., DAVIS, K.B., PARKER, N.C. Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (White bass x Striped bass) during netting and hauling. **Proceedings of the World Mariculture Society**, v.11, p.303-310, 1980.

WALTERS, G.R.; PLUMB, J.A. Environmental stress and bacterial infection in channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. **Journal of Fish Biology**, v.17, p.177-185, 1980.

WENDELAAR BONGA, S.E. The stress response in fish. **Physiological Reviews**, v.77, p.591-625, 1997.

WISE, D.J.; SCHWEDLER, T.E.; OTIS, D.L. Effects of stress on susceptibility of naïve channel catfish in immersion challenge with *Edwardsiella ictaluri*. **Journal of Aquatic Animal Health**, v. 5, .92-97, 1993.