**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Exigências em proteína e energia e avaliação de
fontes proteicas alternativas na alimentação do
cachara *Pseudoplatystoma fasciatum***

Tarcila Souza de Castro Silva

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e
Pastagens

**Piracicaba
2013**

Tarcila Souza de Castro Silva
Zootecnista

**Exigências em proteína e energia e avaliação de fontes proteicas
alternativas na alimentação do cachara *Pseudoplatystoma
fasciatum***

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ EURICO POSSEBON CYRINO**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Silva, Tarcila Souza de Castro

Exigências em proteína e energia e avaliação de fontes proteicas alternativas na alimentação do cachara *Pseudoplatystoma fasciatum* / Tarcila Souza de Castro Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013. 100 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Alimentação animal 2. Cachara 3. Digestibilidade 4. Energia dietética
5. Fontes alternativas 6. Proteínas I. Título

CDD 635.3085
S586e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais, Rosa Maria e Manoel, pelo amor, educação e exemplo de vida”

“À minha irmã, Tatiana, pelo incentivo e preocupação”

“Ao meu grande amor, Ricardo, pelo companheirismo, amor e apoio”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas graças concedidas em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais pelo incentivo, pelo amor, pelo exemplo de vida e pelo apoio para a realização de todos meus sonhos.

A minha irmã pelo amor, dedicação e preocupação, desde a infância.

Ao Ricardo pelo amor, incentivo e imenso companheirismo, ajuda, compreensão... Não tenho palavras para descrever o quão fundamental você foi para a realização deste trabalho e na minha vida.

Ao Professor Doutor José Eurico Possebon Cyrino pela orientação, e por todo conhecimento transmitido.

Aos técnicos de laboratório do Setor de Piscicultura Ismael Baldessin Junior e Sergio Vanderlei Pena por viabilizar a realização dos experimentos.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento fundamental para a realização da pesquisa.

Aos amigos de toda minha vida, Christiane L. C. Silva, Valdinéia P. Dim, Mariana Z. Torres, Jony Koji Dairiki, Giovanni Vitti Moro, Thyssia Bomfim, Brunno Cerozi, Lígia Uribe, pela amizade e pela ajuda imprescindível para minha formação.

A colaboração do Núbio, Mateus, Renan, “Barata”, João Theodoro, para a realização dos experimentos e análises.

Aos professores Adibe Luiz Abdala e José Fernando Machado Menten pela orientação e colaboração. Em especial ao professor Gerson Barreto Mourão, pela imensa ajuda; que com muita dedicação e competência dispendeu muito de seu tempo para me orientar nas análises estatísticas.

Ao professor Wilson Massamitu Furuya por ter me apresentado ao mundo científico e com muita competência ter participado da minha formação intelectual e pessoal. Além do incentivo para eu fazer o doutorado.

Ao Professor Dominique P. Bureau por ter me recebido na “University of Guelph” e ter dado todo o suporte necessário para meu intercâmbio.

Aos docentes, funcionários e alunos da ESALQ pela minha formação, em especial a Janaina R. Lima e Wiolene M. Nordi.

A Guarda Universitária que nos auxiliou e nos acompanhou em todos os momentos queda de energia, sempre de prontidão em nos ajudar.

Ao esforço do Sr. Kassai (Piraí-Piscicultura) em sempre se disponibilizar para o fornecimento de peixes para a realização dos experimentos.

A todos meus familiares pelo incentivo, confiança e oração.

Muito obrigada!

“Conquistas sem riscos são sonhos sem méritos. Ninguém é digno dos sonhos se não usar suas derrotas para cultivá-los.”

Augusto Cury

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Posição sistemática, comportamento alimentar e nutrição dos surubins	23
2.2 Digestibilidade em peixes ictiófagos	29
2.3 Proteína na dieta dos peixes	33
2.4 A energia e as fontes de energia dietética para os peixes.....	37
2.5 Relação energia e proteína	43
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.1 Experimento I – digestibilidade de ingredientes selecionados para o cachara	47
3.2 Experimento II – relação energia-proteína na nutrição do cachara.....	49
3.3 Análises químicas	54
3.4 Análises estatísticas	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Experimento I.....	57
4.2 Experimento II.....	64
5 CONCLUSÕES.....	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	84

RESUMO

Exigências em proteína e energia e avaliação de fontes proteicas alternativas na alimentação do cachara *Pseudoplatystoma fasciatum*

O cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum*, é um siluriforme carnívoro da América do Sul. Apesar da importância da espécie para pesca e piscicultura, não há uma dieta específica e nem as exigências nutricionais determinadas. O objetivo deste projeto foi determinar a digestibilidade aparente da energia e proteína de diferentes alimentos de origem animal e vegetal e, com os valores da digestibilidade dos ingredientes, elaborar rações para determinar as exigências em proteína, energia e relação energia:proteína para o cachara. Para o ensaio de digestibilidade, 105 juvenis de cachara ($82,35 \pm 17,7$ g; $23,04 \pm 1,6$ cm) foram distribuídos em 21 gaiolas cilíndricas plásticas de 80 L e alimentados até a saciedade aparente em duas refeições diárias (20h00min e 22h00min) com dietas teste obtidas a partir da adição de 0,1% de óxido crômico III e substituição de 30% de uma ração referência (RR; 46% proteína bruta; 4600 kcal energia bruta) pelos seguintes ingredientes: farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras, farinha de penas, farinha de sangue, farelo de soja, farelo de trigo, milho moído e glutenose de milho. Após a última refeição, os peixes eram transferidos para os aquários cônicos (200 L) acoplados a recipientes refrigerados para a coleta de fezes por sedimentação. Os melhores coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (99,36%) e energia (86,25%) foram registrados para a farinha de vísceras de aves e farinha de carne e ossos, respectivamente, consideradas fontes alternativas adequadas para substituir com eficiência a farinha de peixe, ingrediente padrão para formulação de rações para o cachara. Em um segundo experimento foram determinados os melhores níveis de energia e proteína nas dietas para juvenis de cachara ($53,6 \pm 1,30$ g e $20,1 \pm 1,06$ cm), distribuídos aleatoriamente em 75 gaiolas (210 L) alojadas em tanques de alvenaria (12 m^3) com constante renovação de água e aeração e alimentados duas vezes ao dia (06h30m e 18h30m) por 60 dias com 25 dietas formuladas para conter cinco níveis de proteína digestível (32, 36, 40, 44 e 48%) e cinco níveis de energia digestível (3600, 3725, 3850, 3975 e 4100 kcal kg^{-1}), em um delineamento inteiramente casualizado com um esquema fatorial 5×5 ($n = 3$). A energia e proteína dietética afetaram o ganho de peso, taxa de crescimento específico, consumo de ração, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, retenção de proteína, índice hepatossomático, índice lipossomático, índice viscerossomático, proteínas totais séricas e triglicerídeos no soro. A energia dietética afetou a retenção de energia pelo cachara, mas a retenção de fósforo e a composição do peixe inteiro não foram influenciadas pela dieta. Com os resultados é possível concluir que os níveis de 3600 kcal kg^{-1} de ED, 39% de PD e a relação ED:PD de 9,23 kcal g^{-1} garantem ótimo desempenho e retenção de nutrientes pelo cachara.

Palavras-chave: Cachara; Digestibilidade; Fontes alternativas; Energia; Proteína; Exigências

ABSTRACT

Protein and energy requirements and evaluation of alternative protein sources for striped surubim *Pseudoplatystoma fasciatum*

Striped surubim, *Pseudoplatystoma fasciatum* is a South American carnivore catfish of economic importance for fisheries and fish culture alike. However, in spite of its importance for the Brazilian aquaculture, there is no specific diet neither nutritional requirement determined for this specie. The aim of this study was thus determination of apparent digestibility coefficients of selected feedstuff and their use in diets for determination of protein, energy and energy:protein requirements of juvenile striped surubim. Juvenile striped surubim (82.35 ± 17.7 g and 23.04 ± 1.6 cm) were distributed in 21 cylindrical, plastic cages (80 L) and conditioned to a two daily meals (20h00m and 22h00m) feeding regimen on a practical, reference diet (RD) (460.0 g kg^{-1} crude protein (CP); 19.23 kJ g^{-1} gross energy (GE)). Test diets were obtained by adding 0.1% chromium III oxide and substituting 30% of one the following feedstuffs in RD: fish meal, meat and bone meal, poultry by-product meal, feather meal, blood meal, soybean meal, wheat bran, corn and corn gluten meal. After the last daily meal, fish were transferred to cylindrical-conical bottomed aquaria (200 L), coupled to refrigerated plastic bottles for feces collection by sedimentation. Best apparent digestibility coefficients of protein (99.36%) and energy (86.25%) were recorded for poultry by-product meal and meat and bone meal, respectively, so deemed ideal surrogate feedstuffs to fish meal, the standard protein source for the formulation and processing of diets for carnivore fish. For determination of best energy and protein level, juvenile striped surubim (53.6 ± 1.30 g and 20.1 ± 1.06 cm) were randomly distributed in 75 cages (210 L), housed in 12 m^3 concrete tanks under constant water flow and aeration, and hand fed two daily meals (06h30m and 18h30m) for 60 days. Twenty-five diets were formulated to contain five levels of digestible protein (DP) (32, 36, 40, 44 and 48%) and five levels of digestible energy (DE) (3600, 3725, 3850, 3975 and 4100 kcal kg^{-1}) in a randomized design, 5×5 factorial scheme ($n = 3$). The dietary energy and protein affected the weight gain, specific growth rate, feed intake, feed conversion rate, protein retention, hepatosomatic, liposomatic and viscerosomatic index, serum total protein and triglycerides, but energy retention was affected only by dietary energy. Phosphorus retention and whole body composition were not affected by diets. Estimated dietary requirement for the best performance and best nutrient retention of striped surubim were 3600 kcal kg^{-1} of DE, 39% of DP and a 9.23 kcal g^{-1} of DE:DP ratio.

Keywords: Striped surubim; Digestibility; Alternative Sources; Energy; Protein; Requirements

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Análise de superfície de resposta do peso final de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	66
Figura 2 -	Análise de superfície de resposta do ganho de peso de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta.....	66
Figura 3 -	Análise de superfície de resposta da taxa de crescimento específico de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	67
Figura 4 -	Análise de superfície de resposta do consumo de ração de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta.....	67
Figura 5 -	Análise de superfície de resposta da conversão alimentar de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta.....	70
Figura 6 -	Análise de superfície de resposta da taxa de eficiência proteica de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	70
Figura 7 -	Análise de superfície de resposta da eficiência em retenção de proteína de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	71
Figura 8 -	Análise de regressão da eficiência em retenção de energia de cacharas em função dos níveis de energia da dieta.....	72
Figura 9 -	Análise de superfície de resposta do índice hepássomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	75
Figura 10 -	Análise de superfície de resposta do índice lipossomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta.....	76
Figura 11 -	Análise de superfície de resposta do índice viscerossomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	76
Figura 12 -	Análise de superfície de resposta dos níveis de proteína sérica em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	77
Figura 13 -	Análise de superfície de resposta do nível de triglicerídeos no soro em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Exigência proteica para diversas espécies, com hábito alimentar e tamanho variados.....	37
Tabela 2 -	Relação proteína e energia para várias espécies de peixes, com hábitos alimentares e tamanhos diversos	46
Tabela 3 -	Composição da ração referência (matéria natural)	47
Tabela 4 -	Composição química (matéria natural) dos ingredientes	48
Tabela 5 -	Formulação e composição química das rações experimentais (com base na Matéria natural)	52
Tabela 6 -	Coeficientes de digestibilidade aparente e valores digestíveis da energia bruta e proteína dos ingredientes testados	57
Tabela 7 -	Desempenho produtivo de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{u} \pm EP$).....	65
Tabela 8 -	Eficiência alimentar de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{u} \pm EP$)	69
Tabela 9 -	Composição da carcaça ($\bar{u} \pm EP$) de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta	73
Tabela 10 -	Índices viscerais, triglicerídeos e proteína sérica de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{u} \pm EP$)	74
Tabela 11 -	Respostas máximas e mínimas estimadas com os respectivos níveis de energia e proteína da dieta de todas as variáveis analisadas e o correspondente coeficiente de determinação.....	79

1 INTRODUÇÃO

A produção aquícola no Brasil cresceu 43,8% entre os anos 2007 e 2009, correspondendo a 415×10^3 t ao ano, sendo que, a produção de bagres do gênero *Pseudoplatystoma* cresceu 546% em 11 anos (MPA, 2010). No Brasil existem várias espécies de peixes nativas com potencial para a criação em confinamento, como o dourado *Salminus brasiliensis*, o pintado *Pseudoplatystoma corruscans* e o cachara *Pseudoplatystoma fasciatum*. O cachara é um Siluriforme ictiófago que ocorre naturalmente nas bacias dos Rios Paraguai-Uruguai e São Francisco. É uma espécie que apresenta grande valor comercial em função da qualidade da sua carne, coloração clara, textura firme, baixo teor de gordura e ausência de espinhos intramusculares. É também considerada uma espécie excelente para a pesca esportiva.

Essas características têm feito com que o cachara desperte o interesse de um número cada vez maior de produtores visando a sua criação em confinamento, pois um grande percentual das espécies comercializadas é proveniente da natureza, cujo estoque apresenta reduções significativas ano após ano (CAMPOS, 2010). Os surubins apresentam, ainda, qualidade nutricional superior, com perfil de lipídios na carcaça comprovadamente adequados ao consumo alimentar humano (RAMOS-FILHO et al., 2008).

A viabilização dos sistemas intensivos de piscicultura está condicionada ao uso de rações balanceadas espécie-específicas, o que torna essencial o conhecimento das exigências nutricionais das espécies produzidas em confinamento (DE SILVA et al., 2002; PIEDRAS; POUEY; RUTZ, 2004). A determinação das exigências e o conhecimento da utilização dos ingredientes são determinantes para a introdução de novas espécies na aquicultura. Ainda, considerando o fato de que a proteína e a energia são necessárias para o funcionamento do organismo e o crescimento dos animais, além de que suas vias metabólicas são inter-relacionadas, a determinação da exigência em proteína, energia e da relação energia:proteína torna-se prioridade para o desenvolvimento de estudos em nutrição para novas espécies (DENG et al., 2011; GIRI et al., 2011; OZÓRIO et al., 2009; SÁ; FRACALLOSSI, 2002).

A proteína é o principal componente das rações de peixes, em especial aos ictiófagos, por ser exigida em grandes quantidades como fonte de aminoácidos, e,

também, pelo seu alto custo (AZEVEDO et al., 2002; COWEY, 1992; DENG et al., 2011; HASSANI et al., 2011; KIM; LEE, 2005; OZÓRIO et al., 2009; TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006). Por sua vez, todos os peixes, os ictiófagos em particular, utilizam a proteína como fonte energética (PERES; OLIVA-TELES, 1999). Assim, pesquisadores incorporam lipídios e carboidratos às rações para obter um efeito “poupador” da proteína, destinando-a, principalmente, para construção de tecidos (HILLESTAD; JOHNSEN; ÅSGÅRD, 2001; LEE; PUTNAM, 1973; MEDALE; BLANC; KAUSHIK, 1991; NANKERVIS; MATTHEWS; APPLEFORD, 2000; OGINO; CHIOU; TAKEUCHI, 1976; REGOST et al., 2001). Portanto, a adequada relação energia:proteína permite que uma ração possa conter adequados níveis de proteína – para atender a exigência em aminoácidos – e, ao mesmo tempo, a energia necessária para o crescimento e desenvolvimento dos peixes, sem influenciar no consumo alimentar, visto que rações com alto teor de energia inibem a ingestão voluntária de rações pelos peixes (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000; LEE; PUTNAM, 1973; LEE; CHO; KIM, 2000; SÁ; FRACALOSSI, 2002).

A principal fonte proteica em rações para peixes ictiófagos é a farinha de peixe que, embora tenha um alto valor nutricional, é um ingrediente não sustentável e caro (ZHOU et al., 2004; WANG et al., 2010). Busca-se, assim, o uso de ingredientes alternativos e sustentáveis nestas rações. A avaliação dos ingredientes é importante para as pesquisas e desenvolvimento das espécies em aquicultura. A avaliação deve incluir informação de digestibilidade e palatabilidade dos ingredientes, utilização dos nutrientes e interação entre eles (GLENCROSS; BOOTH; ALLAN, 2007).

Visto que as exigências podem variar principalmente de acordo com o hábito alimentar, entre espécies e com a fase de criação dentro de cada espécie (COTAN et al., 2006), o conhecimento das exigências nutricionais das espécies de peixes é pré-requisito para a formulação e desenvolvimento de rações adequadas (DE SILVA et al., 2002). Com isso, os nutricionistas de peixes estão sendo desafiados a formular rações que não só atendam as exigências nutricionais, mas também que minimizem os custos de produção, o impacto ambiental e, ainda, que melhorem a qualidade do pescado produzido em confinamento, ou seja, que garantam a sustentabilidade na atividade (MCGOOGAN; GATLIN III, 2000; TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006).

Em suma, sabendo que a retenção de proteína depende de fatores como a digestibilidade, conteúdo de proteína, balanço de aminoácidos e relação energia:proteína (THOMAN; DAVIS; ARNOLD, 1999), o objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de digestibilidade aparente de ingredientes de origem vegetal e animal e, com os valores digestíveis dos ingredientes, elaborar rações utilizadas para determinar as exigências em proteína digestível, energia digestível e relação energia:proteína para juvenis de cachara *Pseudoplatystoma fasciatum*, uma espécie nativa com grande potencial para criação intensiva.

Finalmente, cumpre destacar que o domínio das técnicas para criação intensiva dos surubins vai favorecer a agroindústria ligada à piscicultura intensiva destas espécies não só no Brasil. Pesquisadores norte-americanos exaltam as qualidades dos surubins, utilizando como *marketing* para a comercialização destes peixes o apelo ecológico de preservação da Amazônia, cuidando inclusive de dominar a técnica de reprodução induzida das espécies do gênero (DABROWSKI et al., 2008). Isto representa mais um motivo para que os pesquisadores brasileiros valorizem mais as espécies nativas, desenvolvendo pesquisas que viabilizem a atividade comercial. Muito ainda deve ser feito para a consolidação das práticas de criação de surubins no Brasil e um trabalho desta natureza é uma contribuição bem vinda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Posição sistemática, comportamento alimentar e nutrição dos surubins

A palavra *Pseudoplatystoma* tem origem grega, em que “pseudes” significa falso, “platys” significa plano e “stoma”, boca. O gênero *Pseudoplatystoma* pertence à classe Actinopterygii (peixes com raios nas nadadeiras), ordem dos Siluriformes (bagres) e família Pimelodidae (longos barbilhões) (BRITSKI; SILIMON; LOPES, 2007; CAMPOS, 2010). Os peixes desse gênero são conhecidos popularmente como surubins.

Os surubins são bagres de corpo alongado, cabeça achatada, com três pares de barbilhões e acúleo nos primeiros raios das nadadeiras dorsal e peitoral (BRITSKI; SATO; ROSA, 1988). Cientificamente, os surubins são divididos em várias espécies de acordo com a variação geográfica, a qual interfere na morfologia e coloração. Oito espécies foram descritas: *Pseudoplatystoma corruscans* (SPIX; AGASSIZ¹, 1829 apud BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007), *P. fasciatum* (LINNEUS, 1766² apud BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007), *P. tigrinum* (CUVIER; VALENCIENNES, 1840³ apud BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007), *P. reticulatum* (EIGENMANN; EIGENMANN, 1889⁴ apud BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007), *P. punctifer* (CASTELNAU, 1855⁵ apud BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007), *P. orinicoense* n. sp., *P. metaense* n. sp. e *P. magdaleniatum* n. sp. (BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007).

No Brasil, as espécies mais encontradas são *P. corruscans* e *P. fasciatum*, na Bacia do Paraná e *P. reticulatum* e *P. punctifer*, na Bacia Amazônica. O *P. corruscans* é chamado de surubim pintado; possui manchas escuras arredondadas

¹ SPIX, J.B. von; AGASSIZ, L. **Selecta Genera et Species Piscium Quos in Itinere per Brasiliam Annos MDCCCXVII– MDCCCXX Jussu et Auspiciis Maximiliani Josephi I....**Colleget et Pingendso Curavit Dr. J. B. SPIX.....Monachii, 1829, 82 p.

² LINNAEUS, C. **Systema Naturae Sive Regna Tria Natuare, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, Cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis.** 12th ed., vol. 1, pt. 1. Laurentii Salvii, Holmiae, 1766, 532 p.

³ CUVIER, G.; VALENCIENNES, A. **Histoire Naturelle des Poissons.** Tome Quinzième. Suite du Livre Dix-septième. Siluroïdes. Ch. Pitois, Paris, p. 421–455, 1840.

⁴ EIGENMANN, C.H.; EIGENMANN, R.S. Preliminary notes on South American Nematognathi II. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, Califórnia, v. 2, p. 28–56, 1889.

⁵ CASTELNAU, F.L. Poissons. In: **Animaux Nouveaux or Rares Recueillis Pendant l'Expédition dans les Parties Centrales de l'Amérique du Sud de Rio de Janeiro a Lima, et de Lima au Para,** Exécutée par ordre du Gouvernement Français Pendant les Années 1843 a 1847, Paris, 1855, 50 p.

pelo corpo, as chamadas “pintas” e é um peixe de grande porte, alcançando 100 kg de peso. O *P. fasciatum* é conhecido popularmente por surubim cachara. Possui cor acinzentada brilhante com listas verticais no corpo e possui um porte um pouco menor – 20 kg. Com um porte intermediário, o *P. reticulatum* alcança um peso de 50 kg e é conhecido por caparari, pirambucu ou surubim da Amazônia; possui manchas pretas e irregulares no corpo e muitos pontos na nadadeira caudal. O *P. punctifer* é amplamente distribuído na região Nordeste e é reconhecido pela pigmentação escura na região dorso lateral do corpo, se estendendo na direção da linha lateral. Possui manchas na região dorsal da cabeça e, nas nadadeiras, apresentam poucos pontos (ARAGÃO; BARROS; FRAGA 2008⁶; BRITSKI; SILIMON; LOPES, 2007; CAMPOS, 2010; BUITRAGO-SUÁREZ; BURR, 2007).

Os órgãos dos sentidos como paladar, audição, visão, detecção de vibração e eletro recepção são importantes para comunicação, principalmente, porque estes bagres são ativos à noite e vivem em locais de baixa visibilidade. O sistema sensorial participa do comportamento alimentar, com a detecção do alimento e captura. O olfato, por exemplo, é importante tanto na reação de alarme para a fuga de outros predadores quanto para a percepção de presas (GIAQUINTO; HOFFMANN, 2010).

As características anatômicas também estão relacionadas com o hábito alimentar. O surubim é um peixe basicamente piscívoro, um predador ativo e voraz (FREITAS; VOLPATO, 2008). Com isso, apresenta características anatômicas de peixes que se alimentam de peixes, como a cavidade bucofaringiana extensa para a apreensão da presa inteira, apresenta áreas dentígeras no palato e na posição faringiana, bem como rastros branquiais pouco numerosos e pontiagudos para prender e sacrificar a presa (RODRIGUES; MENIN, 2006). O estômago é bem definido com parede espessa, enquanto que o intestino é curto (LUNDSTEDT; MELO; MORAES, 2004). A organização da mucosa intestinal do pintado indica que a digestão e absorção se concentram no intestino médio, característico dos peixes ictiófagos. Entretanto, considerando a organização histológica, há evidências de que

⁶ ARAGÃO, D. G.; BARROS, M. C.; FRAGA, E.C. Caracterização genética de *Pseudoplatystoma cf. punctifer* de bacias da região nordeste, Brasil baseado em sequências do DNA mitocondrial. In: 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 2008, Salvador – BA. **Resumos...** Salvador – BA, 2008, p. 86.

o pintado possua flexibilidade alimentar de acordo com a dieta, apresentando característica comum aos siluriformes onívoros (RODRIGUES et al., 2009). A flexibilidade alimentar origina-se da constatação de que o perfil metabólico de uma espécie é reflexo da dieta. Por exemplo, o pintado é capaz de consumir amido de milho, pois a atividade da enzima amilase é ajustada à presença e quantidade de amido, mas o aproveitamento é limitado. Por isso, é necessário o balanço exato entre energia e proteína para a otimização da utilização da dieta pelo peixe e, conseqüentemente, para evitar perdas econômicas (LUNDSTEDT; MELO; MORAES, 2004).

Apesar da importância econômica dos surubins, as rações comerciais fornecidas a esses animais criados em confinamento são usualmente não específicas. No entanto, para o melhor desempenho com menor custo e com menor emissão de poluentes, sabe-se que é indicado fornecer aos peixes dietas espécie-específicas e, ainda, para cada fase de criação. Entretanto, não há muitos dados sobre as exigências nutricionais para surubins, sendo que a linha de pesquisa mais desenvolvida é com lipídios (MARTINO et al., 2002a, 2002b, 2003, 2005).

O conteúdo de lipídio da dieta é importante para otimização da eficiência alimentar dos surubins, como constatado em um estudo em que dietas com 46% de PB, mas contendo níveis de lipídios de 6%, 10%, 14% e 18% foram fornecidas para alevinos de pintado e os peixes que tiveram o melhor desempenho foram aqueles que receberam a dieta com o maior nível de lipídios – 18% (MARTINO et al., 2002a). Após a determinação do nível mínimo de inclusão de lipídios, os mesmos pesquisadores analisaram efeitos de diferentes fontes dietéticas de lipídios – gordura de suíno, óleo de milho, óleo de soja e óleo de linhaça – para alevinos de pintado utilizando quatro dietas isonitrogenadas (46% PB) e isolipídicas (18,5%), e verificaram que todas as fontes foram bem metabolizadas e que é possível melhorar a relação entre ácidos graxos ω -3 e ω -6 na carne do peixe ao manipular a composição lipídica das dietas (MARTINO et al., 2002b).

Tanamati et al. (2009) também constataram que a composição em ácidos graxos da carcaça dos surubins é fortemente influenciada pelo ambiente e dieta. Os autores compararam a composição dos ácidos graxos no tecido muscular de linhagens selvagens de pintado com animais criados em confinamento alimentados dietas comerciais. O conteúdo de lipídios no músculo do pescado oriundo da piscicultura foi 8,9%, enquanto que no músculo do pescado capturado foi 2,5%. A

concentração de ácidos graxos da série ω -3 foi maior no pintado selvagem – 224,9 mg g⁻¹ de filé – enquanto que o filé do peixe confinado continha 129,8 mg g⁻¹. Já a relação de ω -6: ω 3, para o pintado selvagem foi de 1,0 e para o confinado foi 7,3.

Trabalhando com dietas semi-purificadas com diferentes fontes de ácidos graxos (linhaça e óleo de oliva; óleo de fígado de peixe e lecitina de soja) na nutrição do pintado, Arslan et al. (2008) concluíram que a eficiência em alongar e dessaturar ácidos graxos com 18 carbonos também depende das fontes de lipídio da dieta e que o cachara é capaz de transformar ácido linoleico em ácido araquidônico. Nesta mesma linha de investigação, Noffs et al. (2009) estudaram a substituição do óleo de peixe pela banha de porco e óleo de soja na mesma proporção na dieta de juvenis de surubim (*Pseudoplatystoma* sp.) e relataram a capacidade de alongamento e dessaturação de ácidos graxos pela espécie, bem como a importância das funções bioquímicas no desenvolvimento do sistema neural dos peixes.

Martino et al. (2003) compararam a inclusão de óleo de fígado líquido e a de gordura de suíno em uma dieta contendo 19% de lipídio bruto e 46,5% de PB para alevinos de pintado e relataram que essas fontes possuem um valor nutritivo adequado para a espécie e que é possível aumentar a proporção de ω -3 em relação ao ω -6 nas dietas do surubim sem perdas no desempenho. Ainda com o objetivo de utilizar nutrientes alternativos à proteína como fontes de energia dietética, Martino et al. (2005) alimentaram juvenis de pintado com dietas contendo 47% de PB, cinco níveis de lipídios (19; 21; 23; 25 e 27%) e cinco níveis carboidratos (17,8; 15,5; 15,8; 12,5 e 11%) e, avaliando dados de desempenho produtivo e composição da carcaça, os autores concluíram que aumentando os níveis de lipídios da dieta não só não estimulou o crescimento ou teve efeito “poupador” de proteína, como também induziu aumento de gordura visceral no pintado.

Em estudo preliminar e com resultados inconclusivos, Machado (1999) estudaram efeitos dos níveis de proteína bruta (30, 36, 42, 48%) e energia digestível (3500 e 4000 kcal kg⁻¹) nas dietas no desempenho produtivo de juvenis de pintado (25,12 g) aos 45 e 90 dias, e concluíram que a melhor relação para o ganho de peso e eficiência de utilização de proteína para juvenis de pintado foi de 75,45 mg de PB por kcal de ED – 30% de PB e 4000 kcal kg⁻¹ de ED, e que a relação ED:PB ideal para a espécie varia de acordo com o nível energético. Em outro experimento também de abrangência limitada, testando três diferentes relações de energia e proteína – 35% PB e 3779,81 kcal kg⁻¹, 40% PB e 3781,79 kcal kg⁻¹ e 45% PB e

3903,5 kcal kg⁻¹ – no desempenho produtivo de juvenis de pintado, Zanardi, Boquembo e Koberstein (2008) inferiam que pintados alimentados com os níveis de 40% PB e 3781,79 kcal kg⁻¹ (i.e., relação EB:PB = 9,54 kcal g⁻¹) apresentam melhor desempenho.

Com o objetivo de desenvolver rações de mínimo custo, considerável esforço de pesquisa tem sido feito para identificar alimentos alternativos para a formulação de rações para os surubins. Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA;%) da proteína e energia dos ingredientes determinados para o pintado por Gonçalves e Carneiro (2003) foram, respectivamente: farinhas de peixe – 84,14 e 72,80; farelo de soja – 67,10 e 61,66; milho – 64,18 e 64,95; farinha de vísceras de aves – 61,59 e 48,98; soja tostada – 49,48 e 57,39; farelo de trigo – 49,47 e 53,20; sorgo – 44,87 e 48,35; farelo de arroz – 44,21 e 51,84; quirera de arroz – 43,24 e 47,34; farinha de penas – 39,56 e 45,55; soja crua – 26,84 e 45,55; e farinha de sangue – 10,47 e 16,08. O CDA (%) da proteína e energia dos ingredientes energéticos, fubá de milho, sorgo, farelo de arroz integral e quirera de arroz, determinados para o surubim por Teixeira et al. (2010) são, respectivamente: 87,4; 83,8; 85,3; e 81,1%; e 62,4; 66,4; 46,9 e 47,8%. Ainda, com o objetivo de verificar a real possibilidade de incluir alimentos alternativos nas dietas para o surubim, Bicudo et al. (2012) estudaram a substituição da farinha de peixe por glúten de milho em níveis de 0; 6; 12; 18; 24; 30; 36 e 42% em dietas para o cachara e concluíram que a inclusão de 10-15% do ingrediente é benéfica, porém causam pigmentação amarelada indesejável para a comercialização do filé. Determinados o valor biológico e a digestibilidade dos ingredientes, os níveis de inclusão definidos nas dietas vão depender, também, dos limites determinados pela qualidade do pescado resultante das práticas alimentares a partir de dietas formuladas e processadas com estes ingredientes.

Ainda em relação à determinação das exigências nutricionais dos surubins, aparentemente, o ácido ascórbico (ou vitamina C) é o único micronutriente cujas exigências nutricionais foram até então avaliadas para os surubins. A inclusão de ascorbil polifosfato (0, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 mg kg⁻¹ de dieta) como fonte de vitamina C foi estudada para alevinos de pintado por Fujimoto e Carneiro (2001), que concluíram que o nível de 500 mg kg⁻¹ foi suficiente para prevenir a ocorrência de deformidades e infestações parasitárias.

De qualquer forma, várias linhas de pesquisa têm sido desenvolvidas na área de fisiologia e comportamento dos peixes para, em consonância com os resultados

da pesquisa sobre exigências nutricionais, aprimorar as técnicas de manejo alimentar e reprodutivo e viabilizar a criação de surubins em sistemas intensivos. Por exemplo, comparando o sistema intensivo de produção de juvenis de pintado em tanques-rede com o sistema semi-intensivo em viveiros escavados, Scorvo Filho et al. (2008) relataram que o melhor desempenho produtivo foi obtido em viveiros escavados. Porém, quando os custos de produção foram considerados, Liranço, Romagosa e Scorvo-Filho (2011) registraram que embora os peixes criados em tanques-rede tenham apresentado índice de crescimento semelhante àquele dos peixes criados em viveiros, o melhor desenvolvimento apresentado por estes últimos é refletido na vantagem econômica deste sistema de produção.

Com relação à reprodução, sabe-se que a biologia reprodutiva dos surubins é característica dos peixes migradores. Ou seja, a desova é total e são necessários estímulos externos para a indução da desova. Para o aperfeiçoamento da técnica de reprodução induzida, o processo de desenvolvimento gonadal do pintado foi descrito por Crepaldi et al. (2006). Os machos apresentam a primeira maturação no segundo ano de vida e a fêmea no terceiro, sendo que quando cultivados é possível antecipar em um ano a maturação. Tratando-se de reprodução induzida, em escala comercial são administrados hormônios gonadotróficos e hipofisários como forma de estimular a desova artificialmente. A produção de óvulos corresponde a 10% do peso bruto da fêmea; sendo que o índice de sucesso da reprodução pode chegar a 90% e a sobrevivência das larvas de 85 a 95% (INOUE; CECCARELLI; SENHORINI, 2003).

A larvicultura e o treinamento alimentar são etapas limitantes na produção de surubins (DEL-GUERRA et al., 2007). Estes peixes são muito vorazes e em condições de criação apresentam alta taxa de canibalismo. Para evitar esse comportamento as larvas necessitam de arraçoamento contínuo logo após a eclosão. Outra ferramenta que pode ser utilizada para evitar o canibalismo é a adequação da densidade de estocagem, já que larvas de pintado criadas em alta concentração apresentam não somente pior desempenho como também menor taxa de sobrevivência (ANDRADE et al., 2004). No entanto, o aumento da densidade de estocagem aumenta a biomassa final quando se trabalha com juvenis de peso médio ao redor de 50 g (TURRA et al., 2009).

A qualidade do alimento também influencia o comportamento das larvas. As melhores taxas de sobrevivência na fase inicial para o cachara foram obtidas por Nuzes et al. (2008) com a alimentação no escuro à base de náuplios de artêmia.

Para a produção de juvenis a etapa primordial é o treinamento alimentar, que consiste na transição gradativa dos alimentos fornecidos aos peixes, de alimento vivo para ração seca. Com isso, os animais são acondicionados ao ambiente de confinamento em criação intensiva e à alimentação com dietas comerciais (CAMPOS, 2010).

Boas condições de qualidade de água e sanitárias também são requisitos para a criação de surubins. Embora o pintado e o cachara possam sobreviver a concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 1 mg L^{-1} , podem resistir por poucas horas a temperaturas de 11°C em tanques abertos; além disso a temperatura de conforto para os surubins está próxima aos 28°C . (LOVSHIN; CYRINO, 1998; CAMPOS, 2010). A oscilação diária de temperatura, e temperaturas entre 12 e 20°C favorecem a vulnerabilidade à doenças, como ictiofitiríase, trichodiniase, columnariose. Considerando ainda o aspecto sanitário, com alcalinidade abaixo de 20 mg L^{-1} os peixes podem apresentar sinais de deficiências em cálcio e a incidência intensa de luz pode causar mortes e lesões inflamatórias (INOUE; CECCARELLI; SENHORINI, 2003).

2.2 Digestibilidade em peixes ictiófagos

Peixes possuem hábitos alimentares espécie-específicos, com o trato digestório adaptado ao longo do tempo aos diferentes tipos de ingesta (KAPOOR; SMIT; VERIGHINA, 1975). Portanto, as diferentes espécies aproveitam os alimentos de forma diferente. Uma parte dos alimentos ingeridos é aproveitada como fonte de nutrientes e energia, ou seja, só uma parte é digestível ou disponível, e a parte não absorvida é liberada na água (BUREAU; KAUSHIK; CHO, 2002).

Os peixes ictiófagos se alimentam de presas vivas, intrinsecamente ricas em proteína e, por isso, desenvolveram um sistema eficiente de obtenção de energia e nutrientes a partir de proteínas. Como consequência, desenvolveram estômago espesso com grande capacidade de distensão e o intestino mais curto, quando comparado às espécies planctófagas, mas dotado de um órgão acessório complementar para digestão e absorção, os cecos pilóricos (KAPOOR; SMIT; VERIGHINA, 1975; SMITH, 1980). O hábito alimentar influencia, ainda, a atividade e a quantidade das enzimas digestivas. Por isso, os peixes ictiófagos apresentam

menor quantidade de amilase no trato digestório em comparação aos onívoros e herbívoros, tendo assim uma capacidade limitada no aproveitamento de carboidratos (HIDALGO; UREA; SANZ, 1999; LALL; TIBBETTS, 2009; SMITH, 1980). Assim sendo, o conhecimento da digestibilidade dos alimentos é importante para formulações de dietas balanceadas de mínimo custo e com baixo impacto ambiental, uma vez que permite fornecer aos peixes confinados dietas formuladas com ingredientes que serão digeridos, assimilados e aproveitados para o ganho de peso, diminuindo a liberação de poluentes na água (SILVA et al., 2005).

A determinação da digestibilidade de dietas e ingredientes depende da coleta e análise química das fezes produzidas pelos animais. Diversas metodologias foram desenvolvidas para coleta de fezes para determinação da digestibilidade em peixes. No método indireto os peixes consomem os alimentos voluntariamente e não é necessário o controle da quantidade das fezes. No método direto a determinação da digestibilidade é feita com a utilização dos dados da quantidade de ingesta e fezes dos peixes (NRC, 2011). O controle de ingestão de alimento e, principalmente, das fezes dos peixes é difícil em função do seu habitat. Portanto, o método indireto é o mais difundido. A metodologia consiste na alimentação dos peixes com uma dieta contendo uma concentração conhecida de um indicador, e a digestibilidade é calculada a partir da determinação da concentração relativa do indicador nas fezes. O método indireto tem a vantagem de não sacrificar os peixes e diminuir o erro experimental, uma vez que permite utilizar um grande número de peixes por repetição, ou seja, reduz o efeito do indivíduo sobre o resultado (AUSTRENG, 1978).

O indicador mais utilizado e eficiente é o óxido de cromo (ALLAN et al., 1999; ABIMORAD; CARNEIRO, 2004; BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009; FURUYA et al., 2001, GONÇALVES; CARNEIRO, 2003; PEZZATO et al., 2002a, b; SHAHAT, 1993). No entanto, não existe padrão na literatura que fixe a quantidade de óxido de cromo ideal para os ensaios de digestibilidade. Estudos preconizam diferentes níveis do indicador, tais como: 0,1% (BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009; GONÇALVES et al., 2004); 0,5% (ABIMORAD; CARNEIRO, 2004, GONÇALVES; CARNEIRO, 2003; RAMSAY et al., 2000; ZHOU et al., 2004); 0,7% (ANDERSON et al., 1992) e 1% (AUSTRENG, 1978). Subentende-se que, sendo inerte, o indicador não tenha influência na fisiologia digestória. Entretanto, alguns autores atribuem ao movimento irregular do óxido de cromo no trato digestório dos peixes as diferenças entre resultados obtidos por metodologias diferentes (RAMSAY et al., 2000). Em estudo

realizado com a dourada *Sparus aurata* utilizando níveis de 0, 5, 10 e 20 g kg⁻¹ de óxido de cromo, nenhum efeito do nível de indicador dietético foi detectado na digestibilidade, exceto para os sais minerais. Assim, os autores (FERNANDEZ et al., 1999) sugerem que se mantenha a utilização do óxido cromo como um indicador neutro. Resultados de um estudo (BREMER NETO et al., 2003) em que se objetivou determinar o nível ideal de óxido de cromo III (0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,1 e 0,2%) utilizado como um indicador inerte na determinação da digestibilidade de dietas para o piauçu *Leporinus macrocephalus* recomendam a redução o nível de inclusão do marcador na dieta para 0,01%, com benefícios em termos de economia e facilidade na análise.

A digestibilidade calculada pelos métodos indiretos e diretos é aparente, uma vez que não considera a contribuição do material de origem endógena e metabólica (NRC, 2011), que é muito pequena em peixes com alto consumo alimentar (BUREAU; KAUSHIK; CHO, 2002). Métodos de coleta de fezes já estudados e utilizados, e.g. a dissecação para a retirada de fezes em diferentes partes do trato digestório, a extrusão do conteúdo fecal (ABIMORAD; CARNEIRO, 2004; ALLAN et al., 1999; HEMRE et al., 2003) e, ainda, o uso de câmaras metabólicas (SMITH, 1971), são metodologias que estressam os peixes e são de difícil execução. No sistema de “Guelph”, adaptado e hoje utilizado em todo o mundo, os peixes são mantidos em aquários (cônicos) com fluxo contínuo superficial de água, permitindo que as fezes se depositem no fundo de um recipiente removível, a partir do qual são coletadas (PEZZATO et al., 2004).

A determinação dos coeficientes de digestibilidade é uma ferramenta que possibilita a inclusão de ingredientes alternativos na formulação de rações para peixes. Usualmente, dietas comerciais balanceadas para ter níveis adequados de proteína digestível são formuladas à base de farinha de peixe. A farinha de peixe é a principal fonte de proteína para os peixes ictiófagos porque possui excelente palatabilidade, digestibilidade e biodisponibilidade de aminoácidos essenciais, além de quantidade adequada de ácidos graxos essenciais, vitaminas e minerais (ZHOU et al., 2004; WANG et al., 2010). Sorensen et al. (2002) demonstraram ainda que o processamento da farinha de peixe por extrusão não afeta o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína, de aminoácidos e da energia do ingrediente.

Entretanto, o aumento da demanda e consequente elevação do preço da farinha de peixe encorajaram estudos sobre sua substituição por ingredientes

alternativos (Al et al., 2006; QUARTARARO; ALLAN; BELL, 1998; SITJÀ-BOBADILLA et al., 2005), tornando necessário o conhecimento da digestibilidade destes alimentos, em especial das fontes proteicas de origem vegetal que podem, ainda, conter fatores antinutricionais e baixos conteúdos de aminoácidos exigidos pelos peixes. Desta forma, a substituição parcial ou total da farinha de peixe pela fonte alternativa de proteína de soja em dietas para peixes pode exigir a suplementação de aminoácidos, processamento adicional (e.g. tostagem para desativar os fatores antinutricionais), suplementação de minerais ou a adição de enzimas digestivas exógenas nas dietas (KAUSHIK et al., 1995; SITJÀ-BOBADILLA et al., 2005; Al et al., 2006; LIM; LEE, 2009). Em relação à determinação do CDA de ingredientes tradicionais ou alternativos para espécies ictiófagas neotropicais, destacam-se os relatos de Gonçalves e Carneiro (2003), que determinaram a digestibilidade da farinha de peixe, do farelo de soja, do farelo de arroz, da farinha de coco, do milho moído e da farinha de vísceras de aves para alevinos de pintado e, mais recentemente, de Borghesi, Dairiki e Cyrino (2009), que determinaram a digestibilidade da farinha de peixe, do farelo de soja, da farinha de vísceras e do glúten de milho para o dourado.

A determinação da digestibilidade é utilizada como ferramenta adicional para determinar a produção de resíduos, principalmente o fósforo e o nitrogênio, das operações de piscicultura (BUREAU; CHO, 1999; GREEN; HARDY; BRANNON, 2002). Com este propósito, Sugiura et al. (1998), por exemplo, determinaram a digestibilidade da proteína e disponibilidade dos minerais das farinhas de arenque, menhaden (*Brevoortia tyrannus*) e anchova (*Pomatomus saltator*), farinha de peixe branca sem osso, farinha de vísceras de aves, farinha de penas, farelo de soja, farelo de glúten de milho, farelo de glúten de trigo, trigoilho e farinha de trigo para salmão Coho (*Oncorhynchus kisutch*) e para a truta arco-íris, encontrando diferenças na digestibilidade e disponibilidade dos nutrientes dos ingredientes entre as duas espécies. No entanto, para ambas espécies os autores concluíram que a diminuição dos efluentes em aquicultura requer a redução do conteúdo de nutrientes nas dietas para o nível mínimo exigido. Em suma, a digestibilidade de fontes alternativas de proteína e seu uso em substituição à farinha de peixe para peixes ictiófagos é uma importante ferramenta para permitir os nutricionistas formularem dietas balanceadas para o melhor desempenho, menor custo e redução da eliminação de excretas poluentes para a água.

2.3 Proteína na dieta dos peixes

Proteína é a macromolécula biológica mais abundante, ocorrendo em todas as células e em todas as partes das células. Proteínas são moléculas essenciais para o metabolismo dos organismos vivos, possuindo diversas propriedades e funções, tais como: função enzimática, imunológica, hormonal, estrutural, coagulante, nutritiva, transportadora de substâncias específicas dentro ou fora das células, etc. Podem ainda apresentar diversos tamanhos, de pequenos peptídeos a enormes polímeros com grandes pesos moleculares (NELSON; COX, 2005).

A proteína representa cerca de 70% do total do peso dos peixes com base na matéria-seca, o constituinte principal dos tecidos estruturais e de proteção (ossos, ligamentos, escamas e pele), tecidos moles (órgãos e músculos) e fluídos corporais (LALL; ANDERSON, 2005). Os peixes consomem proteína para obter os aminoácidos. Neste processo a proteína é, então, hidrolisada, resultando em aminoácidos livres, os quais são absorvidos no intestino e distribuídos pelo sangue para os órgãos e tecidos. O consumo de proteína e aminoácido é necessário porque os aminoácidos são usados continuamente pelos peixes para formar novas proteínas, para o crescimento e reprodução, ou para repor as proteínas existentes, ou seja, para a manutenção (LALL; ANDERSON, 2005; WILSON, 2002).

Os peixes exigem uma quantidade exata de aminoácidos para desempenhar as funções de crescimento. A proteína, ou combinação de proteínas dietéticas, deve apresentar todos os 20 aminoácidos em quantidades específicas para atender as exigências de manutenção e produção, minimizando os resíduos nitrogenados. Os peixes não conseguem sintetizar ou sintetizam em quantidades insuficientes para as funções vitais dez aminoácidos, portanto estes aminoácidos, denominados essenciais ou indispensáveis, devem ser incorporados às dietas. São eles: arginina, histidina, lisina, treonina, triptofano, metionina, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina. Os outros aminoácidos são classificados como não essenciais porque os peixes podem sintetizá-los em uma taxa que satisfaz a demanda celular para a síntese proteica (JOBLING, 2001). Os peixes necessitam dos aminoácidos essenciais nas proporções similares às de sua composição corporal. Sendo assim, a farinha de peixe feita com peixes inteiros tem o perfil de aminoácido essencial

semelhante às exigências dos peixes (HARDY, 2001). Entretanto, como a formulação das dietas é composta de vários ingredientes e as exigências são influenciadas por diversos fatores, é necessário conhecer as exigências específicas das várias espécies de peixes.

Normalmente, o aumento da proteína na dieta dos peixes, principalmente ictiófagos, aumenta a produção, mas também os custos (KIM; LEE, 2005). Satisfazer a necessidade de proteína dietética com boa relação custo-benefício é uma grande preocupação para a formulação de rações (TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006). O nível de proteína na dieta é de fundamental importância, pois influencia significativamente o crescimento, sobrevivência e produção de peixes, bem como a economia de uma indústria agrícola, pois o maior custo da atividade é atribuído à alimentação (AZEVEDO et al., 2002; COWEY, 1992; DENG et al., 2011; HASSANI et al., 2011; KIM; LEE, 2005; SIDDIQUI; KHAN, 2009; TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006). Por exemplo, a administração de dieta com baixo nível de proteína para truta arco-íris causou diminuição significativa na disponibilidade de precursores proteicos, e, portanto, diminuição do peso corporal, músculo branco e fígado (PERAGÓN et al., 1994).

A quantidade, bem como a qualidade da proteína dietética também é determinante para o melhor nível de utilização da proteína pelos peixes e, assim, para o melhor desempenho (GIRI et al., 2011). Por sua vez, a qualidade depende da palatabilidade, da composição em aminoácidos e sua digestibilidade (WEBSTER et al., 1995). Por isso, em geral, as proteínas de origem animal são mais digestíveis do que as de fontes vegetais (TACON, 1987a). Portanto, quando uma nova espécie de peixe é considerada para aquicultura, os estudos sobre as exigências em proteína devem ser os primeiros a serem planejados e conduzidos (DENG et al., 2011; GIRI et al., 2011).

As consequências da deficiência em aminoácidos, mesmo que não levem a morte, são redução da taxa de crescimento e piora da conversão alimentar (HARDY, 2001). Se por outro lado o consumo de proteínas for excessivo, uma parte será usada para compor novas proteínas e o restante será convertido em energia (LALL; ANDERSON, 2005; WILSON, 2002). Por isso as exigências em proteína são normalmente estimadas para o máximo crescimento. Por sua vez, o crescimento é caracterizado pela deposição de proteínas, um processo altamente complexo e integrado, que implica em várias interações entre os mecanismos envolvidos, como

o metabolismo dos aminoácidos, o fluxo de aminoácidos entre os órgãos, o *turnover* da proteína, o crescimento do músculo esquelético etc. A compreensão dos mecanismos que influenciam as perdas oxidativas dos aminoácidos é escassa (ENCARNAÇÃO et al., 2004; KAUSHIK; SEILIEZ, 2010). Em adição, os fatores que afetam as exigências também devem ser considerados. Além da qualidade e quantidade da proteína da dieta, destaca-se a concentração de energia da dieta. Como ocorre com os outros animais, o ótimo nível de proteína da dieta depende do balanço entre energia e proteína dietéticas e da quantidade de fontes de energia não proteicas.

Fatores como idade e tamanho dos peixes também afetam a exigência em proteína dietética; geralmente a exigência diminui com o aumento da idade e tamanho (SIDDIQUI; KHAN, 2009). Em um estudo com truta, PERAGÓN et al. (2001) comprovaram que a taxa de crescimento, o consumo alimentar relativo, a eficiência alimentar e a taxa de eficiência proteica também diminuem significativamente com a idade e peso e apesar dos conteúdos de RNA e DNA absolutos aumentarem com a idade, suas concentrações relativas diminuíram. Portanto, as maiores taxas de *turnover* de proteína e taxa de eficiência de retenção proteica em truta ocorrem durante os primeiros estádios de desenvolvimento – alevino e juvenil. Na maioria dos vertebrados, a exigência em proteína dietética é inversamente correlacionada com a idade. No entanto, como os peixes crescem linearmente, a exigência em proteína continua relativamente alta independentemente da fase da vida. Exigências em proteína para peixes ósseos em crescimento correspondem de 20 a 55% do total da dieta (TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006).

As exigências em proteína variam ainda com a espécie e a temperatura do ambiente de criação. Por isso, é importante conduzir experimentos para estimar as exigências em proteína dietética e o nível de inclusão nas formulações de rações para espécies candidatas em temperaturas ambientais médias normais (FARHAT; KHAN, 2011). A temperatura da água não influencia diretamente a exigência em proteína pelos peixes. O que ocorre, geralmente, é o aumento do consumo alimentar e as taxas de crescimento com o aumento da temperatura (dentro da zona de conforto) (CHO, 1992). Com isso, a exigência nutricional aumenta com o aumento da temperatura (DANIELS; ROBINSON, 1986). Em um estudo com barramundi, *Lates calcarifer*, foi mostrado que a perda endógena de energia e de proteína variou de

acordo com a classe de tamanho e temperatura, sendo um dos principais problemas nutricionais associados com estresse térmico em peixes (GLENCROSS; BERMUDES, 2011). Em truta arco-íris o efeito da temperatura foi demonstrado no crescimento, apetite, eficiência de conversão de proteína bruta e as taxas de *turnover* no fígado, brânquias e músculo branco. O aumento da temperatura de 13 para 24 °C aumentou o desempenho, porém a exposição prolongada ao pico de temperatura foi prejudicial aos peixes, diminuindo o apetite, crescimento e eficiência de conversão alimentar. Isto pode ser atribuído aos peixes estarem próximos à temperatura letal para a espécie e, assim, os nutrientes são direcionados para a manutenção dos processos homeostáticos (REID et al., 1995).

Além da temperatura da água, outros fatores abióticos, como a luz e o oxigênio dissolvido, podem influenciar o consumo alimentar dos peixes. Outros fatores que interferem na exigência dos peixes são o próprio comportamento das espécies e as propriedades organolépticas, granulometria, textura, cor e processamento das dietas (CHO, 1992). Além de se formular uma dieta balanceada para atender as exigências nutricionais dos peixes, é necessário conhecer o efeito do processamento na qualidade da dieta, pois as etapas de moagem, aquecimento, umedecimento, granulação e secagem podem alterar a estabilidade e biodisponibilidade dos nutrientes essenciais (HARDY, 2001) e a qualidade da proteína (TACON, 1987a). Em um trabalho com “red drum” *Sciaenops ocellatus*, Moon e Gatlin III (1994) concluíram que a qualidade da fonte proteica e a temperatura do processamento influenciam o desempenho dos peixes, sendo que o músculo liofilizado em baixa temperatura apresentou melhor qualidade nutricional por manter a qualidade da proteína ao evitar a reação de Maillard.

Conforme o exposto, as exigências em proteína variam muito entre as espécies e dependem de vários fatores. Tabelas mais atualizadas foram recentemente disponibilizadas no NRC (2011). A Tabela 1 lista uma série de trabalhos que corroboram esta afirmativa. O cachara foi adicionado ao rol das espécies candidatas ou próprias para piscicultura muito recentemente. Desta forma, a determinação das exigências em proteína da espécie é uma necessidade atual e premente.

Tabela 1 - Exigência proteica para diversas espécies, com hábito alimentar e tamanho variados

Espécie	Hábito alimentar	Peso inicial (g)	Exigência proteica (%)	Referência
"Bighead carp" <i>Aristichthys nobilis</i>	onívoro	0,0038	30,1 [‡]	SANTIAGO; REYES, 1991
"Sunshine bass" <i>Morone chrysops</i> x <i>M. saxatilis</i>	carnívoro	2,68	40,8 [‡]	BROWN; NEMATIPOUR; GATLIN III, 1992
"Malaysian catfish" <i>Mystus nemurus</i>	carnívoro	25,4	42,0 [¶]	KHAN et al., 1993
"Malaysian catfish" <i>Mystus nemurus</i>	carnívoro	10	44,0 [‡]	NG; SOON; HASHIM, 2001
"Golden shiners" <i>Notemigonus crysoleucas</i>	onívoro	0,2	32,0 [‡]	LOCHMANN; PHILLIPS, 1994
Bagre do canal <i>Ictalurus punctatus</i>	onívoro	27	24,0 [¶]	ROBINSON; LI, 1997
"Murray cod" <i>Maccullochella peelii peelli</i>	carnívoro	21,5	50,0 [¶]	GUNASEKERA et al., 2000
Pacu <i>Piaractus mesopotamicus</i>	onívoro	4,62 e 11,31	26,0 [¶]	FERNANDES; CARNEIRO; SAKOMURA, 2000
Pirarucu <i>Arapaimas gigas</i>	carnívoro	120	49,0 [¶]	ITUASSÚ et al., 2005
Jundiá <i>Rhamdia quelen</i>	onívoro	131,4	50,0 [§]	CAMARGO; POUEY; MARTINS, 2005
Piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i>	onívoro	0,625	34,0 [¶]	FEIDEN et al., 2009
"Bagrid catfish" <i>Horabagrus brachysoma</i>	onívoro	20,2	39,1 [‡]	GIRI et al., 2011

[‡] Valor determinado com base na Matéria Seca

[¶] Valor determinado com base na Matéria Natural

[§] Sem informação

2.4 A energia e as fontes de energia dietética para os peixes

A energia é normalmente expressa em unidades de calor, uma vez que todas as formas de energia são convertíveis em calor. A unidade básica de calor normalmente utilizada é a caloria. Por sua vez, uma caloria é definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius (TACON, 1987a). O metabolismo animal é realizado pela atividade celular, nas quais atuam muitos sistemas enzimáticos para obter energia química pela degradação de nutrientes ricos em energia. As moléculas resultantes deste processo são precursores macromoleculares com as características das próprias células e, assim, sintetizam e degradam moléculas especializadas nas funções celulares, para a renovação celular. Neste processo, chamado de respiração, os animais, seres heterotróficos, utilizam produtos orgânicos do ambiente e oxigênio,

produzindo dióxido de carbono para a atmosfera e água. A habilidade de aproveitar a energia e direcioná-la para o trabalho biológico, como o crescimento e reprodução, é a característica fundamental dos organismos vivos. Lavoisier dizia que “de alguma maneira os animais transformam combustível químico (alimentos) em calor, e que esse processo de respiração é essencial à vida” (NELSON; COX, 2005).

Portanto, a energia não é um nutriente, mas sim um produto da oxidação metabólica de carboidratos, gorduras e aminoácidos (NRC, 2011). Entretanto, a energia gerada no catabolismo desses nutrientes não é utilizada diretamente pelos animais. O que ocorre é que a energia está contida no potencial de transferência do grupo fosforil do ATP (adenosina tri-fosfato) e o potencial redutor do NADH^7 , NADPH^8 e FADH_2^9 (NELSON; COX, 2005). O ATP é a principal força motriz da energia necessária para os processos bioquímicos vitais. Por exemplo, a energia para a contração muscular é fornecida pela clivagem de ATP em adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico (TACON, 1987a). Para a síntese proteica também é necessário uma fonte energética como o ATP ou GTP (guanosina trifosfato), além do balanço de aminoácidos como substrato (DEAN; GARLING JR; NIELSEN, 1986).

O entendimento do metabolismo energético depende da compreensão da partição da energia produzida. A energia dos alimentos ingeridos é dividida em muitos componentes no corpo do animal. Existem muitas rotas de perda de energia no organismo. A diferença entre energia ingerida (EI) e a energia digestível (ED) é a energia perdida nas fezes; a energia metabolizável (EM) é o valor de ED corrigido pelas perdas de energia pelas brânquias e urina. Existem, ainda, as perdas de energia como calor: a ação dinâmica específica (ADE) ou incremento calórico (IC), que é a dissipação de energia pelos processos de digestão, absorção e excreção e, finalmente, as perdas para a manutenção. A energia “restante”, ou energia líquida (EL), é destinada para a reprodução e crescimento (NRC, 2011). As perdas com a excreção em peixes são muito reduzidas, uma vez que estes animais não precisam sintetizar ácido úrico ou ureia para eliminar os produtos do metabolismo proteico – cerca de 90% é eliminado como amônia (PEZZATO et al., 2004).

A energia destinada para a manutenção, como a respiração, transporte de íons e metabólitos e *turnover* de constituintes do corpo e circulação, são menores

⁷ Nicotinamida adenina dinucleotídeo hidrogenada

⁸ Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato hidrogenada

⁹ Flavina adenina dinucleotídeo hidrogenada

nos peixes que nos animais homeotérmicos, já que os peixes não necessitam manter a temperatura corporal e utilizam menos energia para manter-se em movimento no meio em que vivem (água), quando comparados aos animais terrestres (NRC, 2011). Porém, o fornecimento de energia para atender as exigências dos peixes para o funcionamento essencial dos mecanismos osmorregulatórios é essencialmente importante (TSENG; HWANG, 2008). Assim, a exigência de menos energia de manutenção para os peixes significa que a porcentagem de energia líquida que não é dissipada como calor é retida no corpo como novos tecidos ou é recuperada na forma de energia (NRC, 2011).

Carboidratos, lipídios e proteínas são catabolizados gerando precursores metabólicos que são utilizados no anabolismo para a atividade celular, e ambos os processos despendem energia para que ocorram (NELSON; COX, 2005). O conteúdo energético de cada alimento depende de sua composição química. O valor médio do calor da combustão da proteína é $5,6 \text{ kcal kg}^{-1}$, o do lipídio é $9,4 \text{ kcal kg}^{-1}$ e do carboidrato é $4,1 \text{ kcal kg}^{-1}$. Porém, a composição química do alimento influencia na quantidade que o peixe é capaz de digerir e absorver. Assim, para formular uma dieta é necessário não só conhecer o valor bruto, mas também a biodisponibilidade da energia dos ingredientes (NRC, 2011). Portanto, a capacidade de um alimento fornecer energia é de grande importância na determinação do seu valor nutritivo para os animais (TACON, 1987a).

Os lipídios são substâncias hidrofóbicas solúveis em ácidos orgânicos e são definidos como ésteres de ácidos graxos com álcoois, como as ceras e gorduras. Os lipídios mais complexos são compostos de grupos adicionais, como o fosfato (fosfolipídios) e carboidrato (glicolipídios) (JOBLING, 2001; TACON, 1987a; TOCHER, 2003). No grupo dos lipídios estão incluídos os ácidos graxos, glicerol, esteroides, álcoois além do glicerol e esteróis, aldeídos graxos e corpos cetônicos, hidrocarbonetos, vitaminas lipossolúveis e hormônios. Os lipídios são a principal forma de armazenamento de energia nas plantas e nos animais, visto conter mais energia por unidade de peso que qualquer outro composto biológico. A inclusão de lipídios nas dietas normalmente aumenta a palatabilidade dos alimentos para os animais; lipídios em geral são bem digeridos e utilizados pelos peixes (TACON, 1987a).

Além da importância como fonte de energia metabólica (ATP), os lipídios são fundamentais ao funcionamento dos organismos: são componentes essenciais das

membranas celulares; são transportadores biológicos para a absorção das vitaminas hidrossolúveis; são fontes de ácidos graxos essenciais, importantes na manutenção da integridade das membranas celulares e como precursores das prostaglandinas; têm papel de amortecedor mecânico e acomodação dos órgãos (além de, nos peixes, participarem do mecanismo de flutuabilidade); são fontes de esteroides essenciais, como o colesterol que está envolvido em muitas funções – transporte de moléculas, precursor de vitamina D₃, ácidos biliares e hormônios esteroides. Além disso, em relação ao processamento dos alimentos, os lipídios agem como lubrificantes, palatabilizantes e ajudam reduzir a quantidade de finos nas rações. (TACON, 1987a; TOCHER, 2003).

Como são bem utilizados pela maioria dos peixes, os lipídios podem ser usados nas dietas para fornecer energia e com isso poupar a proteína, direcionando-a para a composição dos tecidos (CHO; KAUSHIK, 1990; TACON, 1987a). O uso de lipídios nas rações, para poupar a proteína destinada como fonte de energia, é preconizado por vários autores (McGOOGAN; GATLIN III, 2000; TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006). A quantidade de lipídio dietético deve ser aumentada por meio da substituição da proteína até um equilíbrio alimentar entre proteína e energia para permitir o máximo crescimento, alta eficiência alimentar e baixa produção de resíduos (AZEVEDO et al., 2002; 2004).

De toda forma, determinar o nível máximo de lipídio a ser incluído na dieta é uma real necessidade, dado que níveis elevados de lipídios dietéticos podem prejudicar o desempenho. Estudo de Peres e Oliva-Teles (1999) com “sea bass” europeu *Dicentrarchus labrax*, demonstrou que a inclusão de 30% de lipídios na dieta resulta em piora na eficiência alimentar e diminuição na retenção de nitrogênio e energia. Por outro lado, enquanto estes mesmos autores afirmaram não haver benefícios na inclusão de mais de 12% de lipídios dietéticos, Chatzifotiz et al. (2010) demonstraram que a inclusão de 17% de lipídios na dieta do meagre *Argyrosomus regius* garante a melhor taxa de crescimento para a espécie.

Como já comentado, a proteína dietética é a outra fonte utilizada facilmente e preferencialmente pelos peixes, principalmente os ictiófagos. Entretanto, além de lipídios e proteínas, alguns peixes utilizam carboidratos como fonte de energia. Os carboidratos são compostos pelos elementos carbono, hidrogênio e oxigênio; são poliidroxialdeídos, cetonas ou substâncias que produzem tais compostos após hidrólise (PEZZATO et al., 2004). Embora os peixes não tenham exigências em

carboidrato, beneficiam-se da presença destes compostos na dieta, os quais são ainda a fonte mais barata e mais abundante de energia para os animais. Aparentemente, os carboidratos da dieta podem ser bem utilizados como fonte de energia se forem de fácil digestão e estiverem em equilíbrio com os outros nutrientes, porque as espécies possuem exigências específicas em energia e utilizam os carboidratos dietéticos de forma distinta (TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006). Os peixes neotropicais são capazes de utilizar níveis muito mais elevados de carboidratos dietéticos que os peixes de águas temperadas e espécies marinhas (WILSON, 1994). A maioria dos ingredientes vegetais são fontes de carboidrato; substituir a farinha de peixe nas dietas por fontes de carboidratos possibilita reduzir o custo das rações e diminuir a emissão de efluentes nitrogenados para o meio (HILLESTAD; JOHNSEN; ÅSGÅRD, 2001). No entanto, é necessário considerar o balanço ideal entre os aminoácidos essenciais aos peixes.

A inclusão de carboidratos nas dietas dos peixes depende da fonte e do tipo de carboidrato, além do processamento ao qual as dietas forem submetidas. O calor e umidade associados ao processo de peletização ou extrusão melhoram a digestibilidade do amido (TACON, 1987a). Em um trabalho com truta arco-íris, no qual foi avaliada a incorporação de 30% de amido em uma dieta com alto nível de proteína, Kaushik e Oliva-Teles (1985) concluíram que comparativamente ao amido cru, o amido gelatinizado proporciona melhora na retenção de energia e proteína e, conseqüentemente, melhor desempenho e menor consumo de ração. Kaushik et al. (1989) também testaram fontes de carboidratos para truta arco-íris e também comprovaram que a extrusão de grãos e cereais melhora a disponibilidade de energia das dietas.

Segundo Lee e Putnam (1973) o uso do amido favorece a utilização da proteína e a retenção de proteína pela truta, um peixe ictiófago. No entanto, a truta utiliza mais efetivamente os lipídios como fonte de energia (OGINO; CHIOU; TAKEUCHI, 1976). A mesma limitada habilidade de utilização dos carboidratos é registrada para outros peixes ictiófagos, como o híbrido “sunshine bass”, o “striped bass” *Morone saxatilis*, o “red drum” e o esturção *Acipenser baeri* (ELLIS; REIGH, 1991; HUTCHINS; RAWLES; GATLIN III, 1998; MEDALE; BLANC; KAUSHIK, 1991; RAWLES; GATLIN III, 1998), enquanto os peixes onívoros, como a catla *Catla catla*, utilizam bem o carboidrato como fonte de energia (OGINO; CHIOU; TAKEUCHI, 1976; SEENAPPA; DEVARAJ, 1995).

No entanto, em um ensaio realizado para avaliar o efeito da relação de lipídio e carboidrato como fonte de energia não proteica para juvenis de barramundi *Lates calcarifer*, foi verificado que o carboidrato é efetivamente utilizado como fonte de energia da dieta pela espécie em níveis de inclusão de até 17%, ou seja, carboidratos são utilizados como poupadores da proteína por esta espécie ictiófaga (NANKERVIS; MATTHEWS; APPLEFORD, 2000). Independente da fonte de energia das dietas, o balanço adequado entre a energia e a proteína sempre deve ser respeitado, pois o excesso de energia ingerida como alimento não só é acumulado no organismo na forma de glicogênio e gordura visceral - com prejuízos às rotas metabólicas e taxa de crescimento, como também o excesso de energia dietética pode limitar o consumo, pois os peixes comem para satisfazer as exigências em energia (BUREAU; KAUSHIK; CHO, 2002).

Vários fatores influenciam as exigências dos peixes em energia, e.g.: temperatura da água - o aumento da temperatura aumenta a taxa metabólica e, conseqüentemente, as exigências em energia; o tamanho do animal - a taxa metabólica aumenta também proporcionalmente ao aumento do peso; o estágio fisiológico - aumento das exigências durante a reprodução; fluxo de água - o aumento do fluxo aumenta a exigência em energia, pois os animais precisam de mais energia para vencer as correntes e manter-se em uma posição; exposição à luz - a luminosidade interfere na atividade dos peixes, alguns são mais ativos durante o dia, outros durante a noite; qualidade da água e estresse - se estiver fora da zona de conforto os animais exigem mais energia de manutenção (TACON, 1987b). A menor eficiência de retenção de energia nos peixes mais velhos pode estar relacionada a maiores necessidades de manutenção e menos energia disponível para o crescimento (AZEVEDO et al., 2004). O gasto metabólico energético para a manutenção aumenta dependendo do tamanho do corpo e temperatura, enquanto que a necessidade para o crescimento é governada pela quantidade e composição do peso adicionado (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010; LUPATSCH et al., 1998). Além disso, o custo de deposição de proteína e lipídios também varia entre as diferentes espécies e tamanhos de peixes. Isto pode ser explicado pelo fato das diferentes espécies apresentarem composição corporal intrinsecamente variável (proteínas e lipídios), por diferença ou alterações na eficiência alimentar, e variações espécie-específicas na eficiência de retenção de nitrogênio e energia (AZEVEDO et al., 2004).

Os peixes, como todos os animais, precisam de vários nutrientes para satisfazer as suas necessidades de energia e de moléculas essenciais. Assim, para manter as funções do corpo e crescimento é necessário adequar as proporções de macro e micronutrientes ao conteúdo de energia digestível nas dietas (FORSMAN; RUOHONEN, 2009). A utilização de dietas com alto conteúdo energético pode afetar a quantidade de micronutrientes exigidos para o crescimento e saúde. Em adição, elevar os níveis de lipídios na dieta como fonte de energia aumenta as chances de problemas nutricionais relacionados à oxidação lipídica. Assim, deficiências nutricionais podem ocorrer em produção comercial, e as deficiências subclínicas não detectáveis são mais comuns, possivelmente contribuindo para a ineficiência do crescimento dos peixes, perdas por doenças, e problemas inusitados encontrados na tentativa de produzir novas espécies de peixes (HARDY, 2001).

2.5 Relação energia e proteína

Proteínas e lipídios são importantes na mobilização de tecido corporal, são responsáveis pelo crescimento, ganho de peso e manutenção dos organismos dos peixes (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000; LEE; CHO; KIM, 2000). Para a síntese proteica é necessário o balanço de aminoácidos como substrato e uma fonte energética como o ATP ou GTP. Os peixes alimentados com proteína de alta qualidade na dieta utilizam, então, a energia para o crescimento (DEAN; GARLING JR; NIELSEN, 1986). Desta forma, é muito importante definir criteriosamente os níveis de proteína e energia na formulação de dietas comerciais para os peixes (HASSANI et al., 2011).

A prioridade na formulação de rações para peixes é a proteína, exigida em quantidades significantes e, dos macro ingredientes, normalmente o mais caro (DE SILVA et al., 2002; LEE; CHO; KIM, 2000; THOMAN; DAVIS; ARNOLD, 1999). Portanto, para formular uma dieta de mínimo custo e alto desempenho é importante o balanceamento adequado entre os nutrientes e energia e, ainda, considerar as exigências específicas dos animais (KIM et al., 2005; LEE; KIM; CHO, 2002). Assim, a proteína é direcionada para a deposição/crescimento e *turnover*/manutenção dos

tecidos, e os lipídios e carboidratos são direcionados/utilizados como fontes de energia, como uma forma de poupar a proteína (AZEVEDO et al., 2002).

Muitas vezes os valores de exigência em proteína dos peixes podem estar superestimados, pois muitos estudos são feitos sem considerar a relação proteína e energia dietética. Com isso, em uma dieta contendo baixo nível de energia relacionado ao nível de proteína, os aminoácidos são catabolizados para a obtenção de energia, aumentando o custo da alimentação (LEE; KIM; CHO, 2002; LOVELL, 1989). Além disso, aumenta a demanda metabólica de energia para excreção de nitrogênio e a consequente poluição do meio, com a maior emissão de nitrogênio (KAUSHIK; OLIVA-TELES, 1985; KIM; LEE, 2005).

O desbalanço entre o nível de proteína (elevado) com relação à energia dietética pode ocasionar aumento de consumo de alimento pelos peixes para satisfazer a exigência em energia, com consequente piora na conversão alimentar, diminuição na eficiência de utilização da proteína e possível deficiência em algum nutriente essencial, acarretando em prejuízos para os piscicultores (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000; LEE; PUTNAM, 1973; LEE; CHO; KIM, 2000). Apesar deste conhecimento comum, alguns autores afirmam, ainda, que o consumo alimentar é relacionado ao peso e não ao conteúdo de energia das dietas (THOMAN; DAVIS; ARNOLD, 1999).

Azevedo et al. (2002) relataram que o aumento da densidade de energia e de nutrientes na dieta resultou na redução da emissão de resíduos totais sólidos, bem como nitrogênio e fósforo pelo salmão do Atlântico em função da melhoria da eficiência alimentar das dietas. Isto vai de acordo com o relato anterior de Thoman, Davis e Arnold (1999), que afirmaram que o aumento no nível dietético de proteína e energia leva à otimização da eficiência alimentar que, por sua vez, resulta na diminuição das perdas de nitrogênio e custos na produção do “red drum” *Sciaenops ocellatus*. Mesmo que no estudo de Azevedo et al. (2002) a relação proteína digestível:energia digestível ou teor de energia digestível da dieta não tenha afetado a eficiência de retenção de nitrogênio, é fato comprovado que o aumento da proteína ou energia da dieta altera a eficiência em que a proteína é sintetizada por unidade celular de RNA (LOBLEY, 1998).

Apesar de diminuir a emissão de efluentes, uma relação energia:proteína mais alta pode resultar em maior deposição de gordura (FEIDEN et al., 2009), além de aumentar os índices hepatossomático (IHS) e viscerossomático (IVS) (CYRINO;

PORTZ; MARTINO, 2000). McGoogan e Gatlin III (2000) constataram para juvenis de “red drum” que alto nível de energia na dieta é capaz de reduzir a produção de amônia, mas também resulta em peixes com alta deposição de gordura e baixas taxas de crescimento. Por outro lado, Morris et al. (2003) demonstraram que a diminuição no teor de óleo na dieta melhora a qualidade da carne mas diminui a taxa de crescimento dos salmões.

Portanto, o balanço adequado de energia e proteína (E:P) é importante. Com isso, a dieta balanceada pode fornecer calorias e aminoácidos para o rápido crescimento e eficiente utilização alimentar e, ainda, para manter a carne com alto teor proteico e baixo de gordura (TIBBETS; LALL; ANDERSON, 2001). O balanço apropriado de energia e proteína em pacu melhorou o desempenho, diminuiu o acúmulo de lipídios e glicogênio nos tecidos e fígado, e diminuiu perdas de nitrogênio, melhorando efluentes (BICUDO; SADO; CYRINO, 2009). Veras et al. (2010) também destacam a importância do adequado balanço E:P para obter bons resultados de produtividade, economia e meio ambiente em criações de traíra. Ainda, afirmam que existem poucos trabalhos sobre a relação E:P para espécies nativas Brasileiras potenciais, principalmente as ictiófagas. Sendo que a relação E:P está diretamente relacionada ao hábito alimentar dos animais e que os peixes ictiófagos requerem menor relação E:P nas rações (FEIDEN et al., 2009).

Limites na relação energia e proteína foram definidos para várias espécies de peixe. A Tabela 2 traz um resumo de referências selecionadas para as diversas espécies de peixes.

Tabela 2 - Relação proteína e energia para várias espécies de peixes, com hábitos alimentares e tamanhos diversos

Espécie	Hábito alimentar	Peso inicial (g)	Proteína:Energia (g MJ ⁻¹)	Referência
Salmão do Atlântico <i>Salmo salar</i>	carnívoro	1000	19,0 [‡]	EINEN; ROEM, 1997
“Black bass” <i>Micropterus salmoides</i>	carnívoro	14,46	26,1 [§]	CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000
“Striped sea bream” <i>Lithognathus mormyrus</i>	carnívoro	85	23,0 [§]	KUSKU et al., 2011
Esturção persa <i>Acipenser persicus</i>	carnívoro	103,3	22,0 [§]	MOHSENI et al., 2011
Piracanjuba <i>Brycon orbignyanus</i>	onívoro	8,38	23,1 [§]	SATPATHY; MUKHERJEE; RAY, 2003
“Catfish” africano <i>Clarias gariepinus</i>	onívoro	10,9	20,5 [§]	ALI; JAUNCEY, 2005
Curimatã <i>Prochilodus affinis</i>	onívoro	2,72	23,1 [‡]	BOMFIM et al., 2005
Tilápia do Nilo <i>Oreochromis niloticus</i>	onívoro	30	23,9 [‡]	GONÇALVES et al., 2009
Pacu <i>Piaractus mesopotamicus</i>	onívoro	15,5	22,2 [‡]	BICUDO; SADO; CYRINO, 2010

§ Valor determinado com base na Matéria Seca

‡ Valor determinado com base na Matéria Natural

A avaliação das exigências nutricionais a partir de ensaios de crescimento depende da disponibilidade de um modelo adequado de crescimento, das análises usadas para a identificação da exigência, da escolha das variáveis, e do esquema de alimentação usado para avaliar as respostas nas exigências nutricionais (COWEY, 1992). As exigências em energia e proteína dos peixes em crescimento podem ser quantificadas a partir da soma das quantidades de energia e proteína destinada ao crescimento mais a quantidade dos mesmos nutrientes perdidos para a manutenção do metabolismo corporal (LUPATSCH et al., 1998). Em suma, ao integrar abordagens clássicas com tecnologias emergentes, considerando as exigências nutricionais e o balanço entre os nutrientes nas diferentes espécies de peixes, os nutricionistas podem identificar meios para aumentar a eficiência de produção e sustentabilidade para o sucesso contínuo da aquicultura (AZEVEDO et al., 2002; TRUSHENSKI; KASPER; KOHLER, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento I – digestibilidade de ingredientes selecionados para o cachara

A determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos ingredientes testados foi realizada por meio do método indireto de coleta de fezes, seguindo recomendações de Pezzato et al. (2002a). Foi utilizado 0,1% de óxido de cromo III (Cr_2O_3) como indicador das dietas experimentais (FURUYA et al., 2001; PEZZATO et al., 2002b; BREMER NETO et al., 2003; BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009). A partir de uma dieta referência (Tabela 3) foram confeccionadas as rações teste pela substituição de 30% da ração referência pelos seguintes ingredientes de origem animal: farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras de aves, farinha de penas e farinha de sangue; e de origem vegetal: farelo de soja, farelo de trigo, milho moído e glutenose de milho (Tabela 4).

Tabela 3 - Composição da dieta referência (matéria natural)

Ingredientes	Inclusão
	%
Farinha de peixe	40,00
Farinha de vísceras de aves	10,00
Farelo de soja	17,51
Milho	15,00
Glutenose de milho	8,73
Óleo de peixe	6,64
Mistura mineral [‡]	1,00
Mistura vitamínica [§]	1,00
BHT	0,02
Composição	
Amido (%)	12,21
Energia bruta (kcal kg^{-1})	4600
Fibra bruta (%)	1,47
Gordura (%)	13,20
Proteína bruta (%)	46,00

[‡] Mistura mineral (Agrocere[®]) por kg de produto: Fe 100.000 mg; Cu 15.000 mg; Zn 150.000 mg; I 4.500 mg; Mn 60.000 mg; Se 400 mg e Co 2.000 mg;

[§] Mistura vitamínica (Agrocere[®]) por kg de produto: vit. A 6.000.000 UI; vit. D₃ 2.250.000 UI; vit. E 75.000 mg; vit. K 3.000 mg; tiamina (B₁) 5.000 mg; riboflavina (B₂) 10.000 mg; niacina 30.000 mg; piridoxina 8.000 mg; ácido pantotênico 30.000 mg; biotina 2.000 mg; ácido fólico 3.000 mg; cobalamina 20.000 µg e ácido ascórbico (vit. C) 192.500 mg.

Tabela 4 - Composição química (matéria natural) dos ingredientes [‡]

Análise / Ingredientes	FS [§]	FT [§]	M [§]	GM [§]	FP [§]	FCO [§]	FV [§]	FSa [§]	FPe [§]
Amido (%)	nd	41,91	60,16	11,74	nd	nd	nd	nd	nd
Extrato etéreo (%)	1,14	3,32	3,33	7,69	9,59	12,65	14,14	0,21	2,80
Energia bruta (cal g ⁻¹)	4140	3997	3951	5254	4405	3655	4751	5038	5113
Fibra bruta (%)	6,47	8,66	1,81	0,79	nd	nd	nd	nd	nd
Matéria mineral (%)	6,32	4,92	1,38	6,69	14,60	34,01	15,01	1,65	3,40
Proteína bruta (%)	46,18	15,63	7,88	63,54	63,38	44,87	58,35	91,07	84,2
Umidade (%)	11,48	11,61	11,56	9,49	12,42	7,69	8,60	7,50	8,10

[‡] Resultados obtidos de amostras enviadas para análise em laboratório comercial;

[§] FS: Farelo de soja; FT: Farelo de trigo; M: Milho moído; GM: Glutenose de milho; FP: Farinha de peixe; FCO: Farinha de carne e ossos; FV: Farinha de vísceras; FSa: Farinha de sangue e FPe: Farinha de penas;

nd: Não determinado.

As rações foram extrusadas (extrusora Inbramaq PQ - 30), secas em estufa de ventilação forçada (55 °C; 24 h), armazenadas em sacos plásticos e congeladas (-18 °C). Alíquotas das rações para uso imediato foram mantidas em recipientes plásticos dentro de refrigerador (± 5 °C). Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) foram calculados por meio das eq. (1) e (2).

$$CDA(\%) = 100 - \left| 100 \times \left(\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ração}}{\% Cr_2O_3 \text{ fezes}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutriente ou energia das fezes}}{\% \text{ nutriente ou energia das ração}} \right) \right| \quad (1)$$

$$CDAn = \frac{CDA_{RT} - CDA_{RR} \times Y}{Z} \quad (2)$$

em que:

CDA: coeficiente de digestibilidade aparente;

% Cr₂O₃ ração: porcentagem de óxido de cromo na ração;

% Cr₂O₃ fezes: porcentagem de óxido de cromo nas fezes;

CDAn: coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta ou nutrientes;

CDA_{RT}: coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta ou nutrientes na ração teste;

CDA_{RR}: coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta ou nutrientes na ração referência;

Y: proporção da ração referência;

Z: proporção da ração teste.

Juvenis de cachara com peso 82,35 ± 17,75 g e comprimento total médio 23,04 ± 1,6 cm foram adaptados às condições laboratoriais por 30 dias. Os peixes foram alojados em 21 gaiolas (n=5) circulares de plástico rígido (80 L) alojadas em

caixas d'água (1000 L) e alimentados manualmente até a saciedade aparente em duas refeições diárias (19h00min e 22h00min). Às 24h00min as gaiolas eram transferidas para os aquários cilíndrico-cônicos (200 L) com circulação superficial de água e as fezes coletadas por sedimentação em dois horários determinados (6h00min e 12h00min) seguindo recomendação de Kitagima e Fracalossi (2010).

A temperatura e o oxigênio dissolvido dos aquários de digestibilidade e das caixas d'água de alimentação foram mantidos constantes por meio de aquecedor elétrico (5000 W) acoplado a termostato digital (28 ± 1 °C) e pelo uso de pedras porosas acopladas em um soprador central (3 CV). As fezes foram coletadas por sedimentação em coletores acoplados ao fundo dos aquários, imersos em recipientes resfriados (0 °C) (PORTZ; CYRINO, 2004). As fezes foram transferidas para tubos de 50 mL, centrifugadas sob refrigeração (3100 g, 4°C, 10 min) e liofilizadas (liofizador Modulyod-115; -50 °C, 1 mBar) para armazenamento anterior às análises.

3.2 Experimento II – relação energia-proteína na nutrição do cachara

O experimento foi conduzido em laboratório com sistema de recirculação e filtragem físico-biológico da água, fotoperíodo controlado (12 C / 12 E) por meio de seis lâmpadas halógenas de 300 W de potência, sistema de aquecimento ($27,4 \pm 0,77$ °C) mantido por resistência elétrica de 15000 W mais um trocador de calor elétrico, e aeração contínua da água feita por meio de difusores ligados à um soprador central ($5,2 \pm 0,74$ mg L⁻¹) e sistema de emergência com borbulhamento de oxigênio gasoso. Os parâmetros físico-químicos da água - oxigênio dissolvido e temperatura - foram mensurados diariamente; pH ($7,5 \pm 0,28$ mg L⁻¹), condutividade ($2,6 \pm 0,08$ mS cm⁻¹), turbidez ($4,9 \pm 1,55$ NTU), sólidos totais dissolvidos ($1,6 \pm 0,05$ g L⁻¹) e salinidade ($0,13 \pm 0,005\%$) foram monitorados semanalmente por meio de sonda eletrônica (HORIBA, modelo U-52) e amônia (<0,25 ppm) por meio de Kit.

Juvenis de cachara ($53,56 \pm 1,30$ g) adquiridos de piscicultura comercial (Campo Grande – MS, Brasil) foram alojados em gaiolas (60 x 70 x 60 cm) com volume útil de 210 L (n=7), depois de um período de aclimação às instalações de 30 dias. Os peixes foram alimentados com dietas formuladas para conter cinco

níveis de proteína digestível (32, 36, 40, 44 e 48%) e cinco níveis de energia digestível (3600, 3725, 3850, 3975 e 4100 kcal kg⁻¹) (Tabela 5) em um delineamento experimental inteiramente aleatorizado em esquema fatorial 5 x 5 (n=3). A alimentação foi feita até a saciedade aparente duas vezes ao dia (6h30min e 18h30min) por 60 dias. As dietas foram formuladas de acordo com os valores de proteína e energia digestíveis obtidos no experimento I, exceto os dados da gelatina os quais foram estimados segundo Ferraris et al. (1986). Os ingredientes foram moídos homogeneamente (0,8 mm), misturados, umedecidos (10% água) e granulados (3,0 mm) em extrusora experimental (Inbramaq PQ - 30). Os grânulos foram secos em estufa de ventilação forçada (55 °C; 24 horas) e as rações permaneceram armazenadas em recipientes plásticos fechados e refrigerados (5 °C).

No início e no final do experimento os peixes foram anestesiados (benzocaína; 100 mg L⁻¹) para medição e pesagem do lote (7 animais por unidade experimental). No término do experimento, após o lote ser pesado, quatro peixes foram separados aleatoriamente, dois para a análise de composição química corporal e dois para a coleta de sangue. Em seguida, os peixes foram sacrificados por superdosagem de anestésico (benzocaína, 1 g L⁻¹); dois animais (os animais que foram exsanguinados) foram laparatomizados para a retirada e mensuração das vísceras, gordura visceral e fígado para determinação das relações hepatossomática, lipossomática e víscerosomática. Os outros dois peixes inteiros foram congelados em nitrogênio líquido, moídos, homogeneizados e congelados para análise da composição de carcaça. A coleta de sangue foi feita por meio de punção do vaso caudal utilizando-se seringas plásticas descartáveis de 3,0 mL; as amostras (1,0 mL) foram centrifugadas (2000 g, 10 min.) para obtenção do soro, que foi congelado (-18 °C) para posterior determinação da proteína total (PT) e triglicerídeos (TGL) por meio de kits de ensaio colorimétrico (Bioclin®, Belo Horizonte, MG e Laborlab®, Guarulhos, SP, respectivamente). O desempenho e a retenção de nutrientes foram avaliados, considerando as seguintes variáveis (DENG et al., 2011):

- ✓ Ganho de peso (g)
GP = [(peso final) – (peso inicial)]
- ✓ Consumo de ração (g)

- ✓ Conversão alimentar
 $CA = [(\text{consumo de ração}) \div (\text{ganho de peso})]$
- ✓ Taxa de crescimento específico (% dia⁻¹)
 $TCE = \{[\ln (\text{peso final}) - \ln (\text{peso inicial})] \div \text{período}\} \times 100$
- ✓ Índice hepatossomático (%)
 $IHS = [(\text{peso do fígado} \div \text{peso corporal}) \times 100]$
- ✓ Índice lipossomático (%)
 $ILS = [(\text{peso da gordura visceral} \div \text{peso corporal}) \times 100]$
- ✓ Índice viscerossomático (%)
 $IVS = [(\text{peso das vísceras} \div \text{peso corporal}) \times 100]$
- ✓ Taxa de eficiência proteica (%)
 $TEP = [(\text{ganho de peso} \div \text{consumo de proteína da dieta}) \times 100]$
- ✓ Retenção de energia (%)
 $RE = \{[(\text{energia corporal final} \times \text{peso final}) - (\text{energia corporal inicial} \times \text{peso inicial}) \div \text{ingestão de energia da dieta}] \times 100\}$
- ✓ Retenção de proteína (%)
 $RP = \{[(\text{proteína corporal final} \times \text{peso final}) - (\text{proteína corporal inicial} \times \text{peso inicial}) \div \text{ingestão de proteína da dieta}] \times 100\}$
- ✓ Retenção de fósforo (%)
 $RF = \{[(\text{fósforo corporal final} \times \text{peso final}) - (\text{fósforo corporal inicial} \times \text{peso inicial}) \div \text{ingestão de fósforo da dieta}] \times 100\}$

Tabela 5 - Formulação e composição química das rações (com base na Matéria Natural)

ED (kcal kg ⁻¹)	3600					3725					3850				
PD (%)	32	36	40	44	48	32	36	40	44	48	32	36	40	44	48
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14
Farinha de vísceras de aves	14,96	43,72	42,92	42,44	42,78	37,05	43,75	42,90	42,43	43,57	44,49	43,74	42,87	42,66	44,41
Farinha de peixe	11,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de carne e ossos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farelo de soja	32,54	16,42	29,33	36,81	32,68	15,02	18,30	29,76	36,95	23,07	4,68	19,09	30,24	34,15	12,80
Gelatina	-	-	-	3,10	10,24	-	-	-	3,09	15,19	-	-	-	4,53	20,43
Milho moído	23,36	19,87	20,23	0,46	0,40	17,94	23,24	18,08	-	-	16,39	22,46	15,65	-	-
Óleo de peixe	11,24	8,53	4,90	-	-	13,45	9,81	6,63	2,06	3,32	15,52	11,43	8,30	4,57	6,80
Amido de milho	-	-	-	14,67	11,10	-	-	0,12	12,96	11,38	-	-	0,29	11,38	11,38
Farelo de trigo	1,51	8,79	-	-	-	12,84	1,75	-	-	-	16,07	-	-	-	-
Celulose	-	0,15	0,10	-	0,29	-	0,63	-	-	0,96	0,33	0,76	0,14	0,19	1,67
Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfato bicálcico	2,00	-	-	-	-	1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT - Antioxidante	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mistura vitamínica e mineral ⁽¹⁾	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Composição química estimada															
Amido (%)	15,00	15,00	12,61	13,18	10,00	15,00	15,00	11,26	11,39	10,00	15,00	14,00	10,00	10,00	10,00
Cálcio (%)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ED (kcal kg ⁻¹)	3600	3600	3600	3600	3600	3725	3725	3725	3725	3725	3850	3850	3850	3850	3850
Fibra bruta (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fósforo disponível (%)	1,29	1,21	1,18	1,17	1,17	1,26	1,19	1,18	1,17	1,17	1,23	1,19	1,18	1,17	1,18
Gordura (%)	14,86	14,59	10,72	5,21	5,21	18,75	15,75	12,35	7,23	8,50	21,62	17,27	13,92	9,72	11,96
Proteína Digestível (%)	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00

Tabela 5 – Formulação e composição química das rações experimentais (com base na Matéria Natural) continuação

ED (kcal kg ⁻¹)	3975					4100				
PD (%)	32	36	40	44	48	32	36	40	44	48
Tratamento	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25
Farinha de vísceras de aves	36,42	43,72	42,81	43,50	45,25	18,31	43,70	42,75	44,34	26,75
Farinha de peixe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de carne e ossos	0,01	-	-	-	-	9,39	-	-	-	-
Farelo de soja	19,32	19,52	31,62	23,89	2,54	36,16	19,96	33,00	13,62	-
Gelatina	-	-	-	9,77	25,67	-	-	-	15,01	40,53
Milho moído	24,08	20,31	8,44	0,00	0,00	13,92	18,16	1,22	-	-
Óleo de peixe	16,00	13,15	9,03	8,05	10,27	16,00	14,88	9,76	11,52	16,00
Amido de milho	-	-	5,40	11,38	11,38	3,71	-	10,51	11,38	11,38
Farelo de trigo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose	0,82	0,78	-	0,90	0,00	0,00	0,79	0,25	1,61	2,83
Calcário	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfato bicalcico	-	-	0,19	-	2,37	-	-	-	-	-
Sal	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT - Antioxidante	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mistura vitamínica e mineral [¶]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Composição química estimada										
Amido (%)	15,00	12,65	10,00	10,00	10,00	11,93	11,31	10,00	10,00	10,00
Cálcio (%)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ED (kcal kg ⁻¹)	3975	3975	3975	3975	3975	4100	4100	4100	4100	4100
Fibra bruta (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fósforo disponível (%)	1,00	1,19	1,18	1,17	1,18	1,11	1,19	1,17	1,18	1,18
Gordura (%)	21,02	18,91	14,41	13,18	15,41	19,76	20,54	14,90	16,63	18,93
Proteína Digestível (%)	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00

[¶] Mistura mineral (Agrocere[®]) por kg de produto: Fe 100.000 mg; Cu 15.000 mg; Zn 150.000 mg; I 4.500 mg; Mn 60.000 mg; Se 400 mg e Co 2.000 mg; Premix vitamínico (Agrocere[®]) por kg de produto: vit. A 6.000.000 UI; vit. D₃ 2.250.000 UI; vit. E 75.000 mg; vit. K 3.000 mg; tiamina (B₁) 5.000 mg; riboflavina (B₂) 10.000 mg; niacina 30.000 mg; piridoxina 8.000 mg; ácido pantotênico 30.000 mg; biotina 2.000 mg; ácido fólico 3.000 mg; cobalamina 20.000 µg e ácido ascórbico (vit. C) 192.500 mg.

3.3 Análises químicas

As análises das rações, fezes e carcaças foram realizadas de acordo com os procedimentos da AOAC (2000). A umidade foi determinada por meio do método gravimétrico, em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de matéria mineral determinado pelo método gravimétrico, em mufla a 550 °C e incineração da matéria orgânica em bico de Bunsen. O teor de proteína bruta foi determinado pelo método micro-Kjedahl e o extrato etéreo pela extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet. A energia bruta foi estimada em bomba calorimétrica adiabática, utilizando o ácido benzoico como padrão. Os teores de óxido crômico III e fósforo foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, após a digestão ácida (CBO Assessoria e Análise, Campinas, SP).

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o aplicativo SAS¹⁰, após verificação dos preceitos necessários a realização da análise de variância (ANOVA; $\alpha = 0,05$). A análise explanatória foi realizada para verificação das hipóteses de normalidade e homogeneidade das variâncias e, ainda, presença de *outliers*. Os dados coletados e calculados do experimento I - no qual foram analisados os CDAs da proteína e energia (n=3) de ingredientes de origem animal e vegetal - foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ($\alpha=0,05$).

No experimento II, foram analisadas cinco níveis de proteína digestível (32, 36, 40, 44 e 48%) e cinco níveis de energia digestível (3600, 3725, 3850, 3975 e 4100 kcal kg⁻¹) em um delineamento experimental inteiramente aleatorizado em esquema fatorial 5 x 5 (n=3). Neste experimento, todas as variáveis apresentaram heterogeneidade das variâncias e, portanto, para realizar a ANOVA foi feito o agrupamento das variâncias semelhantes. A ANOVA foi feita considerando modelos mistos, função PROC MIXED. A presença de pontos atípicos foi estudada pontualmente, sendo que, quando as variáveis eram compostas de duas observações (ou seja, dados de dois peixes) só uma delas (a atípica) era retirada do

¹⁰ Statistical Analysis System Institute [SAS]. 2009. Base SAS® 9.2 Procedures Guide, 1st ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

banco de dados. O peso inicial foi incorporado aos modelos de todas variáveis estudadas, pois foi importante ($P < 0,05$) para a maioria das variáveis do estudo.

O próximo passo foi submeter os dados à análise de regressão, função PROC MIXED, considerando a heterogeneidade das variâncias e os dois fatores, energia e proteína. Para a escolha do modelo, foram estudados modelos para cada variável estudada, considerando regressões de primeiro a terceiro grau para cada fator e possíveis interações de primeira ordem, assim como o peso inicial, totalizando 50 diferentes modelos. Cada variável foi analisada isoladamente. Assim, criteriosamente foi determinado o melhor modelo, baseando-se nos critérios de ajuste AIC (critério de Akaike), AICC (versão do critério de Akaike corrigida) e BIC (critério Bayesiano de Schwarz), seguindo o guia de uso do programa SAS (2009). Os modelos de cada variável que tivessem os menores valores para todos os critérios foram escolhidos.

As tabelas dos resultados foram compostas com os dados estimados nas análises. Alguns valores não foram estimados pela inconsistência da análise. Assim, parcelas perdidas ou desconsideradas por serem atípicas geraram um confundimento nas análises, com consequente impossibilidade de estimação. Os gráficos e a otimização das equações – pontos de máximo e mínimo – foram feitos no programa Maple¹¹.

¹¹ MAPLE - versão 13, Waterloo, Ontario, Canada: Waterloo Maple Software.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I

A farinha de peixe é o ingrediente mais utilizado como base proteica das rações para peixes ictiófagos. Porém devido ao alto custo, a utilização de ingredientes alternativos é necessária, e é viabilizada com o conhecimento do aproveitamento dos nutrientes e energia bruta pelos peixes, a começar pelo estudo do coeficiente de digestibilidade aparente. Vários subprodutos da Indústria Brasileira são utilizados como ingredientes na formulação de ração para animais, como os de origem animal: farinha de peixes (FP), farinha de carne e ossos (FCO), farinha de vísceras de aves (FV), farinha de penas (FPe), farinha de sangue (FSa); e alguns produtos de origem vegetal também são utilizados: farelo de soja (FS), farelo de trigo (FT), milho (M) e glutenose de milho (GM). Todos estes ingredientes foram testados e os respectivos coeficientes de digestibilidade aparente determinados (Tabela 6).

Tabela 6 - Coeficientes de digestibilidade aparente e valores digestíveis da energia bruta e proteína dos ingredientes testados[§]

Ingredientes	CDA _{EB} [†]	EP [‡] (CDA _{EB})	Energia digestível	CDA _{PB} [†]	EP [‡] (CDA _{PB})	Proteína digestível
	%		kcal kg ⁻¹	%		%
Farinha de peixe	78,6 ^{abc}	8,51	3462	82,8 ^{abc}	6,71	52,5
Farinha de carne	93,6 ^a	2,64	3422	87,4 ^{ab}	3,22	39,2
Farinha de vísceras	86,3 ^{ab}	9,07	4098	99,4 ^a	3,01	58,0
Farinha de penas	53,8 ^{bcd}	8,62	2749	19,8 ^{de}	10,80	16,6
Farinha de sangue	84,6 ^{ab}	3,13	4263	60,0 ^{bc}	2,28	54,6
Farelo de soja	88,9 ^{ab}	8,04	3680	66,00 ^{bc}	7,31	30,5
Farelo de trigo	40,5 ^d	5,75	1617	53,7 ^c	3,69	8,4
Milho	43,2 ^{cd}	6,30	1709	51,4 ^{dc}	7,38	4,1
Glutenose de milho	47,4 ^{cd}	1,05	2491	11,5 ^e	1,91	7,3

[§] Valores calculados com o uso dos coeficientes de digestibilidade aparente determinados (n=3);

[‡] EP: erro padrão;

[†] Letras iguais dentro das colunas não diferem entre si (P > 0,05); teste de Tukey.

Os ingredientes que apresentaram os maiores CDA de proteína bruta foram FV, FCO, FP (99,6; 87,36; 82,84%, respectivamente), enquanto que o CDA de proteína bruta da FCO e FP não diferiram do CDA do FS e FSa: 66,00 e 59,98%, respectivamente. Por sua vez, o CDA da proteína bruta do FT e M (53,65 e 51,40%, respectivamente) foram iguais aos dois últimos ingredientes. E, o M não foi diferente

da FPe (19,75%), o qual também não diferiu da GM, que apresentou o menor CDA da proteína bruta, 11,48%.

Tratando-se de energia bruta, os melhores CDAs foram obtidos para FCO, FS, FV, FSa, FP (93,63; 88,89; 86,25; 84,61; 78,59%, respectivamente). O CDA da FPe (53,77%) não foi diferente dos ingredientes listados, exceto da FCO. Ainda, a FP e FPe tiveram CDA iguais aos CDA do GM e MM (47,41 e 43,24%, respectivamente). Além disso, o valor de CDA da energia bruta da FPe, GM e MM não diferiram do CDA do FT – 40,45%.

O melhor CDA para proteína e energia bruta foi obtido para farinha de vísceras de aves, farinha de peixe e farinha de carne e ossos. Com relação aos ingredientes de origem vegetal, apenas o farelo de soja se destacou com altos valores de CDA da energia e proteína bruta.

Farinha de peixe

Os CDA da proteína e da energia bruta da FP foram 82,84 e 79,59%, respectivamente. Estes valores foram satisfatórios, porém considerados baixos se comparados aos CDA da proteína e energia de outras espécies com pesos semelhantes como para o bacalhau do Atlântico *Gadus morhua* (93,3 e 92,8% com a farinha de arenque e 92,2 e 86,4% com a farinha de anchova, respectivamente para proteína e energia) e do “haddock” *Melanogrammus aeglefinus* L. (95,9% para a proteína e 92,2% para a energia com a farinha de arenque) (TIBBETTS; LALL; MILLEY, 2004; TIBBETTS; MILLEY; LALL, 2006). Resultados de estudos sobre digestibilidade da proteína e energia da FP com diversas espécies de peixes ictiófagos variam com o peso dos peixes e com a origem da farinha de peixe. CDAs da proteína e da energia bruta relatados para diversas espécies de peixe são, respectivamente: para juvenis de dourado (19,5 g), 94,3% e 91% (BORGUESI et al., 2009); juvenis de “rockfish” *Sebastes schlegeli* (30 g) apresentaram CDA de 88 e 90% para a farinha de peixe branca e de 92 e 93% para a farinha de anchova (LEE, 2002); juvenis de beijupirá *Rachycentrum canadum* (10 g), 96,27 e 95,46% com a farinha de peixe peruana (ZHOU et al., 2004); juvenis de “sunshine bass” (50 g), 88,23 e 95,56% com a farinha de savelha (SULLIVAN; REIGH, 1995); juvenis de “grouper” *Epinephelus coioides* (12 g), 89,92 e 93,27% com a farinha de peixe branca e de 87,43 e 89,46% com a farinha de peixe marrom (LIN et al., 2004), e juvenis de “yellowfin seabream” *Sparus latus* (41 g), 86,4 e 93,6% com a farinha de

peixe branca (WU et al., 2006). Todos estes CDAs foram superiores aos determinados para o cachara, fato explicado pela utilização de farinhas de peixe de melhor qualidade nos estudos citados.

Os resultados aqui relatados assemelham-se àqueles registrados em relação à proteína bruta e energia, respectivamente, para o pintado (9,8 g), 84,14% e 72,8% (GONÇALVES; CARNEIRO, 2003); para o surubim (9,8 g), 86,56% e 86,15% (TEIXEIRA et al., 2010); e para o “largemouth bass” *Micropterus salmoides* (8,0 g), 87,7% e 78,3% (PORTZ; CYRINO, 2004). Estes três experimentos provavelmente utilizaram uma farinha de peixe de qualidade próxima àquela utilizada neste estudo, uma vez que foram conduzidos na mesma região, porém em épocas distintas. Mesmo assim, os peixes do gênero *Pseudoplatystoma*, independentemente da idade e peso, parecem aproveitar a farinha de peixe menos eficientemente que as outras espécies já estudadas e citadas.

Farinha de carne e ossos

Os valores de CDA da proteína e da energia da FCO para o cachara foram similares aos reportados para “rockfish”, respectivamente 91,0 e 93,0% para peixes de 300 g e 90,0 e 90,0% para peixes de 30 g de peso vivo, e para o beijupirá, 87,21 e 90,37% (LEE, 2002; ZHOU et al., 2004). Valores inferiores foram determinados para o “red drum”: 74,06 e 54,09%, respectivamente para a PB e EB (McGOOGAN; REIGH, 1996). Embora a composição química da FCO utilizada por McGoogan e Reigh (1996) não tenha sido informada, os baixos CDAs relatados devem ser resultado da baixa qualidade do ingrediente utilizado, i.e., alta proporção de ossos, os quais são menos digestíveis que as proteínas musculares (NRC, 2011).

Farinha de vísceras de aves

O valor de CDA para a PB da FV para o cachara foi similar aos dados obtidos para o salmão “Coho” (94,2%) e para a truta arco-íris (95,9%) por Sugiura et al. (1998). No entanto, os valores de CDA da proteína da FV registrados para o cachara foram maiores que aqueles registrados para o dourado (91,3%), pintado (61,59%), “largemouth bass” (81,5%), “sunshine bass” (75,16%) e beijupirá (90,9%), respectivamente por Borghesi, Dairiki e Cyrino (2009), Gonçalves e Carneiro (2003), Portz e Cyrino (2004), Thompson et al. (2008) e Zhou et al. (2004).

Em relação ao CDA da EB, os valores estimados foram similares àqueles encontrados para dourado (90,3%), “largemouth” (85,2%), beijupirá (90,58%) (BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009; PORTZ; CYRINO, 2004; ZHOU et al., 2004), mas expressivamente maiores que aquele registrado para juvenis de pintado – 48,98% (GONÇALVES; CARNEIRO, 2003). Todos estes estudos utilizaram FV com uma composição química semelhante. Provavelmente, a diferença na digestibilidade pelo surubim seja resultado do processo de fabricação da dieta e a disponibilidade dos nutrientes nestes ingredientes (ALLAN et al., 2000). Condições de processamento afetam CDA dos ingredientes de origem animal e vegetal, alterando a qualidade e disponibilidade de nutrientes. Bureau, Kaushik e Cho (1999), por exemplo, relataram que as diferenças de digestibilidade de proteína e energia da FPe para truta arco-íris (81 e 87% e de 76 e 80%, respectivamente) podem ser atribuídas ao processo de secagem.

Farinha de penas

O CDA da EB da FPe foi similar àquele determinado para o pintado (51,26%) por Gonçalves e Carneiro (2003), mas foi menor do que o CDA determinado para o “rockfish” por Lee (2002): 73,0% para peixes de 30 g e 85,0% para peixes de 300 g. No entanto, os valores do CDA da PB relatados para juvenis de pintado (39,56%); “rockfish” (63,0% para peixes de 30 g e 79,0% para peixes de 300 g); truta arco-íris (85,9%) e salmão Coho (79,7%), respectivamente por Gonçalves e Carneiro (2003), Lee (2002) e Sugiura et al. (1998), foram expressivamente maiores que aquele registrado para o cachara – 19,75%. Entretanto, no presente estudo, o teor de mineral da farinha de penas foi mais elevado que aqueles dos outros estudos, o que pode ter interferido na digestibilidade da proteína pelo cachara.

Farinha de sangue

O cachara utiliza a energia da FSa de forma semelhante ao juvenil de “rockfish” (86,0%), e utiliza a proteína da FSa similarmente ao relatado para juvenil de “humpback grouper” *Cromileptes altivelis* (55,2%) alimentados com dietas contendo FSa “spray dried” (LEE, 2002; LAINING et al., 2003). Segundo Teixeira et al. (2010), juvenis de surubim utilizam plasma de sangue seco na dieta eficientemente: CDA de 79,18% para PB e 58,8% para EB. No entanto os valores CDA relatados para PB (10,47%) e EB (16,08%) da FSa por Gonçalves e Carneiro

(2003) foram inferiores, provavelmente como resultado do valor nutritivo dos ingredientes utilizados, em que o conteúdo de minerais foi maior que aquele da FSa utilizada nos outros ensaios.

Farelo de soja

FS é a melhor fonte de proteína vegetal conhecida e utilizada como ingrediente para a formulação e processamento de rações para peixes. No entanto, as rações formuladas com base nesta fonte proteica necessitam, normalmente, de suplementação de aminoácidos. O FS pode substituir até 50% da FP em dietas para truta, e até 94% para peixes onívoros. É também mais barato do que a farinha de peixe, e apresenta uma melhor disponibilidade do mercado (LOVELL, 1990; DAVIS; JIRSA; ARNOLD, 1995; CHOU et al., 2004; AI; XIE, 2006; HEIKKINEN et al., 2006; REFSTIE et al., 2006; TIBALDI et al., 2006; VENOU et al., 2006; WANG et al., 2010; HERNÁNDEZ et al., 2007). Os valores dos CDAs da energia e da proteína do FS para o cachara podem ser considerados satisfatórios e próximos aos registrados para o surubim: 83,47% para a energia e 61,52% para a proteína (TEIXEIRA et al., 2010). Em comparação a outros peixes ictiófagos, as espécies marinhas e de água doce, como o “red drum”, salmão “Coho”, truta arco-íris, “sunshine bass”, dourado, “striped bass”, “haddock”, “largemouth bass”, “grouper”, “yellowfin tuna”, “seabream” e “Atlantic cod” (SULLIVAN; REIGH 1995; McGOOGAN; REIGH, 1996; SUGIURA et al., 1998; LIN et al., 2004; PORTZ; CYRINO, 2004; TIBBETTS; MILLEY; LALL, 2006; WU et al., 2006; THOMPSON et al., 2008; BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009), o CDA do cachara para proteína foi inferior e apenas compatível com juvenis de pintado e surubim - 67,2% e 61,52%, respectivamente (GONÇALVES; CARNEIRO, 2003; TEIXEIRA et al., 2010). Neste aspecto, a utilização da proteína dietética do FS por bagres ictiófagos parece ser muito baixa.

Farelo de trigo

O FT tem um teor de amido de 41,91% e o CDA da energia deste ingrediente foi inferior a 40%; isso demonstra a dificuldade do cachara em digerir amido. Valor de CDA da energia do FT foi relatado para o pintado (53,2%), mas também demonstra a baixa capacidade das espécies ictiófagas em aproveitar o amido como fonte de energia. A proteína do FT também não é bem digerível para o cachara. Esta observação corrobora os resultados relatados para o pintado (48,47%) por

Gonçalves e Carneiro (2003). No entanto, valores de CDAs do FT relatados para o pacu – CDA_{PB} de 87,7% e CDA_{EB} de 74,4% – por Abimorad, Squassoni e Carneiro (2008), espécie onívora, são mais elevados do que os encontrados neste estudo.

Milho

A exemplo do FT, o milho é rico em amido (60%); por isso o CDA da PB e da EB para o cachara foram baixos, como esperado. A má utilização de nutrientes do milho também foi observada em pintado – CDA_{PB} de 64,18% e CDA_{EB} de 64,95% (GONÇALVES; CARNEIRO, 2003). Este fato é mais uma vez relacionado com os hábitos alimentares dos peixes, uma vez que maiores valores de digestibilidade da proteína e da energia foram registrados para o onívoro pacu – CDA_{PB} de 85,8% e CDA_{EB} de 75,8% – por Abimorad, Squassoni e Carneiro (2008).

Glutenose de milho

A proteína da GM foi pouco aproveitada pelo cachara – CDA_{PB} de 11,48%. Controversamente, peixes ictiófagos, tais como salmão “Coho”, truta arco-íris, “rockfish”, beijupirá, dourado, “haddock”, “largemouth bass” e “Atlantic cod” (SUGIURA et al., 1998; LEE, 2002; ZHOU et al., 2004; PORTZ; CYRINO, 2004; TIBBETTS; MILLEY; LALL, 2006; BORGHESI; DAIRIKI; CYRINO, 2009) apresentam, em média, altos valores de CDA ($\mu > 80\%$) para a proteína da GM. Juvenis de pintado também podem utilizar eficientemente a proteína e energia da GM – CDAs de 78,91% e 75,76%, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2010). Aparentemente, a baixa utilização de GM pelo juvenil de cachara pode estar relacionada à baixa palatabilidade, processamento e, também, perfil e disponibilidade de nutrientes deste ingrediente.

Em resumo, os melhores CDAs para proteína de origem animal foram registrados para FV, FCO e FP, cujo equilíbrio e perfil de aminoácidos aproximam-se das exigências nutricionais dos peixes. Em contraste, FSa e FPe foram mal digeridos pelo cachara, possivelmente como resultado do desequilíbrio de aminoácidos ou da deficiência de certos aminoácidos essenciais na sua composição.

No que diz respeito a fontes de proteínas vegetais, o FS é o ingrediente mais conhecido e usado para a formulação e processamento de alimentações de peixe, uma vez que se respeite o equilíbrio de aminoácidos entre os ingredientes das

dietas. Por outro lado, GM não se mostrou boa fonte de proteína vegetal para o cachara, bem como não é também uma boa fonte de energia, como o FT e M. Os CDA_{EB} destes ingredientes foram inferiores a 50% para o cachara. Peixes ictiófagos não só têm limitações de digestão e utilização de amido, como também a digestibilidade deste nutriente pode ser afetada pela temperatura e salinidade da água e pela composição da ração (KROGDAHL; HEMRE; MOMMSEN, 2005; HUA; BURREAU, 2009).

4.2 Experimento II

A indisponibilidade de animais em número e lotes uniformes resultou em efeito do peso inicial (PI) sobre os tratamentos. Para minimizar este efeito, a variável peso inicial foi incluída como co-variável nos modelos para a análise de todas as variáveis estudadas (foi utilizado o peso médio dos peixes de 54 g). Em adição, a fragilidade da espécie ao estresse impossibilitou o manejo pré-experimental para a formação de blocos de pesos. Esta sensibilidade ao manejo também foi relatada para outros peixes, como “grouper” *Epinephelus malabaricus* (SHIAU; LAN, 1996). Os animais apresentaram um comportamento de canibalismo - o qual muitas vezes resultou em morte da presa e do predador - durante a aclimação e período experimental, caracterizando sua voracidade. Assim, a mortandade foi atribuída a este comportamento.

O desempenho produtivo (PF, GP, TCE, CR) foi afetado pelo nível de proteína e energia das rações (Tabela 7), sendo que a proteína apresentou efeito quadrático para as variáveis PF, GP e TCE e efeito cúbico para a CR, e a energia apresentou efeito linear para todas estas variáveis. O maior peso final estimado foi 220 g e o maior GP foi de 166 g, obtidos a partir das eq. (3) e eq. (4), respectivamente. Estas respostas corresponderam aos níveis $3600 \text{ kcal kg}^{-1}$ de ED e 38,9% de PD (Figuras 1 e 2). As variáveis TCE e CR também apresentaram os maiores valores estimados – $2,32 \text{ g dia}^{-1}$, pela eq. (5) e 204,2 g, pela eq. (6), respectivamente –, com o menor nível de energia da dieta e com os respectivos níveis de proteína, 38,93% e 39,08% (Figuras 3 e 4). O crescimento dos peixes é influenciado por diversos fatores, como espécie, ambiente, idade, entre outros (CHO, 1992; FARHAT; KHAN, 2011). Esses fatores possivelmente explicam o menor GP (407%) e TCE registrados para o cachara em comparação àqueles registrados para o pintado – GP de 937 - 1089% e TCE de 3,7 - 4,0% – por Martino et al. (2002b).

Tabela 7 - Desempenho produtivo de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{x} \pm EP$)

ED	PD	E:P	PF	GP	TCE	CR
kcal kg ⁻¹	%	kcal kg ⁻¹	g	g	% dia ⁻¹	g
3600	32	11,3	172 $\pm$ 15,0	119 $\pm$ 15,0	1,92 $\pm$ 0,165	178 $\pm$ 9,1
3600	36	10,0	213 $\pm$ 3,4	159 $\pm$ 3,4	2,35 $\pm$ 0,039	182 $\pm$ 2,5
3600	40	9,0	201 $\pm$ 15,0	148 $\pm$ 15,0	2,22 $\pm$ 0,109	194 $\pm$ 9,1
3600	44	8,2	162 $\pm$ 6,2	108 $\pm$ 6,2	1,80 $\pm$ 0,039	130 $\pm$ 6,6
3600	48	7,5	194 $\pm$ 6,2	140 $\pm$ 6,2	2,15 $\pm$ 0,038	145 $\pm$ 6,6
3725	32	11,6	161 $\pm$ 6,4	108 $\pm$ 6,4	1,89 $\pm$ 0,060	132 $\pm$ 1,3
3725	36	10,3	212 $\pm$ 15,1	158 $\pm$ 15,1	2,18 $\pm$ 0,109	179 $\pm$ 2,5
3725	40	9,3	206 $\pm$ 15,1	152 $\pm$ 15,1	2,16 $\pm$ 0,109	193 $\pm$ 1,5
3725	44	8,5	228 $\pm$ 9,0	174 $\pm$ 9,0	2,50 $\pm$ 0,166	112 $\pm$ 6,6
3725	48	7,8	149 $\pm$ 6,2	96 $\pm$ 6,2	1,67 $\pm$ 0,058	164 $\pm$ 2,5
3850	32	12,0	187 $\pm$ 8,9	134 $\pm$ 8,9	2,07 $\pm$ 0,108	159 $\pm$ 9,1
3850	36	10,7	175 $\pm$ 15,1	122 $\pm$ 15,1	2,02 $\pm$ 0,166	179 $\pm$ 1,6
3850	40	9,6	179 $\pm$ 8,9	125 $\pm$ 8,9	2,05 $\pm$ 0,166	166 $\pm$ 6,6
3850	44	8,8	202 $\pm$ 8,9	149 $\pm$ 8,9	2,16 $\pm$ 0,109	83 $\pm$ 1,5
3850	48	8,0	129 $\pm$ 6,3	75 $\pm$ 6,3	1,45 $\pm$ 0,039	163 $\pm$ 9,1
3975	32	12,4	165 $\pm$ 3,5	111 $\pm$ 3,5	1,81 $\pm$ 0,026	157 $\pm$ 1,4
3975	36	11,0	174 $\pm$ 6,2	121 $\pm$ 6,2	1,95 $\pm$ 0,109	177 $\pm$ 1,6
3975	40	9,9	212 $\pm$ 20,6	158 $\pm$ 20,6	2,28 $\pm$ 0,109	163 $\pm$ 9,1
3975	44	9,0	191 $\pm$ 9,0	138 $\pm$ 9,0	2,03 $\pm$ 0,060	56 $\pm$ 1,2
3975	48	8,3	NE	NE	0,93 $\pm$ 0,015	NE
4100	32	12,8	136 $\pm$ 15,1	82 $\pm$ 15,2	1,46 $\pm$ 0,166	161 $\pm$ 6,6
4100	36	11,4	199 $\pm$ 6,3	146 $\pm$ 6,3	2,25 $\pm$ 0,166	181 $\pm$ 9,1
4100	40	10,3	196 $\pm$ 6,2	143 $\pm$ 6,2	2,14 $\pm$ 0,038	180 $\pm$ 9,1
4100	44	9,3	143 $\pm$ 15,0	89 $\pm$ 15,0	1,62 $\pm$ 0,165	98 $\pm$ 9,1
4100	48	8,5	NE	NE	NE	NE
Energia (E)			0,017	0,017	< 0,0001	0,0002
Valor de P	Proteína (P)		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	E x P		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

ED: nível de energia digestível da dieta

PD: nível de proteína digestível da dieta

E:P: relação energia:proteína

PF: peso final de cada peixe

GP: ganho de peso de cada peixe

TEP: taxa de crescimento específico

CR: consumo de ração de cada peixe

NE: não estimável

$$PF(g) = -1014,57 - 0,05960E + 50,4242P - 0,6478P^2 + 8,6627PI \quad (3)$$

Figura 1 - Análise de superfície de resposta do peso final de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$GP(g) = -1014,31 - 0,05958E + 50,4153P - 0,6476P^2 + 7,6591PI \quad (4)$$

Figura 2 - Análise de superfície de resposta do ganho de peso de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$TCE (g\ dfa^{-1}) = -11,9801 - 0,00031E + 0,5378P - 0,00688P^2 + 0,09089PI \quad (5)$$

Figura 3 - Análise de superfície de resposta da taxa de crescimento específico de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$CR (g) = 5368,79 - 0,07240E - 421,47P + 11,3387P^2 - 0,1006P^3 + 4,6154PI \quad (6)$$

Figura 4 - Análise de superfície de resposta do consumo de ração de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

Os animais que receberam ração com os maiores níveis de ED ($4100 \text{ kcal kg}^{-1}$) e PD (48%) perderam peso, fenômeno que pode ser explicado pelo desequilíbrio nutricional, a exemplo do fenômeno correlacionado relatado para o “grouper”, alimentado com dietas isoenergéticas ($3600 \text{ kcal kg}^{-1}$ de EB), mas com níveis muito baixos – 0,0 e 8,0% – de PB (SHIAU; LAN, 1996). Este fato pode ser atribuído ainda ao baixo consumo alimentar dos cacharas deste tratamento, como resultado da aparente baixa palatabilidade da ração, que continha grande proporção de gelatina na sua composição (GLENCROSS; BOOTH; ALLAN, 2007). Além de influenciar no sabor da dieta, as diferentes proporções das fontes proteicas também condicionam uma variação no perfil de nutrientes entre elas, podendo causar diferenças no desempenho (SHIAU; LAN, 1996). Em adição, o baixo consumo alimentar da dieta com os maiores níveis de energia e proteína pode ser consequência do alto nível energético da dieta, visto que os peixes comem para satisfazer a exigência em energia (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000; LEE; PUTNAM, 1973; LEE; CHO; KIM, 2000; SÁ; FRACALLOSSI, 2002).

Cacharas alimentados com os níveis mais baixos de proteína e os mais altos de energia tiveram pior desempenho produtivo. O excesso de energia dietética causa diminuição do crescimento, piora a retenção de proteína e a eficiência alimentar (DANIELS; ROBINSON, 1986). Entretanto, o aumento da quantidade de energia na dieta pode, dentro de certos limites, favorecer o aproveitamento da proteína como verdadeiro nutriente plástico, levando à diminuição da excreção (perdas) de nitrogênio, bem como, também dentro de certos limites, o aumento de níveis de proteína dietética pode melhorar o crescimento e a eficiência alimentar (McGOOGAN; GATLIN III, 2000).

A eficiência na utilização dos nutrientes e energia foi analisada pelo estudo das variáveis CA, TEP, RP, RE, RF, sendo que a CA, TEP e RP apresentaram efeito linear da proteína e energia da dieta, enquanto que a RE só teve efeito linear da energia e a RF não apresentou efeito da dieta (Tabela 8). A melhor CA estimada – eq. (7) – foi de 1,04, com os níveis correspondentes de $3600 \text{ kcal kg}^{-1}$ de ED e 48% de PD (Figura 5). Os dados de CA são similares aos observados para o pintado (0,7-1,1) (MARTINO et al., 2002b, 2003, 2005). A CA melhorou com o aumento do teor de proteína da dieta. No entanto, a TEP e a RP normalmente diminuem com o aumento dos níveis de proteína (DE SILVA et al., 2002; SÁ; POUSÃO-FERREIRA;

OLIVA-TELES, 2006). De fato, neste estudo o maior valor estimado da TEP foi de 2,31 (Figura 6), obtido pela eq. (8) (com os níveis de 3600 kcal kg⁻¹ de ED e 32% de PD), valor próximo àquele registrado para o pintado de 3,0 g (2,2-2,4) (MARTINO et al., 2002b) e 55 g (2,5-2,8) (MARTINO et al., 2003). Em contrapartida, para o salmão do Atlântico, o aumento da densidade de energia (18 a 22 MJ Kg⁻¹ de ED) e de nutrientes (39,1 a 49,3% de PB) resultou na melhoria da eficiência alimentar das dietas e, conseqüentemente, redução dos resíduos totais sólidos, bem como a emissão de nitrogênio e fósforo no meio (AZEVEDO et al., 2002). Neste aspecto, fica claro que os pesquisadores devem avaliar em detalhes os resultados do conjunto das variáveis estudadas e não analisar uma variável isoladamente.

Tabela 8 - Eficiência alimentar de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{u} \pm EP$)

ED	PD	E:P	CA		TEP		RP		RE	
Kcal kg ⁻¹	%	Kcal kg ⁻¹					%			
3600	32	11,3	1,35	± 0,007	2,31	± 0,009	32,1	± 5,06	30,8	± 1,38
3600	36	10,0	1,16	± 0,041	2,40	± 0,068	37,0	± 2,00	38,5	± 2,23
3600	40	9,0	1,34	± 0,099	1,89	± 0,104	29,3	± 3,34	40,9	± 2,17
3600	44	8,2	1,19	± 0,041	1,91	± 0,104	30,1	± 0,32	35,5	± 5,57
3600	48	7,5	1,04	± 0,024	2,01	± 0,042	30,8	± 0,57	43,3	± 3,57
3725	32	11,6	1,31	± 0,099	2,42	± 0,163	37,6	± 2,01	25,6	± 7,63
3725	36	10,3	1,13	± 0,099	2,24	± 0,024	37,7	± 5,07	43,5	± 5,64
3725	40	9,3	1,26	± 0,099	2,01	± 0,163	29,7	± 3,35	39,1	± 3,66
3725	44	8,5	1,07	± 0,060	2,14	± 0,105	33,0	± 1,22	28,4	± 7,62
3725	48	7,8	1,18	± 0,060	1,78	± 0,104	26,3	± 0,57	37,1	± 5,56
3850	32	12,0	1,23	± 0,041	2,55	± 0,104	35,8	± 1,47	34,7	± 9,27
3850	36	10,7	1,37	± 0,099	2,06	± 0,163	31,5	± 2,00	29,2	± 3,63
3850	40	9,6	1,47	± 0,041	1,71	± 0,068	24,7	± 1,21	22,9	± 7,59
3850	44	8,8	1,11	± 0,060	2,05	± 0,104	31,6	± 2,00	40,0	± 3,60
3850	48	8,0	1,21	± 0,151	1,80	± 0,240	25,9	± 3,34	32,7	± 2,22
3975	32	12,4	1,42	± 0,025	2,20	± 0,042	32,7	± 1,22	21,2	± 5,61
3975	36	11,0	1,29	± 0,041	2,15	± 0,068	32,6	± 1,20	27,3	± 3,57
3975	40	9,9	1,17	± 0,151	1,92	± 0,128	33,3	± 5,06	38,0	± 5,56
3975	44	9,0	1,16	± 0,008	1,96	± 0,015	30,2	± 2,01	30,7	± 3,69
3975	48	8,3	1,59	± 0,121	1,39	± 0,068	23,1	± 1,21	24,3	± 3,61
4100	32	12,8	1,65	± 0,185	1,91	± 0,200	27,0	± 5,07	22,1	± 3,75
4100	36	11,4	1,27	± 0,010	2,19	± 0,019	32,5	± 2,00	22,7	± 7,59
4100	40	10,3	1,26	± 0,012	1,98	± 0,018	29,9	± 0,56	35,3	± 2,16
4100	44	9,3	1,16	± 0,099	1,99	± 0,163	30,2	± 3,34	34,5	± 3,57
4100	48	8,5	NE		NE		NE		NE	
Energia (E)			ns		0,0123		ns		0,0050	
Valor de P Proteína (P)			0,0266		0,0004		0,0003		ns	
E x P			0,0452		0,0035		0,0069		ns	

ED: nível de energia digestível da dieta
PD: nível de proteína digestível da dieta
E:P: relação energia:proteína
CA: conversão alimentar
TEP: taxa de eficiência proteica
RP: retenção de proteína
RE: retenção de energia;
NE: não estimável
ns: não significativo ($p > 0,05$)

$$CA = 2,4263 + 0,000117E - 0,01940P - 0,01629PI \quad (7)$$

Figura 5 - Análise de superfície de resposta da conversão alimentar de cacharos em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$TEP(\%) = 2,9295 - 0,00022E - 0,02120P + 0,01566PI \quad (8)$$

Figura 6 - Análise de superfície de resposta da taxa de eficiência proteica de cacharos em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

O melhor valor estimado de RP neste estudo – eq. (9) – foi de 33,41% (3600 kcal kg⁻¹ de ED e 32% de PD) (Figura 7), inferior ao do pintado de 55 g (39,7-44,7%) (MARTINO et al., 2003) e de 5,1 g (45-48%) (MARTINO et al., 2005). Tratando-se de RE, o melhor valor estimado – eq. (10) – para o cachara foi 38,84%, com o nível de 3600 kcal kg⁻¹ de ED da dieta (Figura 8), pouco superior ao do pintado – 34-36 (MARTINO et al., 2005). Os melhores valores de RP e RE neste experimento foram registrados com o menor nível de energia utilizado na dieta, o que correspondeu a um nível de 15% e 10% de lipídio dietético, respectivamente, enquanto que para o pintado, Martino et al. (2002a) relataram a melhora no desempenho produtivo com o aumento dos níveis de lipídios de 6,0 para 18,0% e consequente aumento da energia bruta da dieta, de 4440 para 5140 kcal kg⁻¹. Entretanto, ao aumentar os níveis de lipídio dietético de 19 para 27%, os mesmos autores não observaram a melhora na eficiência alimentar (MARTINO et al., 2005). Aparentemente o cachara possui menor exigência em energia e lipídios em comparação ao pintado. No aspecto de eficiência alimentar e consequente redução de poluentes no meio (principalmente nitrogênio e fósforo), também foi estudada a variável RF, com média para o cachara de 37,8%, inferior ao salmão do Atlântico (49,1-60,1%) (AZEVEDO et al., 2002).

$$RP(\%) = -8,005 - 0,00379E - 0,2502P + 1,1679PI \quad (9)$$

Figura 7 - Análise de superfície de resposta da eficiência em retenção de proteína de cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$RE (\%) = 50,2065 - 0,01924E + 1,0713PI \quad (10)$$

Figura 8 - Análise de regressão da eficiência em retenção de energia de cacharas em função dos níveis de energia da dieta

A composição da carcaça dos cacharas não foi afetada pelo teor de energia e proteína da dieta (Tabela 9), o mesmo tendo ocorrido com o pintado em um experimento para a avaliação da utilização de níveis de carboidratos e lipídios (MARTINO et al., 2005), com o estudo de níveis de proteína e lipídio para o "Malaysian mahseer" *Tor tambroides* (NG; ABDULLAH; DE SILVA, 2008) e "white sea bream" *Diplodus sargus* (SÁ; POUSÃO-FERREIRA; OLIVA-TELES, 2006). No entanto, alguns autores que encontraram o efeito da dieta na composição da carcaça dos peixes (CRAIG; SCHWARZ; McLEAN, 2006; COTAN et al., 2006; MOHSENI et al., 2011; GIRI et al., 2011), principalmente com relação aos teores de energia e umidade da carcaça, como Martino et al. (2002a) ao estudar níveis de lipídios para o pintado. A diferença nos resultados entre os ensaios pode ser explicada pelo fato que além da dieta, a composição da carcaça dos peixes inteiros está associada a outros fatores, como os exógenos temperatura, salinidade da água e manejo alimentar, ou endógenos como idade, sexo, espécie, tamanho e estágio de ciclo de vida (SHEARER, 1994).

Tabela 9 - Composição da carcaça ($\bar{x} \pm EP$) de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta

Tratamento		UM	PB	EE	MM	F	EB
ED	3600	71,5 ± 0,55	15,5 ± 0,19	7,9 ± 0,45	3,2 ± 0,27	0,55 ± 0,038	1732 ± 53,6
	3725	72,7 ± 0,83	15,2 ± 0,66	7,3 ± 0,66	3,0 ± 0,15	0,55 ± 0,042	1606 ± 75,2
	3850	74,0 ± 1,60	14,3 ± 0,75	7,3 ± 0,88	2,8 ± 0,13	0,48 ± 0,027	1553 ± 113,2
	3975	73,1 ± 0,75	NE	6,8 ± 0,68	3,1 ± 0,25	0,55 ± 0,024	1572 ± 84,7
	4100	NE	NE	NE	NE	NE	NE
PD	32	74,2 ± 1,64	NE	6,6 ± 0,84	3,1 ± 0,32	0,53 ± 0,043	1510 ± 116,1
	36	72,8 ± 0,68	15,2 ± 0,39	7,2 ± 0,63	2,9 ± 0,18	0,50 ± 0,025	1599 ± 65,7
	40	71,3 ± 0,77	15,1 ± 0,43	8,5 ± 0,68	3,0 ± 0,15	0,56 ± 0,041	1759 ± 82,4
	44	73,0 ± 0,68	15,5 ± 0,59	6,9 ± 0,59	3,2 ± 0,18	0,55 ± 0,027	1570 ± 68,0
	48	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Valor de P	Energia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Proteína	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	E x P	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ED: nível de energia digestível da dieta (kcal kg⁻¹)

PD: nível de proteína digestível da dieta (%)

UM: umidade (%); PB: proteína bruta (%)

EE: extrato etéreo (%)

MM: matéria mineral (%)

F: fósforo (%)

EB: energia bruta kcal kg⁻¹

NE: não estimável

ns: não significativo (p>0,05)

O alto conteúdo de energia não afetou a composição corporal dos cacharas, mas a variação registrada para os índices viscerais mostra que o conteúdo de energia das dietas alterou o metabolismo dos peixes. O aumento de energia dietética, que pode ser devido ao excesso de lipídios, carboidratos e proteína da dieta, resulta em acúmulo de gordura no fígado (IHS) e nas vísceras (ILS e IVS), com consequente hipermegalia. No presente trabalho, a energia e a proteína da dieta afetaram linearmente o IHS, a exemplo do relatado por Daniels e Robinson (1986) para juvenis de “red drum” e Lee, Jeon e Lee (2002) para o “rockfish”. Houve efeito linear da proteína e energia dietéticas sobre o acúmulo de lipídio abdominal, a exemplo do relatado para o “sunshine bass” (KEEMBIYEHETTY; WILSON, 1998) e para o pintado (MARTINO et al., 2002a; 2005). Como consequência, corroborando com resultados de outros estudos, houve efeito quadrático da proteína e linear da energia sobre o IVS dos cacharas (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000; LEE; PUTNAM, 1973; MARTINO et al., 2002b; VALENTE et al., 2011) (Tabela 10). No entanto, Martino et al. (2005) não registraram efeitos dos níveis de carboidrato e lipídio dietéticos na IHS e IVS de juvenis de pintado. Infere-se, assim, que o primeiro indício de desequilíbrio no balanço de nutrientes são as alterações em nível

metabólico, o que não necessariamente representa danos no crescimento ou saúde (LEE; JEON; LEE, 2002).

Tabela 10 - Índices viscerais, triglicerídeos e proteína sérica de juvenis de cachara alimentados por 60 dias com diferentes níveis de proteína e energia na dieta ($\bar{x} \pm EP$)

ED	PD	E:P	IVS		IHS		ILS		TGL	PT
kcal kg ⁻¹	%	kcal kg ⁻¹	-----%		-----%		-----%		mg dL ⁻¹	g dL ⁻¹
3600	32	11,3	10,2	± 0,56	2,20	± 0,177	2,42	± 0,507	1182 ± 187,7	5,9 ± 0,69
3600	36	10,0	8,4	± 0,25	1,45	± 0,107	2,36	± 0,083	425 ± 108,4	NE
3600	40	9,0	7,3	± 1,02	1,79	± 0,177	1,35	± 0,268	1089 ± 187,7	5,4 ± 1,25
3600	44	8,2	7,8	± 0,25	2,12	± 0,178	1,56	± 0,508	944 ± 293,8	4,4 ± 1,25
3600	48	7,5	8,9	± 0,17	2,33	± 0,019	1,87	± 0,508	1277 ± 293,7	6,2 ± 0,69
3725	32	11,6	10,2	± 0,25	1,45	± 0,178	3,17	± 0,510	325 ± 109,1	2,6 ± 0,30
3725	36	10,3	9,4	± 0,56	1,69	± 0,041	2,95	± 0,272	786 ± 109,0	4,6 ± 0,70
3725	40	9,3	8,2	± 0,56	1,96	± 0,264	1,87	± 0,110	1065 ± 188,1	6,3 ± 1,25
3725	44	8,5	9,6	± 0,17	2,08	± 0,178	2,26	± 0,272	1270 ± 103,7	5,7 ± 0,70
3725	48	7,8	10,2	± 0,05	2,52	± 0,038	1,27	± 0,508	1044 ± 108,1	5,8 ± 0,69
3850	32	12,0	12,1	± 0,56	1,58	± 0,177	5,47	± 0,102	417 ± 108,0	2,8 ± 0,29
3850	36	10,7	9,5	± 0,17	1,58	± 0,040	3,45	± 0,157	601 ± 45,4	3,5 ± 0,30
3850	40	9,6	8,9	± 0,56	1,87	± 0,107	2,03	± 0,508	1058 ± 187,9	5,1 ± 0,30
3850	44	8,8	8,8	± 0,17	2,67	± 0,107	2,38	± 0,508	1056 ± 187,8	4,8 ± 0,70
3850	48	8,0	8,3	± 0,56	1,87	± 0,264	1,77	± 0,155	644 ± 293,8	2,9 ± 0,70
3975	32	12,4	11,3	± 0,56	2,22	± 0,487	4,09	± 0,509	673 ± 188,1	3,9 ± 0,70
3975	36	11,0	10,5	± 0,56	1,68	± 0,077	3,37	± 0,102	1103 ± 293,7	4,9 ± 0,69
3975	40	9,9	8,8	± 0,17	2,10	± 0,107	2,09	± 0,268	1409 ± 400,0	7,0 ± 1,98
3975	44	9,0	9,9	± 0,25	2,41	± 0,108	2,44	± 0,160	927 ± 109,1	5,1 ± 0,30
3975	48	8,3	8,8	± 0,10	1,46	± 0,039	1,51	± 0,105	190 ± 15,0	2,1 ± 0,19
4100	32	12,8	11,8	± 0,56	2,20	± 0,487	4,16	± 0,511	1219 ± 109,5	4,4 ± 0,70
4100	36	11,4	10,1	± 0,56	1,53	± 0,107	2,96	± 0,509	908 ± 188,0	6,0 ± 0,19
4100	40	10,3	10,1	± 0,56	2,27	± 0,106	2,20	± 0,153	1431 ± 293,7	7,0 ± 0,69
4100	44	9,3	10,3	± 0,56	2,26	± 0,107	2,70	± 0,508	897 ± 293,7	4,5 ± 0,21
4100	48	8,5	NE		NE		NE		NE	NE
Energia (E)			0,0016		ns		0,0006		ns	
Valor de P Proteína (P)			< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001		0,0088	
E x P			0,0001		0,0001		0,0191		< 0,0001	

ED: nível de energia digestível da dieta

PD: nível de proteína digestível da dieta

E:P: relação energia:proteína

IVS: índice viscerossomático

IHS: índice hepatossomático

ILS: índice lipossomático

TGL: nível de triglicerídeos no soro

PT: proteína total sérica

NE: não estimável

ns: não significativo ($p > 0,05$)

Os melhores níveis de ED e PD para as variáveis IHS, ILS e IVS foram, respectivamente, 4100 kcal kg⁻¹ ED e 32% de PD (Figura 9), 3600 kcal kg⁻¹ ED e 48% de PD (Figura 10) e 3600 kcal kg⁻¹ ED e 41,2% de PD (Figura 11). No presente trabalho, o menor valores estimado de IHS, 1,59%, eq. (11), assemelham-se aos obtidos por Bicudo et al. (2012) para cachara de 113,56 g (1,37-2,56%), mas são

maiores que os obtidos para o pintado de 5,1 g (0,9%) por Martino et al. (2005). Com a análise gráfica é possível verificar que o nível de energia da dieta pouco influenciou os valores de IHS. Assim, o nível dietético de 3600 kcal kg⁻¹ resultou em resposta semelhante ao nível de 4100 kcal kg⁻¹. A variação na resposta (1,59 – 2,37%) pode ser atribuída aos diferentes níveis de proteína na dieta (32 – 48%). Tratando-se do ILS, o melhor valor estimado neste trabalho, a partir da eq. (12), foi de 1,19%, sendo similar aos valores estimados para cacharas de maior peso (0,64-1,57%) por Bicudo et al. (2012). Considerando a influência da gordura visceral no peso das vísceras, como esperado o menor, e, portanto, melhor valor estimado de IVS, por meio da eq. (13), foi 8,0%, superior aos obtidos para o pintado (5,1-5,8%) (MARTINO et al., 2005) e cachara (4,49-5,03%) (BICUDO et al., 2012).

$$IHS(\%) = -1,4668 - 0,00003E + 0,04792P + 0,03042PI \quad (11)$$

Figura 9 - Análise de superfície de resposta do índice hepatossomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$ILS(\%) = -6,1086 + 0,001844E - 0,1073P + 0,1076PI \quad (12)$$

Figura 10 - Análise de superfície de resposta do índice lipossomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$IVS(\%) = 23,6209 + 0,004018E - 1,9592P + 0,02377P^2 + 0,1896PI \quad (13)$$

Figura 11 - Análise de superfície de resposta do índice viscerossomático em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

A PT e o TGL no sangue são variáveis que representam o metabolismo do animal. Níveis adequados indicam que o peixe está saudável e com condições de expressar um bom desempenho (MISRA et al., 2006). Neste estudo a PT sérica do cachara foi afetada pela dieta, linearmente pela energia e de forma quadrática pela proteína, sendo que o nível dietético de 41,9% de PD e 3600 kcal kg⁻¹ resultaram no maior nível de PT estimado – 5,57 g dL⁻¹, eq. (14) (Figura 12); valores próximos foram encontrados por Bicudo et al. (2012) para cacharas de maior porte (5,80-16,65 g dL⁻¹). Maiores níveis de lipídios na dieta resultam em maiores níveis de TGL no soro (VALENTE et al., 2011). Neste estudo, a dieta influenciou os níveis desta variável, sendo a energia de forma linear e a proteína de forma cúbica. O valor mais baixo estimado de TGL (142 mg dL⁻¹) foi obtido com os níveis de ED de 4100 kcal kg⁻¹ e PD de 48%, enquanto os maiores níveis foram estimados com os níveis 3600 kcal kg⁻¹ de ED e de 44,9% de PD, eq. (15). Porém, ao analisar graficamente as respostas, percebe-se que os níveis de 3600 kcal kg⁻¹ de ED e de 32% de PD promovem uma resposta muito próxima à mínima estimada (Figura 13), demonstrando a importância desta observação para a determinação precisa das exigências nutricionais.

$$PT \text{ (g dL}^{-1}\text{)} = -38,0139 - 0,00140E + 1,9788P - 0,02362P^2 + 0,1330PI \quad (14)$$

Figura 12 - Análise de superfície de resposta dos níveis de proteína sérica em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

$$TGL (mg dL^{-1}) = 12305 + 9,3414E - 2967,57P + 104,51P^2 - 0,9185P^3 - 0,2398EP - 0,7208PI \quad (15)$$

Figura 13 - Análise de superfície de resposta do nível de triglicerídeos no soro em cacharas em função dos níveis de energia e proteína da dieta (resposta máxima: ■ e mínima: ■)

Utilizando as estimativas obtidas a partir dos modelos de cada variável aliadas às análises gráficas, conclui-se que para garantir o melhor desempenho de cacharas é indicado utilizar dietas contendo os níveis de 3600 kcal kg⁻¹ de ED, 39% de PD e 9,23 kcal g⁻¹ de ED:PD (Tabela 11). Por facilidade de comparação estes valores significam 15 MJ kg⁻¹ de ED e uma relação de PD:ED de 25 g MJ⁻¹. Para a definição destes níveis foram consideradas as melhores respostas em crescimento, sem deixar de considerar a eficiência alimentar e as variáveis metabólicas relacionadas às vísceras e ao sangue. Assim, foi considerado o equilíbrio entre essas variáveis para garantir a saúde dos peixes e a menor emissão de poluentes no meio.

Tabela 11 - Respostas máximas e mínimas estimadas com os respectivos níveis de energia e proteína da dieta de todas as variáveis analisadas e o correspondente coeficiente de determinação

Variáveis	Resposta máxima	E	P	Resposta mínima	E	P	R ²
		kcal kg ⁻¹	%		kcal kg ⁻¹	%	
Peso final (g)	219,9	3600	38,9	136,7	4100	48,0	0,51
Ganho de peso (g)	166,0	3600	38,9	82,9	4100	48,0	0,50
Taxa de crescimento específico (% dia ⁻¹)	2,32	3600	39,1	1,62	4100	48,0	0,45
Consumo de ração (g)	204,2	3600	41,4	89,4	4100	48,0	0,68
Conversão alimentar	1,41	4100	32,0	1,04	3600	48,0	0,16
Taxa de eficiência proteica (%)	2,31	3600	32,0	1,86	4100	48,0	0,44
Retenção de proteína (%)	33,41	3600	32,0	27,51	4100	48,0	0,25
Retenção de energia (%)	38,84	3600	-	24,44	4100	-	0,20
Índice viscerossomático (%)	13,00	4100	32,0	7,95	3600	41,2	0,54
Índice hepatossomático (%)	2,37	3600	48,0	1,59	4100	32,0	0,12
Índice lipossomático (%)	3,83	4100	32,0	1,19	3600	48,0	0,52
Triglicerídeos no soro (mg dL ⁻¹)	1445	3600	44,9	142	4100	48,0	0,21
Proteínas totais séricas (g dL ⁻¹)	5,57	3600	41,9	2,56	4100	32,0	0,12

A exigência do cachara em proteína foi próxima àquela de outros peixes ictiófagos, como o “sunshine bass” (2,68 g, 40,8%) (BROWN; NEMATIPOUR; GATLIN III, 1992), “Malaysian catfish” (25,4 g, 42%; 10 g, 44%) (KHAN et al., 1993) (NG; SOON; HASHIM, 2001), “bagrid catfish” (20,2 g, 39,1%) (GIRI et al., 2011). Enquanto que, os peixes onívoros apresentam exigências inferiores, e.g.: carpa cabeça-grande (3,8 mg, 30,1%) (SANTIAGO; REYES, 1991), pacu (4,62 - 11,31 g, de 26%) (FERNANDES; CARNEIRO; SAKOMURA, 2000), bagre do canal (27 g, 24%) (ROBINSON; LI, 1997). Estas diferenças são explicadas pelo fato de que o hábito alimentar dos peixes tem influência nas características morfológicas e fisiológicas do trato digestório, assim as diferentes espécies aproveitam de forma distinta os nutrientes (CYRINO et al., 2010).

Tratando-se de surubins, espécies neotropicais, a exigência determinada em proteína para o cachara foi superior àquela encontrada para juvenis de pintado (30% de PB), enquanto que as exigências em energia do cachara foram inferiores àquelas relatadas no mesmo experimento, i.e., 4000 kcal kg⁻¹ de ED, por Machado (1999). O mesmo parece ocorrer quando as exigências digestíveis determinadas neste trabalho são comparadas àquelas exigências brutas relatadas por Zanardi,

Boquembuzo e Koberstein (2008) para juvenis de pintado: 40% PB e 3781,79 kcal kg⁻¹ de EB.

Ao comparar a relação PD:ED: para o cachara (25 g MJ⁻¹), observa-se que valores semelhantes foram relatados para o “black bass” (14,46 g), de 26,1 g MJ⁻¹ (CYRINO; PORTZ; MARTINO, 2000), e pouco inferiores aos valores determinados para a piracanjuba (8,38 g) de 23,1 g MJ⁻¹ (SÁ; FRACALOSSO, 2002), para o curimatá (2,72 g) de 23,06 g MJ⁻¹ (BOMFIM et al., 2005), para a tilápia do Nilo (30 g) de 23,9 g MJ⁻¹ (GONÇALVES et al., 2009), para o “striped sea bream” (85 g) de 23 g MJ⁻¹ (KUSKU et al., 2011), para o esturjão persa (103,3 g) de 22 g MJ⁻¹ (MOHSENI et al., 2011), para o pacu (15,5 g) de 22,2 g MJ⁻¹ (BICUDO; SADO; CYRINO, 2010) e para o bagre africano (10,9 g), de 20,5 g MJ⁻¹ (ALI; JAUNCEY, 2005). Valores menores foram encontrados para o salmão do Atlântico (1000 g) de 19 g MJ⁻¹ (EINEN; ROEM, 1997) e para carpa indiana *Labeo rohita*, (4,2 g) de 18,43 g MJ⁻¹ (SATPATHY; MUKHERJEE; RAY, 2003).

5 CONCLUSÕES

A farinha de vísceras de aves e a farinha de carne e ossos podem ser utilizadas para substituir a farinha de peixe, como fontes de proteína e de energia, respectivamente. Em relação às exigências de energia e proteína para o cachara, para um ótimo desempenho e possível minimização das perdas por excreção, foram determinados os níveis de 3600 kcal kg⁻¹ de ED, 39% de PD e 9,23 kcal g⁻¹ de ED:PD.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cachara é uma espécie suscetível a enfermidades quando submetido ao estresse, situação comum em laboratório. Com isso, as dificuldades em manter a temperatura na zona de conforto, manejo e problemas como falta de energia (baixo nível de oxigênio e alto de amônia) condicionaram a perda de muitos animais na tentativa de executar estes experimentos. Além disso, existiu a dificuldade de aquisição de cacharas puros, pois comercialmente é comum a hibridização. Em adição, a reprodução destes peixes ocorre somente em um período do ano.

Para a formulação das dietas foi enfrentado o desafio de formular as 25 dietas considerando balanceamento aproximado entre elas (como cálcio e fósforo, fibra e amido). A dieta que continha os maiores níveis de proteína e energia inicialmente era composta somente de farinha vísceras, por isso optou-se por incluir a gelatina como ingrediente, mesmo sem ter sido estudado sua digestibilidade para o cachara, pois é um ingrediente puro e bem aproveitado por outros peixes. Porém, esta escolha favoreceu a baixa aceitabilidade dos grânulos alimentares e, provavelmente, ocasionou desbalanço em aminoácidos.

Durante a execução do ensaio, a dificuldade em deixar as instalações totalmente escuras foi um empecilho para trabalhar com o fotoperíodo invertido; desta forma, durante o ensaio, foi respeitado o hábito noturno dos cacharas para a alimentação. Depois de finalizada a parte experimental, a dificuldade encontrada foi a variação nas respostas entre as unidades experimentais, gerando a heterogeneidade das variâncias, o que resultou em muito trabalho para a adequação das análises estatísticas. Este procedimento precisou ser realizado com auxílio de um especialista e teve a duração de aproximadamente um ano de muito estudo. Todos estes problemas foram importantes e contribuíram para minha formação intelectual.

Este trabalho forneceu dados com relação ao aproveitamento de ingredientes e exigências de energia e proteína para esta espécie até então “desconhecida” cientificamente. Apesar do valor determinado de energia no estudo de exigências ter sido o menor, levando a questão de que os níveis utilizados de energia podem ter sido insuficientes, ressalta-se que seria impossível o balanço entre energia e proteína com níveis menores.

Finalmente, ressalta-se que esta espécie deve ser mais bem estudada, como o sistema de produção para melhorar as técnicas de manejo, domesticação por meio de melhoramento genético e seleção, além da continuidade das pesquisas em nutrição. Essas linhas de pesquisa são essenciais para viabilizar a criação desta espécie tão apreciada.

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004.

ABIMORAD, E.G.; SQUASSONI, G.H.; CARNEIRO, D.J. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 14, p. 374-380, 2008.

AI, Q.; XIE, X. Effects of dietary soybean protein levels on metabolic response of the southern catfish, *Silurus meridionalis*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Philadelphia, v. 144, p. 41-47, 2006.

AI, Q.; MAI, K.; TAN, B.; XU, W.; DUAN, Q.; MA, H.; ZHANG, L. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 260, p. 255-263, 2006.

ALI, M.Z.; JAUNCEY, K. Approaches to optimizing dietary protein to energy ratio for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.11, p. 95-101, 2005.

ALLAN, G.L.; ROWLAND, S.J.; PARKINSON, S.; STONE, D.A.J.; JANTRAROTAI, W. Nutrient digestibility for juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus*: development of methods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 170, p. 131-145, 1999.

ALLAN, G.L.; PARKINSON, S.; BOOTH, M.A.; STONE, D.A.J.; ROWLAND, S.J.; FRANCES, J.; WARNER-SMITH, R. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I digestibility of alternative ingredients. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 186, p. 293-310, 2000.

ANDERSON, J.S.; LALL, S.P.; ANDERSON, D.M.; CHANDRASOMA, J. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea water. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 108, p. 111-114, 1992.

ANDRADE, L.S.; HAYASHI, C.; SOUZA, S.R.; SOARES, C.M. Canibalismo entre larvas de pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*, cultivadas sob diferentes densidades de estocagem. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 26, n.º. 3, p. 299-302, 2004.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis, W. Horwitz, (Ed) 17th ed. Gaithersburg, MD, USA, 2000, 1141p.

ARSLAN, M.; RICHARD, J.; DABROWSKI, K.; PORTELLA, M.C. Effects of different dietary lipid sources on the survival, growth, and fatty acid composition of south Brazilian catfish, *Pseudoplatystoma fasciatum*, surubim, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 39, n. 1, p. 51-61, 2008.

AUSTRENG, E. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract.

Aquaculture, Amsterdam, v. 13, p. 265-272, 1978.

AZEVEDO, P.A.; LEESON, S.; CHO, C.Y.; BUREAU, D.P. Growth, nitrogen, and energy utilization by four juvenile salmonid species: Diet, species, and size effects.

Aquaculture, Amsterdam, v. 234, p. 393-314, 2004.

AZEVEDO, P.A.; BUREAU, D.P.; LEESON, S.; CHO, C.Y. Growth and efficiency of feed usage by Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with different dietary protein: Energy ratios at two feeding levels. **Fisheries Science**, Tokyo, v. 68, p. 878–888, 2002.

BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; CYRINO, J.E.P. Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) in response to dietary protein and energy levels. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 16, p. 213-222, 2010.

BICUDO, A.J.A.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K.; SADO, R.Y.; CYRINO, J.E.P. Performance of juveniles of *Pseudoplatystoma fasciatum* fed graded levels of corn gluten meal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.838-845, 2012.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; SERAFINI, M.A.; RIBEIRO, F.B.; PENA, K.S. Proteína Bruta e Energia Digestível em Dietas para Alevinos de Curimatá (*Prochilodus affinis*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.1795-1806, 2005.

BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L.; PIROZZI, I. Estimation of digestible protein and energy requirements of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* using a factorial approach.

Aquaculture, Amsterdam, v. 307, p. 247–259, 2010.

BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K.; CYRINO, J.E.P. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for dourado *Salminus brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 15, p. 453-458, 2009.

BREMER NETO, H.; GRANER, C.A.F.; PEZZATO, L.E.; PADOVANI, C.R.; CANTELMO, O.A. Reduction in Chromium (III) Oxide Level as an External Marker. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 249-255, 2003.

BRITSKI, H.E.; SATO, Y.; ROSA, A.B.S. **Manual de Identificação de Peixes da Região de Três Marias**. 3 ed. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Brasília, DF: CODEVASF, 1988. 115p.

BRITSKI, H.A.; SILIMON, K.Z. S.; LOPES B.S. **Peixes do Pantanal: Manual de Identificação**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 2007. .227p.

BROWN, M.L.; NEMATIPOUR, G.R.; GATLIN III, D.M. Dietary Protein Requirement of Juvenile Sunshine Bass at Different Salinities. **The Progressive Fish-Culturist**, Bethesda, v. 54, p.148-156, 1992.

BITRAGO-SUÁREZ, U.A.; BURR, B.M. Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) with recognition of eight species. **Zootaxa**, Auckland, v.1512, p. 1–3, 2007.

BUREAU, D. P.; CHO, C. Y. 1999. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Estimation of dissolved phosphorus output. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 179, p. 127-140, 1999.

BUREAU, D.P.; KAUSHIK, S.J.; CHO, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 180, p. 345-358, 1999.

_____. Bionergetics. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. **Fish Nutrition**. 3rd ed., San Diego:Elsevier Academic Press, 2002. p. 1-59.

CAMARGO, S.O.; POUEY, J.L.; MARTINS, E.C. Parâmetros eritrocitários do jundiá (*Rhamdia quelen*) submetido à dieta com diferentes níveis de proteína. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1406-1411, 2005.

CAMPOS, J.L. O cultivo do pintado, *Pseudoplatystoma coruscans* (Spix & Agassiz, 1829) e outras espécies do gênero e seus híbridos. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L.C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2.ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2010. p. 335-382.

CHATZIFOTIS, S.; PANAGIOTIDOU, M.; PAPAIOANNOU, N.; PAVLIDIS, M.; NENGAS, I.; MYLONAS, C.C. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 307, p. 65–70, 2010.

CHO, C.Y. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 100, p. 107-123, 1992.

CHO, C.Y.; KAUSHIK, S. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout. **World Review of Nutrition and Dietetics**, Basel, v. 61, p. 132–172, 1990.

CHOU, R.L.; HER, B.Y.; SU, M.S.; HWANG, G.; WU, Y.H.; CHEN, H.Y. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 229, p. 325-333, 2004.

COTAN, J.L.V.; LANNA, E.A.T.; BOMFIM, M.A.D.; DONZELE, J.L.; RIBEIRO, F.B.; ANTONIO SERAFINI, M.A. Níveis de energia digestível e proteína bruta em rações para alevinos de lambari tambuí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p. 634-640, 2006.

COWEY, C.B. Nutrition: estimating requirements of rainbow trout. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 100, p. 177-189 1992.

CRAIG, S.R.; SCHWARZ, M.H; McLEAN, E. Juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, p. 384–391, 2006.

CREPALDI, D.V.; FARIA, P.M.C.; TEIXEIRA, E.A.; RIBEIRO, L.P.; COSTA, A.A.P.; MELO, D.C.; CINTRA, A.P.R.; PRADO, S.A.; COSTA, F.A.A.; DRUMOND, M.L.; LOPES, V.E.; MORAES, V.E. Biologia reprodutiva do surubim (*Pseudoplatystoma coruscans*). **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 159-167, 2006.

CYRINO, J.E.P.; PORTZ, L.; MARTINO, R.C. Retenção de proteína e energia em juvenis de “black bass” *Micropterus salmoides*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.609-616, 2000.

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.D.A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p. 68-87, 2010.

DABROWSKI, K.; ARSLAN, M.; RICHARD, J.; PALACIOS, M. E. Growth, maturation, induced spawning, and production of the first generation of south Brazilian catfish, *Pseudoplatystoma* sp., in North America. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 39, n. 2, p. 174-183, 2008.

DANIELS, W.H.; ROBINSON, E.H. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 53, p. 243-252, 1986.

DAVIS, D.A.; JIRSA, D.; ARNOLD, C.R. Evaluation of soybean proteins as replacements for menhaden fish meal in practical diets for the Red Drum *Sciaenops ocellatus*. **Journal of The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 26, n. 1, p. 48-58, 1995.

DE SILVA, S.S.; GUNASEKERA, R.M.; COLLINS, R.A.; INGRAM, B.A. Performance of juvenile Murray cod, *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell), fed with diets of different protein to energy ratio. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.8, 79-85, 2002.

DEAN, J.C.; GARLING JR, D.L.; NIELSEN, L.A. Effects of dietary protein quantity and protein quality on growth rate and on selected enzyme activities in channel catfish. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Philadelphia, v. 83B, n. 2, p. 355-363, 1986.

DEL-GUERRA, L.O.M.; TAKATA, R.; CLAVIJO-AYALA, J.A.; MENOSSI, O.C.C.; LEITÃO, N.J.; PORTELLA, M.C. 2007. Diferentes densidades de estocagem no treinamento alimentar de pintado *Pseudoplatystoma coruscans*. Resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE PEIXES NATIVOS DE ÁGUA DOCE, 1., 2007, Dourados. **Anais eletrônicos...** Dourados, 2007. Disponível em: <http://www.cpao.embrapa.br/congressopeixe2007/TRABALHOS/LARVICULTURA_E_ALEVINAGEM/LARVI_05.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2010.

DENG, D.-F.; JU, Z.Y.; DOMINY, W.; MURASHIGE, R.; WILSON, R.P. Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 316, p. 25–30, 2011.

EINEN, O.; ROEM, A.J. Dietary protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 3, p. 115–126, 1997.

ELLIS, S.L.; REIGH, R.C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 97, p. 383-394, 1991.

ENCARNAÇÃO, P.M.; DE LANGE, C.F.M.; RODEHUTSCORD, M.; HOEHLER, D., BUREAU, W.; BUREAU, D. P. Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 235, p. 569-586, 2004.

FARHAT, KHAN, M.A. Growth, Feed Conversion, and Nutrient Retention Efficiency of African Catfish, *Clarias gariepinus*, (Burchell) Fingerling Fed Diets with Varying Levels of Protein. **Journal of Applied Aquaculture**, Philadelphia, v. 23, p. 304–316, 2011.

FEIDEN, A.; SIGNOR, A.A.; BOSCOLO, W.R.; SIGNOR, A.; REIDEL, A. Exigência de proteína de alevinos de piavuçu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p. 859-865, 2009.

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**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 646-653, 2000.

FERNANDEZ, F.; MIQUEL, A.G.; MARTINEZ, R.; SERRA, E.; GUINEA, J.; NARBAIZA, F.J.; CASERAS, A.; BAANANTE, I.V. Dietary chromic oxide does not affect the utilization of organic compounds but can alter the utilization of mineral salts in gilthead sea bream *Sparus aurata*. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.129, p. 1053–1059, 1999.

FERRARIS, R.P.; CATA CUTAN, M.R.; MABELIN, R.L.; JAXUL, A.P. Digestibility in milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal): effects of protein source, fish size and salinity. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 59, p. 93-105, 1986.

FORSMAN, A.; RUOHONEN, K. Dynamics of protein and lipid intake regulation of rainbow trout studied with a wide lipid range of encapsulated diets and self-feeders. **Physiology and Behavior**, Philadelphia, v. 96, p. 85–90, 2009.

FREITAS, R.H.A.; VOLPATO, G.L. Behavioral response of Nile tilapia to an allopatric predator. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, Colchester, v.41, n.4, p. 267-272, 2008.

FUJIMOTO, R.Y.; CARNEIRO, D.J. Adição de ascorbil polifosfato, como fonte de vitamina C, em dietas para alevinos de pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, p. 855-861, 2001.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; PEZZATO, A.C.; BARROS, M.M.; MIRANDA, E.C. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 1143-1149, 2001.

GIAQUINTO, P.C.; HOFFMAN, A. Role of olfaction and vision cues in feeding behavior and alarm reaction in the catfish pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*. **Journal of Ethology**, Kudan-kita, v. 28, p. 21–27, 2010.

GIRI, S.S.; SAHOO, S.K.; PAUL, B.N.; MOHANTY, S.N.; SAHU, A.K. Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization and carcass composition of endangered bagrid catfish *Horabagrus brachysoma* (Gunther 1864) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.17, p. 332-337, 2011.

GLENCROSS, B.D.; BERMUDEZ, M. The effect of high water temperatures on the allometric scaling effects of energy and protein starvation losses in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, Philadelphia, v. 159, p. 167–174, 2011.

GLENCROSS, B.D.; BOOTH, M.; ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 13, p. 17-34, 2007.

GONÇALVES, E.G.; CARNEIRO, D.J. Coeficientes de Digestibilidade Aparente da Proteína e Energia de Alguns Ingredientes Utilizados em Dietas para o Pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 779-786, 2003.

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; HISANO, H.; FREIRE, E.S.; FERRARI, J.E.C. Digestibilidade aparente e suplementação de fitase em alimentos vegetais para tilápia do Nilo. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 313-321, 2004.

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; TACHIBANA, L.; ROSA, M.J.S.; GUIMARÃES, I.G. Relação lisina digestível:proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.12, p. 2299-2305, 2009.

GREEN, J.A.; HARDY, R.W.; BRANNON, E.L. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1. Laboratory-scale study. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 8, p. 291-298, 2002.

GUNASEKERA, R.M.; DE SILVA, S.S.; COLLINS, R.A.; GOOLEY, G.; INGRAM, B.A. Effect of dietary protein level on growth and food utilization in juvenile Murray cod *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell). **Aquaculture Research**, Oxford, v.31, p. 181-187, 2000.

HARDY, R.W. Nutritional Deficiencies in Commercial Aquaculture: Likelihood, Onset, and Identification. In: LIM, C.; WEBSTER, C.D. **Nutrition and fish health**. Binghamton: The Haworth Press, 2001. p. 131-147.

HASSANI, M.H.S.; MOHSENI, M.; HOSSENI, M.R.; SADATI, M.H.Y.; POURKAZEMI, M. The Effect of various levels of dietary protein and lipid on growth and body composition of *Acipenser persicus* fingerlings. **Journal of Applied Ichthyology**, Berlin, v. 27, p. 737–742, 2011.

HEIKKINEN, J.; VIELMA, J.; KEMILAINEN, O.; TIROLA, M.; ESKELINEN, P.; KIURU, T.; NAVIA-PALDANIUS, D.; WRIGHT, A.V. Effects of soybean meal based diet on growth performance, gut histopathology and intestinal microbiota of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, p. 259-268, 2006.

HEMRE, G. -I.; KARLSEN, Ø; MANGOR-JENSEN, A.; ROSEN Lund, G. Digestibility of dry matter, protein, starch and lipid by cod, *Gadus morhua*: comparison of sampling methods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 225, p. 225-232, 2003.

HERNÁNDEZ, M.D.; MARTÍNEZ, F.J.; JOVER, M.; GARCÍA, B.G. Effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*) diet. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 263, p. 159-167, 2007.

HIDALGO, M.C.; UREA, E.; SANZ, A. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 170, p. 267-283, 1999.

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

HUA, K.; BUREAU, D.P. A mathematical model to explain variations in estimates of starch digestibility and predict digestible starch content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, Amsterdam, v.294, p. 282-287, 2009.

HUTCHINS, C.G.; RAWLES, S.D.; GATLIN III D.M. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 161, p. 187-199, 1989.

INOUE, L.A.K.A.; CECCARELLI, P.S.; SENHORINI, J.A. A larvicultura e a Alevinagem do pintado e da cachara. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 76, p. 15-21, 2003.

ITUASSÚ, D.R.; PEREIRA FILHO, M.; ROUBACH, R.; CRESCÊNCIO, R.; CAVERO, B.A.S.; GANDRA, A.L. Níveis de proteína bruta para juvenis de pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.3, p. 255-259, 2005.

JOBLING, M. Feed composition and analyses. HOULIHAN, D.; BOUJARD T.; JOBLING, M. In: **Food intake in fish**. Malden:Blackwell Science, 2001. p. 1-24.

KAPOOR, B.G.; SMIT, H.; VERIGHINA, I.A. 1975. The alimentary canal and digestion in teleosts. In: RUSSEL, F.S.; YONGE, C.M. **Advances in marine biology**, London :Academic Press, 1975. v. 13, p. 109-239, 1975.

KAUSHIK, S.J.; OLIVA-TELES, A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 50, p. 89-101, 1985.

KAUSHIK, S.; SEILIEZ, I. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 41, p. 322-332, 2010.

KAUSHIK, S.J.; CRAVEDI, J.P.; LALLES, J.P.; SUMPTER, J.; FAUCONNEAU, B.; LAROCHE, M. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 133, p. 257–274, 1995.

KAUSHIK, S.J.; MEDALE, F.; FAUCONNEAU, B.; BLANC, D. Effect of digestible carbohydrates on protein/energy utilization and on glucose metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 79, p. 63-74, 1989.

KEEMBIYEHETTY, C.N.; WILSON, R.P. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*) fed diets containing different energy/protein ratios. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 161, p. 151-162, 1998.

KHAN, M.S.; ANG, K.J.; AMBAK, M.A.; SAAD, C.R. Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish, *Mystus nemurus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 112, p. 227-235, 1993.

KIM, L.O.; LEE, S.M. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 243, p. 323– 329, 2005.

KIM, K.W.; KANG, Y.J.; CHOI, S.M.; WANG, X.; CHOI, Y.-H.; BAI, S.C.; JO, J.-Y.; LEE, J.-Y. Optimum Dietary Protein Levels and Protein to Energy Ratios in Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. **Journal of The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 36, n. 2, p. 165-178, 2005.

KITAGIMA, R.E.; FRACALOSSO, D.M. Validation of a methodology for measuring nutrient digestibility and evaluation of commercial feeds for channel catfish. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 611-615, 2010.

KROGDAHL, A.; HEMRE, I.; MOMMSEN, T.P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 11, p. 103-122, 2005.

KUSKU, H.; BULUT, M.; GÜROY, D.; ERGÜN, S.; BILEN, S.; TEKINAY, A. A. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and feed utilization of wild-caught striped sea bream, *Lithognathus mormyrus*. **Journal of Applied Ichthyology**, Berlin, v. 27, p. 897–900, 2011.

LAINING, A.; RACHMANSYAH; AHMAD, T.; WILLIAMS, K. Apparent digestibility of selected feed ingredients for humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.218, p. 529-538, 2003.

LALL, S.P.; ANDERSON, S. Amino acid nutrition of salmonids: Dietary requirements and bioavailability. **Cahiers Options Méditerranéennes**, Montpellier, v. 63, p.73-90, 2005.

LALL, S.P.; TIBETTS, S.M. Nutrition, Feeding and Behavior of fish. **Veterinary Clinics: Exotic Animal**, Maryland Heights, v. 12, p. 361-372, 2009.

LEE, D.J.; PUTNAM, G.B. The Response of Rainbow Trout to Varying Protein/Energy Ratios in a Test Diet. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.103, p. 916-922, 1973.

LEE, S.M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegelii*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 207, p. 79-95, 2002.

LEE, S.-M.; CHO, S.H.; KIM, K.-D. Effects of Dietary Protein and Energy Levels on Growth and Body Composition of Juvenile Flounder *Paralichthys olivaceus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 31, n.3, p. 306-315, 2000.

LEE, S.-M.; JEON, I.G.; LEE, J.Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 211, p. 227-239, 2002.

LEE, S.-M.; KIM, K.-D.; CHO, S.H. Effects of dietary protein and lipid level on growth and body composition of juvenile ayu (*Plecoglossus altivelis*) reared in seawater. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 8, p. 53-58, 2002.

LIM, S. J.; LEE, K. J. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 290, p. 283-289, 2009.

LIN, H.; LIU, Y.; TIAN, L.; WANG, J.; ZHENG, W.; HUANG, J.; CHEN, P. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grouper *Epinephelus coioides*. **Journal of The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 35, n. 2, p. 134-142, 2004.

LIRANÇO, A.D.S.; ROMAGOSA, E.; SCORVO-FILHO, J.D. Desempenho produtivo de *Pseudoplatystoma corruscans* estocados em sistemas de criação: semi-intensivo (viveiro escavado) e intensivo (tanque-rede). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.3, p.524-530, 2011.

LOBLEY, G.E. Nutritional and hormonal control of muscle and peripheral tissue metabolism in farm species. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 56, p. 91-114, 1998.

LOCHMANN, R.T.; PHILLIPS, H. Dietary protein requirement of juvenile golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) and goldfish (*Carassius auratus*) in aquaria. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 128, p. 277-285, 1994.

LOVELL, R.T. **Nutrition and feeding of fish**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989. 260p.

_____. Use of soybean products in diets for aquaculture species: revised. **Asia Technical Bulletin**, Singapore, v. 21-90, n. 6/7, p. 1-16, 1990.

LOVSHIN, L.D L.; CYRINO, J.E.P. Status of commercial fresh water fish culture in Brazil. **World Aquaculture**, Baton Rouge, v. 29, n.3, p. 23-39, 1998.

LUNDSTEDT, L.M.; MELO, J.F.B.; MORAES, G. Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**, Philadelphia, v. 137, p. 331–339, 2004.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.; SKLAN, D.; PFEFFER, E. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 4, p. 165–173, 1998.

MACHADO, J.H. Desempenho produtivo de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) arraçoados com diferentes níveis de proteína e energia. p. 89-96. In: CYRINO, J.E.P.; PEZZATO, L.E.E.; MIYADA, V.S. (Ed.). **In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 3.**, Campinas, SP. **Anais...**: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal - CBNA), 1999.

MARTINO, R.C.; CYRINO, J.E.P.; PORTZ, L.; TRUGO, L.C. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim *Pseudoplatystoma corruscans*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 209, p. 211-220, 2002a.

_____. Performance and fatty acid composition of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* fed animal and plant lipids **Aquaculture**, Amsterdam, v. 209, p. 235-248, 2002b.

MARTINO, R.C.; TRUGO, L.C.; CYRINO, J.E.P. ; PORTZ, L. Use of White fat as a replacement for squid liver oil in practical diets for surubim *Pseudoplatystoma corruscans*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 34, p. 192-202, 2003.

_____. Performance, carcass composition and nutrient utilization of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz) fed diets with varying carbohydrate and lipid levels. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 1, p. 131-137, 2005.

McGOOGAN, B.B.; GATLIN III, D.M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 182, p. 271–285, 2000.

McGOOGAN, B.B.; REIGH, R.C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 141, p. 233-244, 1996.

MEDALE, F.; BLANC, D.; KAUSHIK, S.J. Studies on the nutrition of Siberian sturgeon, *Acipenser bueri*. II. Utilization of dietary non-protein energy by sturgeon. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 93, p. 143-154, 1991.

MISRA, C.K.; DAS, B.K.; MUKHERJEE, S.C.; PATTNAIK, P. Effect of multiple injections of β -glucan on non-specific immune response and disease resistance in *Labeo rohita* fingerlings. **Fish and Shellfish Immunology**, Oxford, v. 3, p. 305-319, 2006.

MOHSENI, M.; POURKAZEMI, M.; HOSSENI, M.R.; HASSANI, M.H.S.; BAI, S.C. Effects of the dietary protein levels and the protein to energy ratio in sub-yearling

Persian sturgeon, *Acipenser persicus* (Borodin). **Aquaculture Research**, Oxford, p. 1–10, 2011.

MOON, H.Y.L.; GATLIN III, D.M. Effects of dietary animal proteins on growth and body composition of the red drum (*Sciaenops ocellatus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 120, p. 327-340, 1994.

MORRIS, P.C.; BEATTIE, C.; ELDER, B.; FINLAY, J.; GALLIMORE, P.; JEWISON, W.; LEE, D.; MACKENZIE, K.; MCKINNEY, R.; SINNOTT, R.; SMART, A.; WEIR, M. Effects of the timing of the introduction of feeds containing different protein and lipid levels on the performance and quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, over the entire seawater phase of growth. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 225, p. 41–65, 2003.

MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. **Produção Pesqueira e Aquícola 2010**. Estatística 2008 e 2009. Ministério da Pesca e Aquicultura. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/#imprensa/2010/AGOSTO/nt_AGO_19_08_Producao_de_pescado_aumenta>. Acesso em 22 mar. 2010.

NANKERVIS, L.; MATTHEWS, S.J.; APPLEFORD, P. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 191, p. 323–335, 2000.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 4th ed. New York:W.H. Freeman, 2005. 1125p.

NG, W.-K.; ABDULLAH, N.; DE SILVA, S.S. The dietary protein requirement of the *Malaysian mahseer*, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 284, p. 201-206, 2008.

NG, W.-K.; SOON S.-C.; HASHIM, R. The dietary protein requirement of a bagrid catfish, *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes), determined using semipurified diets of varying protein level. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.7, p. 45-51, 2001.

NOFFS, M.D.; MARTINO, E.R.C.; TRUGO, E.L.C.; URBINATI, E.C.; FERNANDES, E.J.B.K.; TAKAHASHI, L.S. Dietary fish oil replacement with lard and soybean oil affects triacylglycerol and phospholipid muscle and liver docosahexaenoic acid content but not in the brain and eyes of surubim juveniles *Pseudoplatystoma* sp. **Fish Physiology Biochemistry**, Dordrecht, v.35, p. 399-412, 2009.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL - **Nutritional Requirements of fishes**. Washington: Academic Press, 2011. 376p.

NUNEZ, J.; DUGUE, R.; CORCUYARANA, N.; DUPONCHELLE, F.; RENNO J.F.; RAYNAUD, T.; HUBERT, N.; LEGENDRE, M. Induced breeding and larval rearing of Surubí, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), from the Bolivian Amazon. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 39, p. 764-776, 2008.

OGINO, C.; CHIOU, J.Y.; TAKEUCHI, T. Protein nutrition in fish-VI: Effects of dietary energy sources on the utilization of proteins by rainbow trout and carp. **Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries**, Tokyo, v. 42, n. 2, p. 213-218, 1976.

OZÓRIO, R.O.A.; VALENTE, L.M.P.; CORREIA, S.; POUSAO-FERREIRA, P.; DAMASCENO-OLIVEIRA, A.; ESCÓRCIO, C.; OLIVA-TELES, A. Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 15, p. 85-93, 2009.

PERAGÓN, J.; BARROSO, J.B.; GARCIA-SALGUERO, L.; HIGUERA, M.; JOSÉ A. LUPIÁÑEZ, J.A. Dietary protein effects on growth and fractional protein synthesis and degradation rates in liver and white muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 124, p. 35-46, 1994.

_____. Growth, protein-turnover rates and nucleic-acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development. **The International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, Oxford, v. 33, p. 1227-1238, 2001.

PERES, H.; OLIVA-TELES, A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.179, p. 325-334, 1999.

PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. 2004. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo:Editora TecArt, 2004. p.75-170.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W.M.; BARROS, M.M.; ROSA, G.J.M.; LANNA, E.A.T. Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 24, n. 4, p. 965-971, 2002a.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W.M.; PEZZATO, A.C. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1595-1604, 2002b.

PIEDRAS, S.R.N.; POUEY, J.L.O.F.; RUTZ, F. Efeitos de diferentes níveis de proteína bruta e de energia digestível na dieta sobre o desempenho de alevinos de peixe-rei. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 97-101, 2004.

PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P. Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802). **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 35, p. 312-320, 2004.

QUARTARARO, N.; ALLAN, G.L.; BELL, J.D. Replacement of fish meal in diets for Australian snapper, *Pagrus auratus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 166, p. 279-295, 1998.

RAMOS FILHO, M.M.; RAMOS, M.I.L.; HIANE, P.A.; SOUZA, E.M.T. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 361-365, 2008.

RAMSAY, J.M.; CASTELL, J.D.; ANDERSON, D.M.; HEBB, C.D. Effects of fecal collection methods on estimation of digestibility of protein feedstuffs by "winter flounder". **North American Journal of Aquaculture**, Bethesda, v. 66, p. 168-173, 2000.

RAWLES, S.D.; GATLIN III, D.M. Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 161, p. 201-2012, 1998.

REFSTIE, S.; FORDE-SKJAERVIK, O.; ROSENLUND, G.; RORVIK, K.A. Feed intake, growth, and utilization of macronutrients and amino acids by 1 – and 2-year old Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed standard or bioprocessed soybean meal. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 255, p. 279-291, 2006.

REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M.; ROBIN, J.; LAROCHE, M.; KAUSHIK, S.J. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 193, n. 3/4, p. 291-309, 2001.

REID, S.D.; DOCKRAY, J.J.; LINTON, T.K.; MCDONALD, D.G.; WOOD, C.M. Effects of a summer temperature regime representative of a global warming scenario on growth and protein synthesis in hardwater- and softwater-acclimated juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 20, n. 1/2, p. 231-244, 1995.

ROBINSON, E.H.; LI, M.H. Low Protein Diets for Channel Catfish *Ictalurus punctatus* Raised in Earthen Ponds at High Density. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 28, n. 3, p. 224-229, 1997.

RODRIGUES, A.P.O.; PAULETTI, P.; KINDLEIN, L.; CYRINO, J.E.P.; DELGADO, E.F.; MACHADO-NETO, R. Intestinal morphology and histology of the striped catfish *Pseudoplatystoma corruscans* (Linnaeus, 1766) fed dry diets. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 15, p. 559-563, 2009.

RODRIGUES, S.S.; MENIN, E. Adaptações anatômicas da cavidade bucofaringiana de *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix e Agassiz, 1829) (Siluriformes, Pimelodidae) em relação ao seu hábito alimentar. **Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 305, p. 135-146, 2006.

SÁ, M.V.C.; FRACALLOSSI, D.M. Exigência Protéica e Relação Energia/Proteína para Alevinos de Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 1-10, 2002.

SÁ, R.; POUSÃO-FERREIRA, P.; OLIVA-TELES, A. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and feed utilization of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 12, p. 310-321, 2006.

Statistical Analysis System Institute [SAS]. The glimmix Procedures. In: **Base SAS® 9.2 Procedures Guide**. 2009, SAS Institute, Cary, NC. p. 2080-2430.

SANTIAGO, C.B.; REYES, O.S. Optimum dietary protein level for growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in a static water system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 93, p. 155-165, 1991.

SATPATHY, B.B.; MUKHERJEE, D.; RAY, A.K. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed conversion and body composition in rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 9, p. 17-24, 2003.

SCORVO FILHO, J.D.; ROMAGOSA, E.; AYROZA, L.M.S.; FRASCÁ-SCORVO, C.M.D. Desempenho produtivo do pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix Agassiz, 1829), submetidos a diferentes densidades de estocagem em dois sistemas de criação: intensivo e semi-intensivo. **Boletim Instituto Pesca**, São Paulo, v. 34, n.2, p. 181 – 188, 2008.

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**, Amsterdam, v. 129, p. 243-249, 1995.

SHAHAT, T.M. Digestibility determination in catfish fingerling using internal and external markers. **Veterinary Medical Journal**, Cairo, v. 41, p. 83-91, 1993.

SHEARER, K.D. Factors affecting the proximate cultured fishes with emphasis composition of salmonids. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 119, p. 63-88, 1994.

SHIAU, S.-Y.; LAN, C.-W. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 145, p. 259-266, 1996.

SIDDIQUI, T.Q.; KHAN, M.A. Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization, protein retention efficiency and body composition of young *Heteropneustes fossilis* (Bloch). **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 35, p. 479–488, 2009.

SILVA, T.S.C.; FURUYA, W.M.; SANTOS, V.G.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.R.; SALES, P.J.P.; HAYASHI, C.; SANTOS, L.D.; FURUYA, V.R.B. Coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes do farelo de soja integral sem e com fitase para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 371-376, 2005.

SITJÀ-BOBADILLA, A.; PEÑA-LLOPIS, S.; GOMEZ-REQUENI, P.; MÉDALE, F.; KAUSHIK, S.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J. Effect of fish meal replacement by plant protein source on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*), **Aquaculture**, Amsterdam, v. 249, p. 387–400, 2005.

SMITH, L.S. 1980. Digestion in teleost fishes. In: LECTURES PRESENTED AT THE FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, Rome, v. 11, p. 3- 17, 1980.

SMITH, R.R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of feeds. **Progressive Fish Culturist**, Bethesda, v. 33, p. 132-134, 1971.

SØRENSEN, M.; LJØKJEL, K.; STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K. D.; SKREDE, A. Apparent digestibility of protein, amino acid and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a fish meal based diet extruded at different temperatures. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 211, p. 215-225, 2002.

SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; RATHBONE, C.K.; HARDY, R.W. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 159, p.177-202, 1998.

SULLIVAN, J.A.; REIGH, R.C. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* X *Morone chrysops*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 138, p. 313-322, 1995.

TACON, A.G.J. **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual** : 1. The essential nutrients. Brasília, Brazil: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1987a. 117p.

_____. **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual**: 2. Nutrient sources and composition. Brasília; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1987b. 129p.

TANAMATI, A.; STEVANATO, F.B.; VISENTAINER, J.E.L.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Fatty acid composition in wild and cultivated pacu and pintado fish. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 111, p. 183–187, 2009.

TEIXEIRA, E.A.; SALIBA, E.O.S.; EULER, A.C.C.; FARIA, P.M.C.; CREPALDI, D.V.; RIBEIRO, L.P. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.6, p.1180-1185, 2010.

THOMAN, E.S.; DAVIS, D.A.; ARNOLD, C. R. Evaluation of grow out diets with varying protein and energy levels for red drum (*Sciaenops ocellatus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 176, p. 343–353, 1999.

THOMPSON, K.R.; RAWLES, S.D.; METTS, L.S.; SMITH, R.; WIMSATT, A.; GANNAM, A.L.; TWIBELL, R.G.; JOHNSON, R.; BRADY, Y.J.; WEBSTER, C.D. Digestibility of dry matter, protein, lipid, and organic matter of two fish meals, two poultry by-product meals, soybean meal, and distiller's dried grains with solubles in practical diets for sunshine bass, *Morone chrysops* X *M. saxatilis*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 39, n. 3, p. 352-363, 2008.

TIBALDI, E.; HAKIM, Y.; UNI, Z.; TULLI, F.; FRANCESCO, M.; LUZZANA, U.; HARPAZ, S. Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, p. 182-193, 2006.

TIBBETTS, S.M.; LALL, S.P.; ANDERSON, D.M. Optimum dietary ratio of digestible protein and energy for juvenile American eel, *Anguilla rostrata*, fed practical diets. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 7, p. 213-220, 2001.

TIBBETTS, S.M.; LALL, S.P.; MILLEY, J.E. Apparent digestibility of common feed ingredients by juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, p. 643-651, 2004.

TIBBETTS, S.M.; MILLEY, J.E.; LALL, S.P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, p. 1314–1327, 2006.

TOCHER, D.R. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. **Reviews in Fisheries Science**, Philadelphia, v. 11, n.2, p. 107-184, 2003.

TRUSHENSKI, J.T.; KASPER, C.S.; KOHLER, C.C. Challenges and Opportunities in Finfish Nutrition, **North American Journal of Aquaculture**, Bethesda, v. 68, p.122–140, 2006.

TSENG, Y-C.; HWANG, P-P. Review: Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C**, Philadelphia, v. 148, p. 419–429, 2008.

TURRA, E.M.; QUEIROZ, B.M.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M.C.; CREPALDI, D.V.; RIBEIRO, L.P. 2009. Densidade de estocagem do surubim *Pseudoplatystoma* spp. Cultivado em tanque-rede. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 177-187, 2009.

VALENTE, L.M.P.; LINARES, F.; VILLANUEVA, J.L.R.; SILVA, J.M.G.; ESPE, M.; ESCÓRCIO, C.; PIRES, M.A.; SAAVEDRA, M.J.; BORGES, P.; MEDALE, F.; ALVÁREZ-BLÁZQUEZ, B.; PELETEIRO, J.B. Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilization or flesh fatty acids composition of market-sized *Senegalese sole*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 318, p 128–137, 2011.

VENOU, B.; ALEXIS, M.N.; FOUNTOULAKI, E.; HARALABOVS, J. Effects of extrusion and inclusion level of soybean meal on diet digestibility, performance and nutrient utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, p. 343-356, 2006.

VERAS, G.C.; SALARO, A.L.; ZUANON, J.A.S.; CARNEIRO, A.P.S.; CAMPELO, D.A.V.; MURGAS, L.D.S. Growth performance and body composition of giant trahira fingerlings fed diets with different protein and energy levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.9, p.1021-1027, 2010.

WANG, Y.; KONG, L.; LI, C.; BUREAU, D. P. The potential of land animal protein ingredients to replace fish meal in diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides*, is affected by dietary protein level. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2010.

WEBSTER, C.D.; TIU, L.G.; TIDWELL, J.H.; VAN WYK, P.; HOWERTON, R.D. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) reared in cages. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 131, p. 291-301, 1995.

WILSON, R.P. Review: Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v.124, p. 67-80, 1994.

_____. Amino acids and Proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. **Fish Nutrition**. 3rd ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2002. p. 143-179.

WU, Z.Y.; LIU, Y.J.; TIAN, K.S.; MAI, L.X.; YANG, H.J. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for Yellowfin Seabream, *Sparus latus*. **Journal of The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 37, n. 3, p. 237-245, 2006.

ZANARDI, M.F.; BOQUEMBUZO, J.E.; KOBERSTEIN, T.C.R.D. Desempenho de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*) alimentados com três diferentes dietas. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 4, 445-450, 2008.

ZHOU, Q.-C.; TAN, B.-P.; MAI, K.-S.; LIU, Y.-J. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 241, p. 441–451, 2004.