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

Modelagem matemática da eficiência de utilização da energia e da proteína dietéticas pelo pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)

Fredy Armando Aguilar Aguilar

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

Piracicaba
2016

Fredy Armando Aguilar Aguilar
Zootecnista

**Modelagem matemática da eficiência de utilização da energia e da proteína
dietéticas pelo pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSE EURICO POSSEBON CYRINO**
Co-Orientador:
Prof. Dr. **GERSON BARRETO MOURÃO**

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

Piracicaba
2016

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

Aguilar Aguilar, Fredy Armando

Modelagem matemática da eficiência de utilização da energia e da proteína dietéticas pelo pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) / Fredy Armando Aguilar Aguilar. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016. 105 p. : il.

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

1. *Piaractus mesopotamicus* 2. Digestibilidade de nutrientes 3. Equações de predição
4. Exigência para manutenção 5. Exigência para crescimento I. Título

CDD 639.375
A283m

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

**À minha mãe Blanca Nohelia
e a meu pai Luis Eduardo**

**Aos meus irmãos: Amanda,
Giovanny e
Alejando**

**À minhas sobrinhas:
Stefany e Camila**

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jose Eurico Possebon Cyrino pela confiança, ensinamentos, paciência e orientação.

Ao prof. Dr. Gerson Barreto Mourão pela orientação e encorajamento.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens pela atenção e disponibilidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pela outorga da bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto.

Aos colegas do grupo de pesquisa do setor de piscicultura: Eduardo D. França, Evandro K. Lorenz, Fernando Henrique G. Cornélio, João Fernando A. Koch, Rafael E. Sabioni, Rafael S.C. Barone, Renan A. Donadelli, Roselany O. Correa, Sean V. Valente, Tarcila S. C. Silva, Thaline M. P. da Cruz e Thiago A Freato, Pedro Xavier, pela ajuda e amizade.

Aos Amigos do PPG-CAP: Antonio Carlos, Veridiana, Marcelo, Paula, Pedro, Fernanda, Louise, João, Lucas, pelo companheirismo.

Aos compatriotas, colegas e amigos da FMVZ-UNAL que me antecederam no PPG-CAP, Edward Cabezas e Johanna Ramirez, que me encorajaram a encarar este desafio.

Aos amigos colombianos na ESALQ/USP, de maneira particular Julian, Diana, Carlos e Angela, pela amizade e companheirismo.

A Paola Andrea Cardenas Jurado pelo apoio, mesmo a distancia.

A os amigos do MUR Piracicaba, de maneira particular, Leandro, Tatiane, Andreia, Natalia, Antônio, Irineu e Mateus.

Aos técnicos do Setor de Piscicultura, Sérgio V. Pena e Ismael Baldessin Jr., pelo auxílio durante as pesquisas.

A todos aqueles que torceram e rezaram para que este objetivo tivesse sido atingido.

Agradeço a Deus, criador de todas as coisas.

*Quem tem um “porquê”
enfrenta qualquer “como” ...
Viktor Frankl*

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Modelos de predição da energia e da proteína digestível	20
1.2 Exigências nutricionais para crescimento e manutenção – método fatorial	22
Referências.....	26
2 MODELOS DE PREDIÇÃO DO CONTEÚDO DE ENERGIA E PROTEÍNA DIGESTÍVEIS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PACU (<i>Piaractus mesopotamicus</i> HOLMBERG, 1887).....	31
Resumo	31
Abstract	31
2.1 Introdução.....	32
2.2 Material e métodos.....	33
2.2.1 Amostragem e caracterização físico-química das rações das rações comerciais	33
2.2.3 Determinação da digestibilidade das rações.....	34
2.2.4 Análise estatística	35
2.3 Resultados e discussão	36
2.3.1 Caracterização das rações.....	36
2.3.2 Modelos de predição dos valores de energia digestível	43
2.3.3 Modelos de predição dos valores de proteína digestível.....	46
Referências.....	49
3 EXIGÊNCIAS EM ENERGIA E PROTEÍNA PARA MANTENÇA E CRESCIMENTO DO PACU (<i>Piaractus mesopotamicus</i> HOLMBERG, 1887) E INFLUÊNCIA DOS LIPÍDEOS DIETÉTICOS SOBRE AS EXIGÊNCIAS.....	53
Resumo	53
Abstract	53
3.1 Introdução.....	54
3.2 Material e métodos.....	55
3.2.1 Ensaio de respirometria.....	55
3.2.2 Determinação das exigências em energia e proteína para manutenção e crescimento....	57

3.2.3 Análise estatística.....	61
3.3 Resultados e discussão	62
3.3.1 Taxa metabólica e produção de calor em jejum.....	62
3.3.2 Exigências em energia e proteína para manutenção e crescimento	65
Referências	72
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
APÊNDICE	79
ANEXO	89

RESUMO

Modelagem matemática da eficiência de utilização da energia e da proteína dietéticas pelo pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)

Sistemas intensivos de produção de peixes demandam o uso de dietas completas e manejo alimentar e nutricional precisos. O principal objetivo da nutrição dos peixes é melhorar a eficiência da utilização da energia e dos nutrientes da ração. Alta eficiência, na realidade, significa maior retenção de nutrientes e energia, i.e., maior crescimento, com menor descarga de nutrientes nos corpos d'água. O objetivo deste trabalho foi estudar a eficiência de utilização da energia e a proteína da ração para o pacu, *Piaractus mesopotamicus*. Em um primeiro ensaio foram caracterizadas as propriedades físico-químicas e os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da energia de 28 amostras de rações para peixes onívoros comercializadas na região de Piracicaba, estado de São Paulo. Os dados obtidos foram utilizados no ajuste de modelos de regressão linear múltipla para prever os conteúdos de energia digestível (ED) e proteína digestível (PD) das rações comerciais para a espécie. Um segundo grupo de ensaios foi dedicado ao estudo da eficiência metabólica da utilização da energia e da proteína. Utilizando-se a técnica de respirometria de fluxo intermitente, foi quantificada a taxa metabólica padrão em peixes de diferente tamanho (17 g – 1050 g) em cinco temperaturas (19, 23, 26, 29 e 33°C). O coeficiente oxi-calórico para oxidação de gordura ($13,72 \text{ J mg}^{-1} \text{ O}_2$) foi utilizado para converter os dados de consumo de oxigênio em taxas de produção de calor. O coeficiente alométrico da produção de calor em jejum foi próximo a 0,8, valor usual para outras espécies de peixes. A partir da aplicação do método fatorial de análise foram estimadas as exigências de energia digestível e proteína digestível para manutenção e para o crescimento do pacu e o efeito do nível de lipídeos dietéticos (alto – AL, ou baixo – BL) sobre as exigências nutricionais. O nível de lipídeos da ração não influenciou a estimativa de exigência de energia para manutenção ($26,57 \text{ kJ de ED kg}^{-0,8} \text{ dia}^{-1}$ e $0,076 \text{ g de PD kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$). A exigência de energia digestível para crescimento (kJ de ED por kJ de energia retida) foi maior para a ração BL (1,387) do que para a ração AL (1,285). A exigência em proteína digestível (g de PD por g de proteína depositada) foi maior para peixes alimentados com a ração BL do que com a ração AL (1,7015 vs. 1,583).

Palavras-chave: *Piaractus mesopotamicus*; Digestibilidade de nutrientes; Equações de predição; Exigência para manutenção; Exigência para crescimento

ABSTRACT

Mathematical modelling of the utilization efficiency of dietary energy and dietary protein by pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)

Intensive fish farming systems entail the use of complete feeds and accurate feeding and nutrition management. The main objective of fish feeding and nutrition practices is the efficient use of feed energy and nutrients. High efficiency actually means increased retention of nutrients and energy, i.e., improved growth ratio and reduced discharge of nutrients in the water. This work aimed at studying the efficiency of use of feed energy and protein of pacu, *Piaractus mesopotamicus*. A first trial characterized physicochemical properties and apparent digestibility coefficients of protein and energy of 28 commercial, omnivorous fish feeds sampled in the region of Piracicaba, state of São Paulo. The data were used to set multiple linear regression models predicting the digestible energy (DE) and digestible protein (DP) contents of commercial, sampled feeds. A second group of trials studied the metabolic efficiency of use of energy and protein. The intermittent flow respirometry technique was used to quantify the standard metabolic rate of different fish size classes (17 g - 1050 g) at five temperatures (19, 23, 26, 29 and 33 ° C). The coefficient for oxy-caloric fat oxidation (13.72 J mg⁻¹ O₂) was used to convert the oxygen consumption data to heat production ratios. The allometric coefficient of heat production in fasting condition was 0.8, a typical value for other fish species. Digestible energy and digestible protein requirements for maintenance and growth and effects of dietary lipids (high - AL, or low - BL) contents on nutritional requirements of pacu were then studied with the aid of factorial analysis method. Dietary lipid contents did not affect energy requirements for maintenance (26.57 kJ DE kg^{-0.8} day⁻¹ and 0.076 g DP kg^{-0.7} day⁻¹). The digestible energy requirement for growth (kJ of ED per kJ of energy retained) was higher for BL feeds (1.387) than for AL feeds (1.285). The requirements of digestible protein (g DP per g of deposited protein) was higher for the BL than for the AL feed (1.7015 vs. 1.583).

Keywords: *Piaractus mesopotamicus*; Digestibility of nutrients; Prediction equations; Requirements for maintenance; Requirements for growth

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Taxa metabólica padrão (TMP) massa específica do pacu em função do peso corporal e a temperatura da água.....	63
Figura 3.2 - Produção de calor em jejum do pacu em função do peso corporal (P, kg) e temperatura da água.....	64
Figura 3.3 - Curva de retenção de energia em função do consumo de energia para a ração alta (AL) e baixa (BL) em lipídeos.....	70
Figura 3.4 - Regressão linear da deposição de proteína em função do consumo de energia para ração alta (AL) e baixa em lipídeos (BL).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Coeficientes do modelo fatorial de exigências de energia digestível em diversas espécies de peixes.....	24
Tabela 1.2 - Coeficientes do modelo fatorial de exigências de proteína digestível em diversas espécies de peixes.....	26
Tabela 2.1 - Discriminação das análise físico-químicas das amostras de rações comerciais coletadas.....	34
Tabela 2.2 - Estatística descritiva de variáveis físico-químicas de 28 amostras de rações comerciais para peixes onívoros disponíveis no mercado da região de Piracicaba, estado de São Paulo.....	38
Tabela 2.3 - Coeficientes (erro padrão) de quatro modelos de regressão linear múltipla para prever o valor de energia digestível em rações comerciais para o pacu.....	44
Tabela 2.4 - Coeficientes (erro padrão) de cinco modelos de regressão linear múltipla para prever o valor de proteína digestível em rações comerciais para o pacu.....	47
Tabela 3.1 - Composição das rações experimentais.....	58
Tabela 3.2 - Estimativa dos parâmetros e avaliação de três modelos para prever a produção de calor em jejum do pacu em função do peso corporal e a temperatura da água.....	64
Tabela 3.3 - Influência do nível de lipídeo da ração e do nível de fornecimento sobre os parâmetros de desempenho zootécnico de juvenis de pacu.....	67
Tabela 3.4 - Influência do nível de lipídios da ração e do nível de fornecimento sobre a composição corporal e de conteúdo de energia de juvenis de pacu.....	68
Tabela 3.5 - Efeito do nível do nível de lipídeo da ração sobre os parâmetros do modelo fatorial de estimação de exigências de energia digestível para o pacu.....	69
Tabela 3.6 - Efeito do nível do nível de lipídeo da ração sobre os parâmetros do modelo fatorial de estimação de exigências de proteína digestível para o pacu.....	71

1 INTRODUÇÃO

O pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) (Characiformes: Characidae) é um peixe originário da Bacia do Prata e do Pantanal do Mato Grosso. Algumas características como precocidade, rusticidade, carne saborosa e adaptação à alimentação artificial, além do ótimo crescimento, asseguram o sucesso da criação da espécie em sistemas intensivos de produção (SOUZA et al., 2003; BICUDO; SADO; CYRINO, 2010), tornando-a uma das mais importantes da piscicultura brasileira, particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Sistemas intensivos de produção demandam o uso de dietas completas e manejo alimentar e nutricional precisos. O principal objetivo da nutrição dos peixes é melhorar a eficiência da utilização da energia e dos nutrientes da ração. Alta eficiência, na realidade, significa maior retenção de nutrientes e energia, i.e., maior crescimento, com menor descarga de nutrientes nos corpos d'água. Assim, levando em consideração que geralmente gastos com alimentação compreendem 60% ou mais dos custos na produção de peixes (LOVELL, 1998), a procura de uma alta eficiência de utilização da ração é de grande importância para uma produção de maior economicidade e de menor impacto ambiental (BUREAU; HUA; CHO, 2006). Esta eficiência está definida por eficiências “parciais” nos processos de digestão da ração e a posterior utilização dos nutrientes para processos metabólicos e fisiológicos como a manutenção das funções vitais e o crescimento (BUREAU HUA; CHO, 2006; BUREAU; HUA, 2008). Estes princípios devem ser levados em consideração na formulação de rações para os peixes, incluindo o pacu (ABIMORAD; SQUASSONI; CARNEIRO, 2008; BICUDO; SADO; CYRINO et al., 2010). Os coeficientes de digestibilidade da energia e dos nutrientes quantificam a eficiência durante os processos de digestão da ração. Por sua vez a definição de exigências em energia e proteína visa maximizar a utilização de nutrientes para o crescimento dos peixes. Alguns autores, e.g. Abimorad, Squassoni e Carneiro (2008) e Fernandes, Lochmann e Bocanegra (2004), já contemplaram a quantificação dos coeficientes de digestibilidade da energia e da proteína de ingredientes utilizados na fabricação de rações para o pacu.

O manejo preciso da alimentação exige que se conheça os conteúdos de energia e proteína digestível das rações fornecidas aos peixes nos sistemas comerciais de produção. No entanto, estas informações dependem de ensaios de digestibilidade que demandam tempo, são relativamente custosos e podem ser feitos apenas por poucos laboratórios na rotina comercial. Desta forma, a definição de modelos que permitam estas estimativas pode

ser de grande utilidade para a prática da alimentação e nutrição de peixes na piscicultura comercial (ANDERSON; CAPPER; BROMAGE, 1991; SALES, 2009),

Alguns estudos determinaram de modo detalhado as exigências em energia e proteína do pacu utilizando metodologias dose-resposta (e.g., FERNANDES; CARNEIRO; SAKOMURA, 2001; BICUDO; SADO; CYRINO, 2010), uma abordagem de aplicabilidade simples e fácil que, no entanto, pelo fato de ser empírica, não permite um entendimento da destinação da energia consumida pelo peixe (THORNLEY; FRANCE, 2007). Por outro lado, os modelos fatoriais de exigências nutricionais permitem estimativas mais mecanicistas das exigências em energia e proteína digestível a partir da definição das exigências para manutenção e crescimento. Nesta abordagem, a exigência de energia para crescimento é obtida multiplicando a energia retida pelo inverso da eficiência de utilização da energia digestível para crescimento ($1/k_{gED}$). Esta aproximação tem sido aplicada há muito tempo em espécies terrestres e mais recentemente em espécies de peixes marinhos, salmonídeos e tilápia (LUPATSCH; KISSIL; SKLAND, 2003; AZEVEDO et al., 2005; SCHRAMA et al., 2012).

A partir destas constatações foram definidos os objetivos do presente estudo, a saber: i) desenvolver um grupo de modelos de predição dos conteúdos de energia e proteína digestíveis de rações comerciais para o pacu; ii) quantificar as exigências em energia digestível e proteína digestível para manutenção e crescimento do pacu; e iii) avaliar a influência do conteúdo de lipídeos das dietas sobre estas exigências.

1.1 Modelos de predição da energia e da proteína digestível

Alguns trabalhos têm quantificado a digestibilidade de ingredientes utilizados na formulação de rações para o pacu, mas poucos têm determinado a digestibilidade e os conteúdos de energia e proteína digestível de rações comerciais (ABIMORAD; SQUASSONI; CARNEIRO, 2008). Por outro lado, o desenvolvimento de equações de predições dos coeficientes de digestibilidade e do conteúdo de energia e proteína digestível em função da composição centesimal de ingredientes e de rações compostas já é uma realidade para algumas espécies comumente utilizadas na aquicultura.

Anderson, Capper e Bromage (1991), por exemplo, utilizando dados de treze ingredientes vegetais utilizados na formulação e processamento de dietas para a tilápia-do-Nilo, definiram duas equações para estimar o conteúdo de energia digestível (ED; MJ kg⁻¹ MS) em função do conteúdo de fibra em detergente neutro (FDN; g kg⁻¹ MS), proteína bruta

(PB; g kg⁻¹ MS) e carboidratos disponíveis (CD; g kg⁻¹ MS) para a espécie: $ED = 16,88 - 0,021*FDN$ ($r^2 = 0,87$, $P < 0,001$) e $ED = 0,034*PB + 0,022*CD - 3,5$ ($r^2 = 0,87$; $P < 0,001$). Sklan, Prag e Lupatsch (2004) avaliaram a digestibilidade de 12 ingredientes (10 de origem vegetal e dois de origem animal) para híbridos de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) e, posteriormente, ajustaram equações para estimar os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (CDA_{EB}) e da proteína bruta (CDA_{PB}) (expressos como proporção) em função de conteúdo de proteína bruta (PB, %), extrato etéreo (EE, %) e fibra bruta (FB, %) para a espécie, e definiram as seguintes equações: $CDA_{EB} = 0,636 + 0,0039*PB - 0,0009*FB$ ($r = 0,84$; $P < 0,001$) e $CDA_{PB} = 0,867 + 0,0030*PB - 0,0131*EE$ ($r = 0,89$; $P < 0,001$).

Outra linha de estudos é aquela que analisa resultados relatados na literatura para ajustar equações de predição – meta análises. Sales (2009), por exemplo, utilizou 361 dados de energia digestível provenientes de 40 estudos, que incluíram 26 espécies de peixes e 65 ingredientes, e estabeleceu uma equação geral para estimar a exigência em energia digestível (ED; MJ kg⁻¹ MS) em função do conteúdo de proteína bruta (PB; g kg⁻¹ MS) e de energia bruta (EB; MJ kg⁻¹ MS) das dietas dos peixes, definindo $ED = -1,5075 + 0,0077*PB + 0,6297*EB$ ($r^2 = 0,5809$). Em outro estudo, Sales (2008) definiu equações para estimar o conteúdo de proteína digestível (PD; g kg⁻¹ MS), para ingredientes ($PD = -10,0731 + 0,8942*PB$; $r^2 = 0,9462$) a partir de 617 médias originadas de 69 estudos com 73 ingredientes utilizando 35 espécies de peixes, e para dietas compostas ($PD = -51,4001 + 0,9872*PB$; $r^2 = 0,8632$), a partir de 831 médias, originadas de 170 estudos com 49 espécies de peixes. De maneira geral este grupo de equações explica a pouca variação dos conteúdos de ED dos ingredientes e das rações, indicando a necessidade de definir equações espécies-específicas.

A acurácia destas equações de predição pode ser melhorada pela inclusão de variáveis outras que a composição centesimal da dieta, como, por exemplo, os conteúdos das diferentes frações de fibra, e.g. fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, fibra alimentar solúvel e fibra alimentar insolúvel, que têm mostrado relações diretas, mas com efeitos diferentes, sobre os processos de digestão em animais não ruminantes (NOBLET; PEREZ, 1993; RENTERIA-FLORES et al., 2008). Pelo fato das rações comerciais para peixes serem processadas termicamente, geralmente mediante processos de extrusão, o grau de gelatinização do amido obtido durante o processamento é outra variável que pode contribuir na obtenção de predições mais acuradas. A influência de diferentes níveis de inclusão de amido gelatinizado sobre a digestibilidade da ração já foi comprovada para

tilápias por Amirkolaie; Verreth e Schrama (2006), e por kraugerud e Svihus (2011) para o salmões, por exemplo. O processamento da ração influencia a ainda hidro-estabilidade do alimento, de maneira que algumas medições, como a porcentagem de matéria seca perdida na embebição da ração, podem ser influenciadas pelo processamento térmico e podem ter relação com a digestibilidade da energia, tornando-se variáveis potencialmente incluídas nas equações de predição (OBALDO; DIVAKARAN; TACON, 2002).

1.2 Exigências nutricionais para crescimento e manutenção – método fatorial

Os trabalhos que determinam as exigências em energia e proteína do pacu utilizam, em geral, metodologias dose-resposta. Fernandes (1998) determinou para alevinos (4,62 g – 11,31 g) uma exigência de 26% de PB e para juvenis (79,99 g - 144,31 g) o valor sugerido foi de 22% de PB. Por sua vez, Muñoz-Ramírez e Carneiro (2002) relataram que o nível mais acertado para juvenis (14,98 g) é de 26% de PB, e Bicudo, Sado e Cyrino (2010) determinaram que, para juvenis, o conteúdo ótimo de proteína dietética é 27% de PB, com uma relação PB:ED de 22,2 g kJ⁻¹. Estudos mais recentes têm tentado estudar as exigências em proteína digestível. Assim, Abimorad et al. (2009) determinaram que, para juvenis (46,7 g), uma ração contendo 23% de PD suplementada com metionina e lisina condiciona desempenho similar a uma ração com 30% de PD. A formulação de rações expressando as exigências e o aporte nutricional dos ingredientes como energia e proteína digestível é mais apropriada e gera balanço mais adequado de nutrientes (ABIMORAD; SQUASSONI; CARNEIRO, 2008).

Os modelos de estudo dose-resposta são considerados empíricos, uma vez que não permitem esclarecer a partição e utilização da energia pelos animais, bem como, por se tratarem de uma abordagem estática, as exigências determinadas são específicas para a categoria de peso dos animais utilizados nos ensaios (THORNLEY; FRANCE, 2007). O modelo fatorial de determinação de exigências em energia e proteína constitui uma abordagem mecanicista, que permite a discriminação da exigência para as funções vitais do peixe (exigência para manutenção) e para o incremento na biomassa (exigência para crescimento). Uma primeira aproximação do modelo fatorial expressando a energia como energia digestível é:

$$ED_t = ED_m + 1/k_{gED} * ER$$

em que: EDt é a exigência de energia digestível (kJ dia^{-1}), EDm é energia digestível para manutenção ($\text{kJ kg}^{-b} \text{dia}^{-1}$), k_{gED} é a eficiência de utilização da energia digestível para o ganho de energia, ER é a energia retida (kJ dia^{-1}) e b é o expoente metabólico do peso (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003). Nos estudos relativos às exigências em proteína, alguns trabalhos têm adaptado o modelo obtendo a seguinte expressão:

$$PD = PDm + 1/k_{gPD} * GP$$

em que: PD é a exigência de proteína digestível (g dia^{-1}), PDm é a exigência de proteína digestível para manutenção ($\text{g kg}^{-b} \text{dia}^{-1}$), k_{gPD} é a eficiência de utilização da proteína digestível para a deposição de proteína, GP é a deposição de proteína (g dia^{-1}) e b é o expoente metabólico do peso (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010).

As estimativas dos coeficientes destes modelos são feitas através de ensaios que analisam a retenção de energia e a deposição de lipídeos e proteína com diferentes níveis de oferta de energia digestível, mediante a oferta e consumo de diferentes quantidades de alimento (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2001). Nestes ensaios são utilizados diferentes níveis de restrição alimentar, e.g.: 100, 75, 50 e 25% da saciedade aparente (BUREAU; HUA; CHO, 2006; BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010).

O coeficiente alométrico do peso utilizado para o ajuste dos modelos influencia a estimativa da exigência de manutenção e da eficiência de utilização da energia para o crescimento (BERNIER et al., 1987); estudos com peixes marinhos tendem à utilização do expoente 0,8 para estudar o metabolismo energético e 0,7 para estudar o metabolismo das proteínas (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010; LUPATSCH et al., 2010; PIROZZI; BOOTH; ALLAN, 2010). Com relação a espécies de água doce, o coeficiente 0,824 foi utilizado em aproximações fatoriais do uso da energia e no desenvolvimento de modelos bioenergéticos em trutas (*Oncorhynchus mykiss*) por Bureau, Hua e Cho (2006), enquanto que Lupatsch, Deshev e Magen (2010) e Schrama et al. (2012) utilizaram o expoente 0,8 em estudos do metabolismo da energia em tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*.

Os valores de exigência em energia para manutenção variam entre as espécies. Assim na compilação apresentada na Tabela 1.1, os valores de oscilam entre $25,9 \text{ kJ ED kg}^{-0.8}$ para a tilápia-do-Nilo (VAN TRUNG et al., 2011) até $87,44 \text{ kJ ED kg}^{-0.8}$ para a cavalinha, *Seriola lalandi* (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010). Os valores de k_{gED} também apresentam variabilidade entre estudos, oscilando entre 0,44 para tilápia-do-Nilo (VAN TRUNG et al., 2011) até 0,83 para o robalo *Dicentrarchus labrax* (PERES; OLIVA-TELES, 2005). Os

valores inversos ($1/k_{gED}$) indicam a exigência em energia digestível para o ganho de energia; desta maneira, a exigência oscila entre 2,27 e 1,20 kJ ED por kJ de energia retida pela tilápia-do-Nilo e o robalo, respectivamente.

Tabela 1.1 - Coeficientes do modelo fatorial de exigências de energia digestível em diversas espécies de peixes

Espécie	Coeficientes do modelo ^a			Fonte
	b	EDm	k_{gED}	
<i>Seriola lalandi</i>	0,80	87,44	0,650	Booth, Allan e Pirozzi (2010)
<i>Argyrosomus japonicus</i>	0,80	42,2-49,6	0,600	Pirozzi, Booth e Allan. (2010)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	1,00	56,8	0,830	Peres e Oliva-Teles (2005)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,79	43,6	0,680	Lupatsch, Kissil e Sklan (2001)
<i>Sparus aurata</i>	0,80	47,89	0,670	Lupatsch, Kissil e Sklan (2003)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,80	45,38	0,690	Lupatsch, Kissil e Sklan (2003)
<i>Epinephelus aeneus</i>	0,80	34,05	0,690	Lupatsch, Kissil e Sklan (2003)
<i>Oreochromis niloticus</i> ^b	0,80	63,99	0,636	Schrama et al. (2012)
<i>Oreochromis niloticus</i> ^c	0,80	64,16	0,586	Schrama et al. (2012)
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,80	25,90	0,440	Van Trung et al. (2011)
<i>Salvelinus fontinalis</i> ^d	0,84	34,86	0,630	Amin et al. (2014)
<i>Salvelinus fontinalis</i> ^e	0,86	46,14	0,610	Amin et al. (2014)

EDm = exigência em energia digestível para manutenção ($\text{kJ kg}^{-\text{b}} \text{ dia}^{-1}$), k_{gED} = eficiência de utilização da energia digestível para o ganho de energia

^a b = Coeficiente alométrico para o peso corporal

^b ração com alto conteúdo de lipídeos.

^c ração com baixo conteúdo de lipídeos

^d experimento conduzido a 15°C

^e experimento conduzido 19°C

A eficiência de utilização da energia para o crescimento (k_{gED}) é influenciada pela composição da dieta. A partir de dados de 20 relatos de pesquisa com truta arco-íris, Rodehutsord e Pfeffer (1999) determinaram inicialmente um valor de $k_{gED} = 0,679$. Posteriormente, ajustando o modelo levando em consideração o conteúdo de lipídeos na ração, estimaram um valor de $k_{gED} = 0,763$ no caso de rações com mais de 210 g kg^{-1} de lipídeos, e de $k_{gED} = 0,611$ no caso de rações com conteúdo de lipídeos menor 210 g kg^{-1} e, finalmente, num ajuste de um modelo mais geral, definiram $k_{gED} = 0,66*(1+0,000652*L)$, em que L é o conteúdo de lipídeos na ração (g kg^{-1}) e oscilou entre 97 e 309. Em trabalho com tilápia-do-Nilo, Schrama et al. (2012) determinaram $k_{gED} = 0,636 \pm 0,031$ para dietas contendo 187 g kg^{-1} de lipídeos, e $k_{gED} = 0,586 \pm 0,033$ para dietas contendo 56 g kg^{-1} de lipídeos. Nesse mesmo trabalho, a partir de dados da literatura, os autores estabeleceram uma correlação positiva ($r = 0,66$, $p < 0,01$) entre o conteúdo de gordura da ração e k_{gED} , mas a correlação entre o conteúdo de extrativo não nitrogenado (ENN) e k_{gED} foi negativa ($r = -0,60$, $p < 0,01$).

Esta maior eficiência na utilização dos lipídeos tem relação com o fato dos lipídeos gerarem menor incremento calórico (ação dinâmica específica) do que os carboidratos e as proteínas. Assim em suínos, por exemplo, o incremento calórico estimado foi de $4,4 \text{ kJ g}^{-1}$ de lipídeo depositado a partir de lipídeos dietéticos, e de $16,4 \text{ kJ g}^{-1}$ de lipídeo depositado a partir de substratos não lipídicos dieta (carboidratos e proteína). Considerando um calor de combustão dos lipídeos de $39,6 \text{ kJ g}^{-1}$, os valores estimados de eficiência de utilização da energia metabolizável para a deposição de lipídeos (k_{LEM}) foram $= 39,6/(39,6+4,4) = 0,90$ no caso da retenção de lipídeos a partir dos lipídeos, e de $39,6/(39,6+16,4) = 0,71$ no caso de deposição de lipídeos a partir de carboidratos ou proteína (EMMANS, 1994). Cálculos teóricos de eficiências baseadas na estequiometria das rotas metabólicas têm sido documentados; a deposição de lipídios a partir de lipídios tem um valor de eficiência de 97%, enquanto que a deposição de lipídios a partir de carboidratos tem uma eficiência na faixa de 81% até 84% em função de se considerar ou não a produção de ATP a partir de glicose. Portanto, a eficiência real de retenção de energia na forma de lipídios depende da composição da dieta e da proporção de lipídios da dieta que são oxidados e não são depositados diretamente (MILGEN, 2006).

A eficiência teórica de retenção da energia na forma de proteína tem sido estimada na faixa de 85% até 90%; no entanto, o processo de reciclagem (“turnover”) da proteína não permite que a mesma quantidade de proteína sintetizada seja depositada. Portanto, é lógico esperar que a eficiência real seja inferior à teórica e que fatores que aceleram o “turnover” da proteína, como um perfil de aminoácidos desbalanceado na dieta e enfermidades, também piores a eficiência energética da deposição de proteína (MILGEN, 2006).

Alguns autores têm relatado coeficientes para modelos de estimativa das exigências em proteína digestível para espécies marinhas (Tabela 1.2). Para corvina japonesa *Argyrosomus japonicus*, a temperatura da água (20 ou 26°C) e o peso corporal (40 ou 129 g) não influenciaram os valores de PDm e k_{gPD} , de formas que foi possível considerar um modelo geral e definir seus coeficientes a partir da regressão linear considerando o ganho em proteína (GP, $\text{g kg}^{-0,7}$) em função de consumo de proteína digestível (CPD, $\text{g kg}^{-0,7}$). O modelo obtido foi $\text{GDP} = 0,581 \cdot \text{CPD} - 0,272$ ($r^2 = 0,97$, $n = 48$) e, consequentemente, $\text{PDm} = 0,47 \text{ g PD kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$ e $k_{gPD} = 0,581$. Desta maneira, a exigência de PD para deposição de proteína foi de $1,72 \text{ g g}^{-1}$ (PIROZZI; BOOTH; ALLAN., 2010). Nos estudos documentados na Tabela 1.2 os valores de PDm oscilaram entre $0,47 \text{ g kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$ para a corvina japonesa (PIROZZI; BOOTH; ALLAN., 2010) e $1,702 \text{ g kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$ para cavallinha (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010). As exigências em proteína para manutenção englobam a

proteína para substituir perdas de proteína na superfície corporal (tegumento) e no sistema digestório (COWEY, 1994). Os valores de k_{gPD} oscilaram entre 0,51 para cavalinha (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010) e 0,66 para robalo (PERES; OLIVA-TELES, 2005). Fatores como o “turnover” de proteína, o balanço de aminoácidos e a relação proteína digestível : energia digestível podem influenciar a eficiência de deposição de proteína (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010).

Tabela 1.2 - Coeficientes do modelo fatorial de exigências de proteína digestível em diversas espécies de peixes

Espécie	Parâmetros do modelo ^a			Fonte
	B	PDm	k_{gPD}	
<i>Seriola lalandi</i>	0,7	1,70	0,51	Booth, Allan e Pirozzi, (2010)
<i>Argyrosomus japonicus</i>	0,7	0,47	0,581	Pirozzi, Booth e Allan, (2010)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	1,0	1,15	0,66	Peres e Oliva-Teles (2005)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,69	0,66	0,52	Lupatsch, Kissil e Sklan, (2001)
<i>Salvelinus fontinalis</i> ^a	0,69	0,10	0,47	Amin et al. (2014)
<i>Salvelinus fontinalis</i> ^b	0,78	0,31	0,51	Amin et al. (2014)

EPm = exigência de proteína digestível para manutenção ($\text{g kg}^{-\text{b}} \text{dia}^{-1}$), k_{gED} = eficiência de utilização da proteína digestível para a deposição de proteína

^a b = coeficiente alométrico para o peso corporal

^b experimento conduzido a 15°C

^c experimento conduzido 19°C

Referências

ABIMORAD, E.G.; FAVERO, G.C.; CASTELLANI, D.; GARCIA, F.; CARNEIRO, D.J. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu *Piaractus mesopotamicus* reared in cages. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 295, p. 266-270, 2009.

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.

AMIN, M.N.; CARTER, C.G.; KATERSKY BARNES, R.S.; ADAMS, L. R. Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, doi: 10.1111/anu.12274. 2014.

AMIRKOLAIE, A.K.; VERRETH, J.A.J.; SCHRAMA, J.W. Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 260, p. 194-205, 2006.

ANDERSON, J.; CAPPER, B.S.; BROMAGE, N.R. Measurement and prediction of digestible energy values in feedstuffs for the herbivorous fish tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). **British Journal of Nutrition**, London, v. 66 p. 37-48, 1991.

AZEVEDO, P.A.; van MILGEN, J.; LEESON, S.; BUREAU, D.P. Comparing efficiency of metabolizable energy utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) using factorial and multivariate approaches. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, p. 842-851, 2005.

BERNIER, J.F.; CALVERT, C.C.; FAMULA, T.R.; BALDWIN, R.L. Energetic efficiency of protein and fat deposition in mice with a major gene for rapid postweaning gain. **The Journal of Nutrition**, Rockville Pike, v. 117, p. 539-548, 1987.

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.

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.

BUREAU, D.P.; HUA, K. Models of nutrient utilization by fish and potential applications for fish culture operations. In: FRANCE, J.; KEBREAB, E. (Ed.). **Mathematical Modeling in animal Nutrition**. Cambridge: CAB International, 2008. chap. 20, p. 443-461.

BUREAU, D.P.; HUA, K.; CHO, C.Y. Effect of feeding level on growth and nutrient deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) growing from 150 to 600 g. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 37, p. 1090-1098, 2006.

COWEY, C.B. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 124, p. 1-11, 1994.

EMMANS, G.C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. **British Journal of Nutrition**, London, v. 71, p. 801-821, 1994.

FERNANDES, J.B.K. **Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos e juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus*** (Holmberg, 1887). 1998. 108p. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" Jaboticabal, 1998.

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

FERNANDES, J.B.K.; LOCHMANN, R.; BOCANEGRA, F.A. Apparent digestible energy and nutrient digestibility coefficients of diet ingredients for pacu *Piaractus brachypomus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 35, p. 237-244. 2004.

KRAUGERUD, O.F.; SVIHUS, B. Tools to determine the degree of starch gelatinization in commercial extruded salmon feeds. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 42, p. 914-920, 2011.

LOVELL, R.T. **Nutrition and feeding of fish**. 2nd.ed. Boston: Kluwer Academic, 1998. 267p.

LUPATSCH, I.; DESHEV, R.; MAGEN, I. Energy and protein demands for optimal egg production including maintenance requirements of female tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 41, p. 763-769, 2010.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.W.; SKLAN, D. Comparison of energy and protein efficiency among three fish species gilthead sea bream (*Sparus aurata*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and white grouper (*Epinephelus aeneus*): Energy expenditure for protein and lipid deposition. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 225, p. 175-189, 2003.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.W.; SKLAN, D. Optimization of feeding regimes for European sea bass *Dicentrarchus labrax*: A factorial approach. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 202, p. 289-302, 2001.

LUPATSCH, I.; SANTOS, G.A.; SCHRAMA, J.W.; VERRETH, J.A.J. Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 298, p. 245-250, 2010.

MILGEN, J. van. Nutrition flows models, energy transactions and energy feed system. In: GOUS, R.M; MORRIS, T.R; FISHER, C. (Ed.). **Mechanistic modelling en pig and poultry Production**. Cambridge: CAB International , 2006, chap 8. p. 143-162.

MUÑOZ-RAMÍREZ, A.P.; CARNEIRO, D.J. Suplementação de lisina e metionina em dietas com baixo nível proteico para o crescimento inicial do pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg). **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringa. v. 24, p. 909-916, 2002.

NOBLET, J.; PEREZ, J. M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 71, p. 3389-3398, 1993.

OBALDO, L.G.; DIVAKARAN, S.; TACON, A.G. Method for determining the physical stability of shrimp feeds in water. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 33, p. 369-377, 2002.

PERES, H.; OLIVA-TELES, A. 2005. Protein and energy metabolism of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles and estimation of maintenance requirements. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht , v. 31, p. 23-31, 2005

PIROZZI, I.; BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L. Protein and energy utilization and the requirements for maintenance in juvenile mullet (*Argyrosomus japonicus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 36, p. 109-121. 2010.

RENTERIA-FLORES, J.A.; JOHNSTON, L.J.; SHURSON, G.C.; GALLAHER, D.D. Effect of soluble and insoluble fiber on energy digestibility, nitrogen retention, and fiber digestibility of diets fed to gestating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 2568-2575. 2008.

RODEHUTSCORD, M.; PFEFFER, E. Maintenance requirement for digestible energy and efficiency of utilisation of digestible energy for retention in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 179, p. 95-107, 1999.

SALES, J. Prediction of digestible energy content across feed ingredients and fish species by linear regression. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 35, p. 551-565, 2009.

SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 278, p. 128-142, 2008.

SCHRAMA, J.W.; SARAVANAN, S.; GEURDEN, I.; HEINSBROEK, L.T.; KAUSHIK, S.J.; VERRETH, J.A. Dietary nutrient composition affects digestible energy utilization for growth: a study on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a literature comparison across fish species. **British Journal of Nutrition**, London, v. 108, p. 277-289, 2012.

SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, p. 358-364, 2004.

SOUZA, V.L.; URBINATI, E.C.; MARTINS, M.I.E.G.; SILVA, P.C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 19-28. 2003.

THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture**: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2nd. ed. Wallingford, CAB Internacional, 2007. 906p.

VAN TRUNG, D.; DIU, N.T.; HAO, N.T.; GLENCROSS, B. Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 320, p. 69-75, 2011.

2 MODELOS DE PREDIÇÃO DO CONTEÚDO DE ENERGIA E PROTEÍNA DIGESTÍVEIS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PACU (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887)

Resumo

Despesas com alimentação são o componente mais oneroso dos custos de produção em piscicultura. Assim uma utilização eficiente da ração é necessária para a viabilidade econômica da produção. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um grupo de equações para prever os valores de energia digestível (ED) e proteína digestível (PD) de rações comerciais para o pacu, *Piaractus mesopotamicus*. Para tanto, foram coletadas 28 amostras de rações (sete rações, quatro lotes de cada) comercializadas na região de Piracicaba, estado de São Paulo, as quais foram caracterizadas quanto à composição centesimal, energia bruta, aminoácidos, frações de fibra, amido, carboidratos, grau de gelatinização do amido, hidro-estabilidade, índice de solubilidade e absorção de água. Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da energia das rações foram determinados em ensaios com juvenis de pacu ($114 \pm 20,24$ g) em sistema de coleta de fezes por decantação em tanques cilíndrico-cônicos a partir da adição de óxido de cromo III (Cr_2O_3 ; $1,0 \text{ g kg}^{-1}$) como marcador inerte às dietas. Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (70,44 até 83,66%) e da proteína (75,43 até 89,08%) foram negativamente correlacionados com os conteúdos de xilose e arabinose das dietas. Um modelo considerando coeficientes para as variáveis explanatórias: soma de carboidratos (excluindo glicose e galactose), energia bruta e hidro-estabilidade explicou 81% da variação total da energia digestível. No entanto, modelos incluindo variáveis menos custosas na sua quantificação como o conteúdo de amido e a hidro-estabilidade, também apresentaram uma capacidade de predição satisfatória. Em relação à proteína digestível, o modelo com o melhor ajuste explicou 93% da variação total e considerou as variáveis proteína bruta, arabinose e hidro-estabilidade (27°C , 5 minutos). O modelo que não considerou o efeito da arabinose, possivelmente uma abordagem mais prática da técnica, também gerou resultados satisfatórios e confiáveis.

Palavras-chave: Alimentos para peixes; Digestibilidade; Energia dietética; Equações de predição; Proteína dietética

Abstract

The cost of feeds and feeding are the main component of production costs of fish farming. The efficient use of feed is therefore necessary for the economic viability of production. The aim of this study was to develop a set of equations to elicit predicting the digestible energy (DE) values and digestible protein (DP) of commercial diets for pacu, *Piaractus mesopotamicus*. Twenty eight samples of commercial, omnivorous fish feeds were collected in the region of Piracicaba, State of São Paulo, and analyzed for regarding nutrients, gross energy, amino acids, fiber fractions, starch, carbohydrates contents, starch gelatinization degree, hydro stability, solubility index and water absorption. The apparent digestibility of protein and energy of feeds were determined using juvenile fish (114 ± 20.24 g); feces were collected by sedimentation in cylindrical-conical aquaria and chromium oxide III (Cr_2O_3 ; 1.0 g kg^{-1}) was added as inert marker to diets. Apparent digestibility of energy

(70.44 to 83.66%) and protein (75.43 to 89.08%) were negatively correlated with xylose and arabinose contents of diets. A model considering coefficients for the explanatory variables: addition of carbohydrates (excluding glucose and galactose), gross energy and hydro stability, explained 81% of the total variation of digestible energy. However, models which included variables of less-costly quantification such as starch contents and hydro stability, also present a satisfactory prediction capacity. Regarding the digestible protein, the model with the best fit, which considered variables crude protein, arabinose and hydro stability (27 °C, 5 minutes), explained 93% of the total variation. The model which did not consider the effect of arabinose, perhaps a more practical approach to the technique, also yielded satisfactory, reliable results.

Keywords: Fish feeds; Digestibility; Prediction equations; Dietary protein; Dietary energy

2.1 Introdução

Despesas com alimentação e nutrição são o componente mais oneroso dos custos de produção em piscicultura. A viabilidade econômica da produção em piscicultura depende, então, da utilização eficiente da ração pelos peixes confinados (CYRINO et al., 2010). Durante a digestão acontecem perdas de nutrientes e energia que contribuem para diminuição da eficiência o uso da ração. Para a maioria dos peixes as perdas de energia nas fezes variam entre 15% até 30% da energia bruta da ração (NRC, 2011).

A eficiência dos processos de digestão e absorção é quantificada mediante o coeficiente de digestibilidade de um nutriente específico ou da energia das rações, o que permite uma estimativa mais aprimorada dos nutrientes realmente disponíveis para o metabolismo dos peixes. No caso particular do pacu, *Piaractus mesopotamicus*, algumas pesquisas têm determinado os coeficientes de digestibilidade energia e da proteína de ingredientes frequentemente usados na fabricação de dietas práticas (FERNANDES; LOCHMANN; BOCANEGRA, 2004; ABIMORAD; SQUASSONI; CARNEIRO, 2008). Na produção comercial do pacu geralmente são utilizadas rações comerciais cujos conteúdos de energia digestível e proteína digestível são, com frequência, desconhecidos. Estas informações seriam necessárias para o manejo alimentar e a nutrição de precisão na escala industrial (POMAR et al., 2009).

Considerando que a quantificação da digestibilidade da ração nos peixes é um procedimento complexo, demorado e custoso, o desenvolvimento de modelos matemáticos para prever os conteúdos de energia digestível e proteína digestível a partir da composição centesimal dos ingredientes ou das dietas tem sido sugerido como uma maneira de contornar estas limitantes (ANDERSON; CAPPER; BROMAGE, 1991; SKLAN; PRAG;

LUPATSCH, 2004; SALES, 2008, 2009). Assim o objetivo deste trabalho foi realizar uma caracterização de rações para “peixes onívoros” comercializadas na região de Piracicaba, estado de São Paulo, e desenvolver modelos de predição do conteúdo de energia e proteína digestível destas rações para o pacu.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Amostragem e caracterização físico-química das rações das rações comerciais

Foram coletadas 28 amostras de ração para peixes onívoros disponíveis em lojas agropecuárias da região de Piracicaba, estado de São Paulo. A amostragem abrangeu rações provenientes de 3 fabricas selecionadas aleatoriamente (A, B, C). Foram coletadas 3 rações da fabrica A (A1, A2, A3), 3 da B (B1, B2, B3) e uma da fabrica C. De cada uma das rações foram coletadas amostras de quatro lotes de produção que foram submetidas a análises físico-químicas (Tabela 2.1). As porcentagens de proteína garantidos pelos fabricantes para as rações foram como segue: A1 e B1 28%; A2 e B2 32%; A3 e B3 36%; C 35%.

Tabela 2.1 - Discriminação das análise físico-químicas das amostras de rações comerciais coletadas

Análise	Método	Referência
Matéria seca	Secagem em forno	AOAC (2000)
Proteína bruta	N*6,25 (Kjeldahl)	AOAC (2000)
Extrato etéreo	Lavagem com éter previa digestão acida	EUROPEAN UNION (EU) (2009)
Cinzas	Queima em forno mufla	AOAC (2000)
Energia bruta	Combustão em bomba calorimétrica C200 (Instrumentos IKA)	
Fibra bruta	Digestão acida e básica	AOAC (2000)
Fibra em detergente neutro	Digestão em detergente neutro, tratamento prévio com amilase e incluindo o resíduo de cinzas	ANKOM TECHNOLOGY (2015a)
Fibra em detergente ácido	Digestão em detergente acida após a digestão com detergente neutro. Incluindo o resíduo de cinzas	ANKOM TECHNOLOGY (2015b)
Fibra alimentar solúvel	Digestões enzimáticas e gravimetria	AOAC 2011
Fibra alimentar insolúvel	Digestões enzimáticas e gravimetria	AOAC 2011
Índice de absorção em água (IAA)	Dissolução em água e centrifugação	Kirby et al. (1988)
Índice de solubilidade em água (ISA)	Dissolução em água e centrifugação	Kirby et al. (1988)
Amido	Polarimétrico	EUROPEAN UNION (EU) (2009)
Carboidratos totais	Cromatografia Iônica (IC)	Thompsom (1990)
Retenção de matéria depois da imersão em água (hidro-estabilidade)	Imersão em água e gravimetria	Obaldo, Divakaran e Tacon (2002)
Grau de gelatinização do amido	Glucoamilase - o-toluidina	Chiang e Johnson (1977)
Perfil de aminoácidos	Cromatografia líquida de alta eficiência	White, Hart e Fry (1986)
Triptofano	Digestão alcalina e cromatografia	Lucas e Sotelo (1980)

2.2.3 Determinação da digestibilidade das rações

Alíquotas de cada ração foram moídas (peneira 20 malha = 841 μm) e do material resultante foram coletados 3.996 g ao que foi adicionado e homogeneizado 4,0 g de óxido de cromo III (Cr_2O_3) como marcador externo (0,1%). A mistura resultante foi embebida com 30% de água (1,2 kg) e a massa resultante foi granulada a frio e seca em estufa de ventilação forçada (30°C; 48 horas).

Juvenis de pacu ($114 \pm 20,24$ g) foram estocados em doze gaiolas circulares plásticas de 80 L (20 peixes por gaiola) alojadas em tanques termoplásticos de 1000 L (três gaiolas por tanque), cada gaiola considerada então uma repetição na coleta de fezes. Os peixes foram aclimatados e adaptados às condições experimentais durante 30 dias. O período experimental para cada amostra de ração incluiu nove dias de adaptação à dieta experimental e o tempo necessário para coletar 12 g secas de material fecal. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (08h30m e 16h00m) até saciedade aparente e 90 minutos após a última

refeição foram sedados (eugenol, 50 mg L⁻¹) e transferidos para os tanques cilindro-cônicos (método Guelph modificado) para coleta de fezes por decantação em coletores refrigerados; as coletas do material fecal eram feitas às 23h30m e às 07h30m do próximo dia. O excesso de água dos coletores foi sifonado e as fezes transferidas para tubos plásticos (50 mL) e centrifugadas (5.000 rpm, 10 min, 4°C); o sobrenadante foi descartado e o material fecal transferido para recipientes plásticos formando uma amostra composta das diferentes coletas, armazenadas sob congelamento. As amostras foram então liofilizadas e analisadas quanto ao conteúdo em proteína e energia (calor de combustão quantificado em bomba calorimétrica IKA, modelo C200) (AOAC, 2000). O teor de Cr₂O₃ nas rações e no material fecal foi determinado pelo método espectrofotométrico após digestão nitro-perclórica como definido por Bremer-Neto et al. (2005).

Os coeficientes de digestibilidade da proteína e da energia de cada ração foram quantificados por triplicata, empregando a seguinte equação (FRACALOSSI et al., 2012; NRC, 2011):

$$CDA_{nutriente}(\%) = 100 - 100 \left(\frac{\%Cr_2O_{3dieta}}{\%Cr_2O_{3fezes}} \right) \left(\frac{nutriente_{fezes}}{nutriente_{dieta}} \right)$$

em que Cr₂O_{3dieta} é concentração percentual de Cr₂O₃ na dieta, Cr₂O_{3fezes} é a concentração de Cr₂O₃ nas fezes, nutriente_{fezes} e a concentração de proteína ou o conteúdo de energia nas fezes, nutriente_{dieta} é a concentração de proteína ou o conteúdo de energia na dieta.

2.2.4 Análise estatística

Inicialmente foram calculados parâmetros de estatística descritiva das variáveis físico-químicas das rações para todas as amostras (Tabela 2.2) e agrupadas por ração (Apêndice A). Posteriormente foram estabelecidas Correlações de Pearson entre as variáveis físico-químicas (Anexo A). Modelos de regressão linear múltipla foram ajustados para prever o valor de energia digestível e proteína digestível em função das variáveis físico-químicas. A seleção das variáveis explanatórias foi feita mediante a metodologia passo a passo (“stepwise”) utilizando o procedimento GLMSELECT do aplicativo SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA). Os parâmetros associados a cada variável explanatória foram estimados mediante o procedimento REG do aplicativo SAS e considerados significativos quando p<0,05.

O coeficiente de determinação (r²), o coeficiente de determinação ajustado (r² ajustado) e os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) foram

utilizados para comparar o ajuste dos modelos. A homocedasticidade e a normalidade dos resíduos foi aferida mediante a inspeção dos gráficos de resíduos (i.e., resíduos vs. preditos, histograma de resíduos). Foi também aferida a presença de dados influentes avaliando os parâmetros de distância de Cook e os valores de DFBETAS. O fator de inflação da variância (VIF) foi utilizado para conferir a colinearidade (CHATTERJEE; HADI, 2006) das variáveis.

A capacidade preditiva dos modelos escolhidos foi conferida mediante validação cruzada de k dobras (“k-fold cross-validation”) fragmentando-se o conjunto de dados em quatro grupos aleatórios ($k = 4$); três grupos (21 observações) foram inicialmente utilizados para ajustar o modelo e outro grupo (sete observações) foi utilizado para testar o modelo. O processo foi repetido até que os quatro grupos servissem de teste. Em cada avaliação foi calculada a acurácia de predição definida como o coeficiente de correlação de Pearson entre os valores observados e os valores preditos (OU et al., 2016). Para cada modelo foi determinada a média ($\pm$ desvio padrão) dos valores de acurácia de predição obtida nas quatro avaliações.

2.3 Resultados e discussão

Os valores ($\mu \pm$ DP) dos parâmetros de qualidade da água rotineiramente monitorados durante o período experimental foram: temperatura = $25,45 \pm 1,4$ °C, pH = $8,18 \pm 0,72$ e oxigênio dissolvido = $4,50 \pm 1,57$ mg L⁻¹. Estes valores são considerados como satisfatórios para o desenvolvimento da espécie (URBINATI; GONÇALVES; TAKAHASHI, 2005).

2.3.1 Caracterização das rações

A quantidade de matéria seca das rações variou entre 900,5 e 941,1 g kg⁻¹, com uma média geral de 926,4 g kg⁻¹ (Tabela 2.2) Estes valores podem ser considerados como apropriados e seguros; valores inferiores a 880 g kg⁻¹ permitiriam o crescimento de microrganismos, principalmente fungos, que deterioram rapidamente a qualidade do alimento (NRC, 2011).

No mercado de rações para peixes onívoros no Brasil são comercializadas rações com três teores de proteína e as recomendações de utilização das rações conservam o seguinte padrão: (i) 36 % de proteína (PB), sugerida para peixes de 25 g até 50 ou 100 g; (ii) 32 % PB, sugerida para peixes de 50 g até 200 ou 250 g; e (iii) 28 % PB, sugerida para peixes acima de 250 g. Os teores de proteína variaram entre 279,8 e 406 g kg⁻¹ MS, com média de

343,6 g kg⁻¹ MS. O teor de extrato etéreo variou de 47,3 a 100,5 g kg⁻¹ MS, tendo sido detectada correlação positiva entre o teor de proteína e o teor de extrato etéreo nas rações ($r = 0,64$; $p < 0,05$). O valor de cinzas apresentou uma média de 101,9 g kg⁻¹ MS e uma correlação negativa ($r = -0,47$; $p < 0,05$) com o conteúdo de energia bruta da ração, o que pode ser atribuído ao fato que os minerais não fornecem energia no processo de combustão.

Tabela 2.2 Estatística descritiva de variáveis físico-químicas de 28 amostras de rações comerciais para peixes onívoros disponíveis no mercado da região de Piracicaba, estado de São Paulo

(continua)

Propriedade	Parâmetro			
	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
g kg ⁻¹ MS				
Composição centesimal e energia bruta				
Matéria seca	926,40	10,67	941,11	900,49
Proteína	343,64	35,94	406,01	279,82
Extrato etéreo	68,81	13,27	105,30	47,34
Fibra bruta	65,65	17,47	103,24	28,12
Cinzas	101,93	16,78	143,19	71,77
Extrato não nitrogenado	419,97	45,58	511,23	351,54
Energia bruta (MJ kg ⁻¹)	19,51	0,70	21,16	18,32
Frações de fibras				
Fibra detergente neutro (FDN)	349,62	52,89	463,62	257,03
Fibra detergente ácido (FDA)	135,26	28,54	184,58	86,11
Hemicelulose	214,36	33,77	305,62	147,40
Fibra alimentar solúvel	3,53	3,11	12,91	<1(5/28)
Fibra alimentar insolúvel	213,90	52,20	306,74	132,80
Fibra alimentar total	217,42	52,85	312,47	138,08
Carboidratos				
Glicose	300,22	54,76	415,98	220,03
Xilose	27,58	10,01	48,79	10,11
Arabinose	26,85	6,95	42,69	15,34
Galactose	13,75	7,22	30,81	4,08
Frutose	32,20	17,20	56,48	<0,5(13/28)
Manose	3,83	2,61	6,95	<0,5(21/28)
Fucose	0,20	0,08	0,26	<0,5 (26/28)
Carboidratos totais	386,75	59,62	515,72	272,27
Aminoácidos				
Arginina	23,93	2,86	29,03	19,25
Histidina	8,39	1,50	10,75	5,71
Isoleucina	11,58	1,37	13,94	8,99
Leucina	27,79	3,18	32,50	21,14
Lisina	16,40	3,81	21,76	10,25
Metionina	4,34	1,42	7,67	2,66
Cistina	5,98	0,93	8,13	4,65
Fenilalanina	16,62	2,00	20,54	13,27
Tirosina	9,63	1,26	11,99	7,72
Treonina	13,90	1,51	16,20	11,45
Triptofano	2,10	0,37	3,00	1,60
Valina	21,39	1,66	26,14	18,29

Tabela 2.2 Estatística descritiva de variáveis físico-químicas de 28 amostras de rações comerciais para peixes onívoros disponíveis no mercado da região de Piracicaba, estado de São Paulo

(conclusão)

Propriedade	Parâmetro			
	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
g kg ⁻¹ MS				
Aminoácidos				
Ácido aspártico	27,14	6,10	38,09	19,02
Ácido glutâmico	50,30	5,71	61,73	40,02
Alanina	19,88	2,56	24,10	15,01
Glicina	27,09	4,32	36,53	20,29
Serina	23,70	2,58	30,06	19,05
Prolina	28,21	3,05	35,89	23,45
Taurina	0,21	0,13	0,53	<0,1 (7/28)
Soma dos aminoácidos	338,51	36,99	398,91	275,49
Amido e grau de gelatinização do amido				
Amido (g kg ⁻¹ MS)	242,71	35,44	360,37	182,89
Grau de gelatinização (%)	81,86	10,59	98,50	63,00
Hidro-estabilidade (%)				
24 °C 2 minutos	98,20	0,70	99,33	96,27
24 °C 5 minutos	97,49	0,89	99,15	94,97
24 °C 10 minutos	96,53	1,03	98,53	93,94
27 °C 2 minutos	98,01	0,72	99,34	96,45
27 °C 5 minutos	97,12	0,98	99,30	95,17
27 °C 10 minutos	95,98	1,23	98,89	93,48
30 °C 2 minutos	97,73	0,96	99,26	95,09
30 °C 5 minutos	96,78	1,14	99,13	93,72
30 °C 10 minutos	95,81	1,17	98,62	92,60
Solubilidade e absorção de água				
Índice de absorção de água (g de gel g MS ⁻¹)	3,61	0,29	4,01	2,60
Índice de solubilidade em água (%)	9,96	1,98	15,31	6,68
Coeficiente de digestibilidade (%)				
CDA Proteína	82,94	3,49	89,08	75,43
CDA Energia	76,94	4,52	83,66	70,44
Valores digestíveis				
Proteína digestível (g kg ⁻¹ MS)	285,28	34,31	333,82	232,45
Energia digestível (MJ kg ⁻¹)	15,02	1,17	17,44	13,14

< Indica o limite de detecção e os valores entre parenteses representam a proporção de amostras abaixo do limite de detecção, para as quais a média e o desvio padrão foram calculados com os valores acima do limite de detecção.

As rações foram caracterizadas por baixos teores de fibra solúvel, com valor máximo de 12,9 g kg⁻¹ MS, sendo que em cinco das 28 amostras o conteúdo foi inferior ao limite de detecção (1 g kg⁻¹); a média para as amostras com valores acima do limite de detecção foi de 3,29 g kg⁻¹ MS. Entre os poucos relatos do conteúdo de fibra solúvel em rações comerciais para peixes destaca-se aquele de Fabregat (2009), que relatou conteúdo de fibra solúvel de 1,86 % (18,6 g kg⁻¹) em uma ração experimental para pacu baseada em farelo de soja, amido de milho e farinha de peixe.

A fibra insolúvel é constituída principalmente por celulose, a maior parte da hemicelulose e lignina (NRC, 2011). Os níveis de fibra insolúvel nas amostras avaliadas variaram de 132,8 a 306,73 g kg⁻¹ MS, com média de 213,9 g kg⁻¹ MS; comparativamente, Fagregat (2009) relatou valores variando de 139,2 a 199,7 g kg⁻¹ em rações experimentais para o pacu baseadas principalmente em ingredientes utilizados na fabricação de dietas práticas. Os teores de fibra insolúvel foram negativamente correlacionados com os teores de proteína ($r = -0,53$; $p < 0,05$) e de extrato etéreo ($r = -0,57$; $p < 0,05$), indicando que rações com baixos valores de proteína (i.e., 28%) apresentam baixos valores de extrato etéreo e altos valores de fibra insolúvel. Da mesma forma, a porcentagem de fibra alimentar insolúvel apresentou uma correlação negativa com os teores de amido ($r = -0,43$; $p < 0,05$). Por outro lado, foram encontradas correlações positivas entre a fibra insolúvel e a xilose ($r = 0,43$; $p < 0,05$) e a arabinose ($r = 0,42$; $p < 0,05$). Os valores de xilose variaram de 10,11 a 48,79 g kg⁻¹ MS, com valor médio de 27,58 g kg⁻¹ MS. A média dos valores de arabinose foi 26,85 g kg⁻¹ MS, variando entre 15,34 e 42,69 g kg⁻¹ MS, uma indicação que a hemicelulose presente nas rações avaliadas contém concentrações consideráveis de xilose e arabinose, provavelmente na forma de arabinoxilanos, como o sugere a correlação entre o conteúdo destas duas pentoses ($r = 0,89$; $p < 0,05$).

Os valores de hemicelulose calculados (hemicelulose = FDN-FDA) apresentaram correlação positiva com o valor de xilose ($r = 0,41$, $p < 0,05$) e as correlações entre as frações da fibra alimentar (solúvel e insolúvel) apresentaram correlações baixas e não significativas com o fracionamento obtido mediante detergentes (FDN e FDA) ou mediante a digestão ácido-básica (fração de fibra bruta). Considerando que o farelo de trigo é ingrediente básico da indústria de alimentos para animais e que apresenta conteúdos apreciáveis de arabinoxilanos e polissacáridos não-celulósicos insolúveis – 273 g kg⁻¹ MS (BACH-KNUDSEN, 2007), é provável que este ingrediente tenha sido incluído nas rações avaliadas.

O amido é não somente uma importante fonte de energia para os peixes, como também é necessário para garantir o sucesso no processo de granulação das rações, particularmente o

processamento por extrusão. Para garantir as propriedades físicas como a durabilidade, a hidro-estabilidade e a flutuabilidade dos alimentos extrudados para organismos aquáticos, recomenda-se o uso de teores de amido acima de 20 % nas dietas (RIAZ; ROKEY, 2012). Os teores de amido nas amostras das rações avaliadas variaram entre 183 e 360 g kg⁻¹ MS, média de 243 g kg⁻¹ MS; Fabregat (2009) relatou valores na faixa de 111 a 277 g kg⁻¹ em rações experimentais. Os teores de amido foram positivamente correlacionados com os teores de glicose ($r = 0,53$; $p < 0,05$), sendo que os teores de glicose variaram de 220 a 416 g kg⁻¹ MS indicando que parte da glicose das rações provém da fração polissacarídeos não amiláceos (PSNA), e.g., a celulose.

Durante o processo de extrusão acontece a gelatinização do amido contido nos ingredientes da ração, o que melhora a digestibilidade deste carboidrato (FRACALOSS; RODRIGUEZ; GOMINHO-ROSA, 2012). No entanto a gelatinização não acontece na totalidade do amido; uma parte permanece na forma de grânulos, os quais são resistentes ao ataque enzimático (amido resistente tipo 2); uma parte do amido gelatinizado sofre o processo de retrogradação, em que as cadeias de amilose agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio mais rapidamente que as de amilopectina, formando o denominado amido retrogradado ou amido resistente tipo 3 (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). O grau de gelatinização do amido é uma média da proporção do amido que é susceptível à hidrólise na presença da amilase. O grau de gelatinização do amido nas rações avaliadas variou entre 63 e 98,5% (média 81,85 %; mediana 84,05%). Estes valores são um pouco inferiores àqueles encontrado na literatura. Utilizando calorimetria diferencial de barrido, Kraugerud e Svihus (2011), por exemplo, registraram valores de gelatinização do amido variando de 81% a 100% em rações extrudadas comerciais para o salmão, corroborando resultados encontrados por Ah-Hen et al. (2014), os quais utilizando o método enzimático determinaram valores de gelatinização do amido variando de 95,3% a 97,8 % em rações com diferentes fontes de amido para o salmão.

A gelatinização do amido aliada à desnaturação de proteínas que acontece durante a extrusão, favorece capacidade de absorção de água do alimento processado a partir da formação de um gel; o índice de absorção de água (IAA) expressa o peso desse gel por grama do alimento seco. O IAA das rações avaliadas variou de 2,59 a 4,01, média de 3,61. A correlação do IAA com o conteúdo (%) de proteína nas dietas foi negativa ($r = -0,64$; $p < 0,05$), sugerindo que conforme o nível da proteína da ração aumenta, o IAA diminui. Valores de IAA variando de 2,42 a 2,80 têm sido relatados em rações extrudadas para peixes com

inclusões gradativas de glúten de trigo (0 a 20% da matéria seca) e teores de proteína em torno de 60% (DRAGANOVIC et al., 2013). Estes valores são inferiores àqueles encontrados no presente estudo, mas reafirmam a correlação negativa entre a porcentagem de proteína e os valores de IAA.

Em rações para peixes o índice de solubilidade em água (ISA) é uma medida da integridade dos produtos extrudados em meio aquoso. De maneira geral, tanto os valores do ISA quanto aqueles do IAA refletem a natureza hidrofóbica ou hidrofílica dos produtos extrudados (BROWN et al., 2015). Os valores de ISA variaram de 6,68% a 15,31%, média de 9,96%, e apresentaram uma correlação positiva com a porcentagem de proteína ($r=0,52$; $p<0,05$) e negativa com os valores de IAA ($r=-0,64$; $p<0,05$) das dietas, possível indicativo que a solubilização de nutrientes é maior em dietas com altos teores de proteína. Os valores de ISA foram positivamente correlacionados com os valores de alguns aminoácidos solúveis, tais como o ácido glutâmico ($r = 0,75$; $p<0,05$), o ácido aspártico ($r = 0,63$; $p<0,05$) e a arginina ($r =0,60$; $p<0,05$), possível indicação que nas rações extrudadas estes aminoácidos são susceptíveis a lixiviação.

Outra maneira de avaliar a natureza hidrofílica dos alimentos extrudados é o uso dos testes de hidro-estabilidade, que quantificam a porcentagem de retenção de matéria seca dos grânulos após a imersão em água a uma temperatura e tempo definidos. A hidro-estabilidade também pode ser expressa como a porcentagem de perda de matéria seca após a imersão controlada, como segue: $\text{perda} = 100 - \text{retenção de matéria seca}$. A partir da metodologia de hidro-estabilidade em sistema estático descrita em Obaldo, Divakaran e Tacon (2002), foram feitas avaliações das amostras de rações em três temperaturas consideradas típicas na criação do pacu (24°C, 27°C e 30°C) em três tempos de imersão (2, 5 e 10 min.). Os valores de retenção de matéria seca no tempo de imersão 2 min. foram muito semelhantes: 98,20% para 24°C, 98,01% para 27°C e 97,73% para 30°C. Na literatura recente existem poucos relatos de valores de hidro-estabilidade de rações comerciais para peixes. No entanto, Fagbenro e Jauncey (1995) testaram a adição de vários aglutinantes em rações para tilápias baseadas em silagem de resíduos de peixe e relataram valores de perda de nutrientes a 27°C e 10 minutos de imersão variando de 7,95 a 12,16%, i.e., uma retenção de matéria seca de 92,05 e 87,84%, respectivamente. Os valores de retenção registrados para 27°C e 10 minutos de imersão variaram de 93,48% a 98,89 %, média de 95,98%. Para todas as combinações de tempos e temperaturas os valores de retenção foram negativamente correlacionados com o ISA, a maioria destas correlações sendo significativas (exceção para 2 minutos e 30°C; $r = -0,28$; $p = 0,14$) com destaque para 10 minutos e 24°C ($r=-0,59$).

Os valores de retenção da matéria seca foram correlacionados negativamente com o conteúdo de alguns aminoácidos, com destaque para ácido glutâmico, ácido aspártico e lisina, para estes o módulo do coeficiente de correlação foi maior que 0,65 para os três tempos avaliados nas temperaturas de 24°C e 27°C. Cruz-Suarez et al. (2005) relataram 13% de perda de lisina por lixiviação em rações comerciais para camarão durante uma hora de imersão em água a 28°C; para a metionina a perda foi de 13,8%. É provável que a correlação negativa entre o conteúdo dos aminoácidos solúveis (lisina, ácido aspártico e ácido glutâmico) esteja em concordância com os relatos de Watson, Barrows e Place (2015), que demonstraram uma forte correlação entre a concentração inicial e a taxa de lixiviação da taurina em dietas extrudadas para juvenis de bijupirá.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (CDA_{EB}) apresentaram média de 76,94%, variando entre 70,44 e 83,66%. Rodrigues et al. (2010) relataram que o coeficiente de digestibilidade aparente da energia varia em função do nível de fibra bruta das dietas: para uma ração com 9% de fibra bruta, $CDA_{EB} = 72,09\%$, e para uma ração com 5% de fibra bruta, $CDA_{EB} = 81,77\%$. Considerando que no presente estudo os valores de fibra bruta oscilaram entre 28,12 e 103,24 g kg⁻¹ MS, os valores de CDA_{EB} registrados apresentam coerência com aqueles relatados por Rodrigues et al. (2010), mas a correlação do conteúdo de fibra bruta com o CDA_{EB} foi negativa e não significativa ($r = -0,17$ $p = 0,38$). Os valores de energia digestível oscilaram entre 13,14 e 17,44 MJ kg⁻¹ MS.

Os coeficientes de digestibilidade aparente para a proteína (CDA_{PB}) variaram de 75,43 a 89,08 %, com valor médio de 82,94%. Na literatura são relatados valores oscilando na faixa de 78,87 até 90,03 % (RODRIGUES et al., 2010). Este intervalo apresenta semelhança com os valores encontrados para ingredientes, assim o valor mínimo (81,5%) foi relatado para levedura de fermentação alcoólica e um valor máximo (95,6 %) para glúten de milho (ABIMORAD; SQUASSONI; CARNEIRO, 2008). Os valores de proteína digestível oscilaram na faixa de 232,45 até 333,82 g kg⁻¹ MS.

2.3.2 Modelos de predição dos valores de energia digestível

A partir dos resultados das análises e conteúdo de nutrientes das rações, foram ajustados quatro modelos de regressão linear múltipla para predizer o valor de energia digestível das rações em função da variação dos conteúdos de nutrientes (Tabela 2.3). O modelo M1_{ED} teve o mais alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,81$), igualmente se caracterizou por ter os valores mais baixos tanto para o critério de informação de Akaike (AIC) quanto para o critério de informação bayesiano (BIC). Na validação cruzada, o

modelo M1_{ED} também se caracterizou por apresentar a maior media de acurácia de predição. Este modelo considerou um coeficiente positivo para o efeito da energia bruta sobre o valor de energia digestível; a correlação entre EB e ED foi significativa ($r = 0,70$, $p < 0,05$) indicando que os valores de energia digestível são dependentes dos valores de energia bruta.

Tabela 2.3 - Coeficientes (erro padrão) de quatro modelos de regressão linear múltipla para predizer o valor de energia digestível em rações comerciais para o pacu

Parâmetros	Modelo			
	M1 _{ED}	M2 _{ED}	M3 _{ED}	M4 _{ED}
Intercepto	3,3443 (3,3412)	14,1611 (15,1452)	37,4776 (17,8758)	-15,4714 (5,3033)
EB (MJ kg ⁻¹ MS)	0,6906 (0,1641)	1,1996 (0,1943)	0,6010 (0,2464)	1,4378 (0,2427)
Carboidratos totais (excluindo glicose e galactose, g kg ⁻¹ MS)	-0,0247 (0,0039)			
Amido (g kg ⁻¹ MS)		0,0194 (0,0046)		
Fibra alimentar total (g kg ⁻¹ MS)			-0,0089 (0,0031)	
Cinzas (g kg ⁻¹ MS)		0,03521 (0,0081)		0,0240 (0,0102)
H30(2) (%)			-0,3301 (0,1594)	
H27(5) (%)		-0,3169 (0,1392)		
Parâmetros de ajuste				
r ²	0,8083	0,7935	0,6794	0,5854
r ² ajustado	0,7930	0,7560	0,6393	0,5523
AIC	-2,2772	4,7173	14,1239	19,3164
BIC	-29,586	-20,1133	-11,2600	-7,7285
Validação cruzada				
Acurácia de predição (Media ±Desvio Padrão)	0,9038 ±0,0395	0,8309 ±0,1075	0,8183 ±0,0495	0,7279 ±0,1909

H30(2) (%) = hidro-estabilidade (retenção de matéria seca apos imersão) a 30°C por 2 minutos

H27(5) (%) = hidro-estabilidade a 27°C por 5 minutos

AIC= Critério de informação de Akaike

BIC = Critério de informação bayesiano

O coeficiente associado à variável “carboidratos totais” (excluindo glicose e galactose) também foi significativo e considerado no modelo. Nesse somatório de carboidratos foi

considerado, essencialmente, xilose, arabinose, fructose e manose, carboidratos associados à fração de fibra, o que explica o sinal negativo do coeficiente associado. De maneira geral estes carboidratos apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) e negativa com os valores de CDA_{EB} ; por exemplo, para a arabinose, $r = -0,66$ e para xilose, $r = -0,64$. No entanto, é importante considerar que a análise de carboidratos totais (diferenciados mediante cromatografia) é de alto custo o que limita sua quantificação nas rações rotineiramente. Assim, na procura de um modelo de maior aplicabilidade, foram retiradas do grupo de variáveis candidatas aquelas obtidas nessa análise, conseguindo assim o modelo $M2_{ED}$ ($r^2 = 0,79$), no qual, além do efeito da energia bruta, foram incluídos coeficientes para o amido, as cinzas e a hidro-estabilidade a 27°C por 5 minutos de imersão “H27(5)”. Os valores de AIC e BIC foram superiores aos do modelo $M1_{ED}$. No modelo $M2_{ED}$ o coeficiente para o amido reflete sua qualidade como fonte de energia digestível, mas o coeficiente negativo para a hidro-estabilidade sugere um efeito negativo desta característica sobre a digestibilidade. Após a imersão em água, a perda de matéria seca da ração acontece tanto na forma de material solúvel em água (lixiviação) quanto de material insolúvel. Desta forma, uma ração com alta hidroestabilidade e, por relação, baixa digestibilidade, tem ou uma baixa taxa de lixiviação (baixa solubilidade) ou pouco material insolúvel (e.g., casca de soja ou casca de grão de trigo), ou a taxa com que o material insolúvel é desprendido da estrutura do grânulo extrudado é baixa.

O modelo $M3_{ED}$ foi definido a partir de uma tentativa de considerar o efeito das diferentes frações de fibra caracterizadas neste estudo. Embora negativos, os valores de correlação da energia digestível com as frações de fibra bruta e FDA foram não significativos. Por outro lado, as correlações dos valores de ED com as frações de fibra alimentar mostram significância e valores de $-0,69$, $-0,68$ e $-0,46$ para o total, a fração insolúvel e a fração solúvel, respectivamente. Desta maneira a fração de fibra alimentar total foi considerada no modelo com um coeficiente negativo, i.e., como tendo efeito negativo sobre os valores de ED. Neste modelo também foi considerado um efeito para a hidro-estabilidade H30(2), $r^2 = 0,68$, com uma média de acurácia de predição de $0,82$.

O modelo $M4_{ED}$ foi o mais simples. Neste modelo foram considerados apenas os coeficientes para energia bruta e cinzas, com $r^2 = 0,59$, e média de acurácia de predição de $0,73$.

Os modelos definidos apresentaram melhores ajustes que aqueles relatados por outros autores. De maneira particular, os modelos desenvolvidos por Sales (2009) para prever a energia digestível em ingredientes de rações para peixes tiveram $r^2 = 0,60$. Quando se

considera que estes modelos foram desenvolvidos utilizando dados de várias espécies disponíveis na literatura e consideraram somente os conteúdos de energia bruta e a composição centesimal das dietas, fica evidente a necessidade dos modelos serem desenvolvidos de maneira espécie-específica, considerando ainda variáveis outras que a composição centesimal e os valores de energia bruta.

2.3.3 Modelos de predição dos valores de proteína digestível

Foram ajustados cinco modelos de regressão linear múltipla para predizer o valor de proteína digestível das rações em função da variação das propriedades físico-químicas (Tabela 2.4). O modelo M1_{PD} foi o que atingiu o maior r^2 e considerou coeficientes para a proteína, a arabinose e a hidro-estabilidade H27(5), a validação cruzada acusou um valor médio de acurácia de predição de 0,97. No caso da proteína o coeficiente foi positivo já para arabinose foi negativo. Isto sugere um efeito negativo de carboidratos complexos que contém arabinose (*e.g.*, arabinosxilanos) sobre a digestibilidade da proteína, isto considerando que as correlações dos coeficientes de digestibilidade da proteína mostraram uma associação negativa como arabinose ($r = -0,48$, $p < 0,05$) e a xilose ($r = -0,49$, $p < 0,05$). O coeficiente negativo para hidro-estabilidade sugere uma associação negativa entre a hidro-estabilidade e digestibilidade como explicado para o modelo M2_{ED}.

Tabela 2.4 - Coeficientes (erro padrão) de cinco modelos de regressão linear múltipla para prever o valor de proteína digestível em rações comerciais para o pacu

Parâmetros	Modelo				
	M1 _{PD}	M2 _{PD}	M3 _{PD}	M4 _{PD}	M5 _{PD}
Intercepto	712,2097 (229,7801)	-0,3258 (16,0671)	784,8241 251,8008	16,6274 (24,1738)	-22,5055 (22,4023)
Proteína (g kg ⁻¹ MS)	0,7525 (0,0613)		0,7764 (0,0669)	0,8322 (0,0617)	0,8957 (0,0649)
Arabinose (g kg ⁻¹ MS)	-0,7042 (0,2764)				
Xilose (g kg ⁻¹ MS)				-0,6291 (0,2215)	
Ácido glutâmico (g kg ⁻¹ MS)		2,1334 (0,4748)			
Alanina (g kg ⁻¹ MS)		8,9699 (1,0583)			
H27(5) (%)	-6,8635 (2,2583)		-7,8907 (2,4539)		
Parâmetros de ajuste					
r ²	0,9332	0,9327	0,9151	0,9093	0,8800
r ² ajustado	0,9249	0,9273	0,9084	0,9021	0,8754
AIC	159,1936	157,3970	163,8956	165,7555	171,5876
BIC	136,2400	130,6309	135,8958	139,0445	143,5755
Validação cruzada					
Acurácia de predição (Media ±Desvio Padrão)	0,9737 ±0,0156	0,9679 ±0,0235	0,9615 ±0,0177	0,9492 ±0,0384	0,9345 ±0,0284

H27(5) (%) = hidro-estabilidade(retenção de matéria seca após imersão) a 27°C por 5 minutos

AIC= Critério de informação de Akaike

BIC = Critério de informação bayesiano

O coeficiente de determinação do modelo M2_{PD} ($r^2 = 0,93$) foi muito semelhante ao modelo M1_{PD}. Este modelo (M2_{PD}) visou prever os valores de proteína digestível em função dos valores de aminoácidos e as outras variáveis físico-químicas, no entanto, por causa da alta correlação do conteúdo de proteína com o conteúdo dos aminoácidos foi necessário excluir a proteína do grupo de variáveis explanatórias na determinação do modelo. Isto por que quando a proteína era mantida no conjunto de variáveis explanatórias nem um dos aminoácidos era considerado dentro do modelo por seus parâmetros ser não significativos ($p > 0,05$). Desta forma no modelo M2_{PD} foram considerados parâmetros para o ácido glutâmico e a alanina ambos com coeficientes positivos. Nem uma das outras variáveis explanatórias candidatas foram incluídas no modelo. Este modelo apresentou os

menores valores para os parâmetros AIC e BIC dos cinco modelos ajustados e a média de acurácia de predição foi 0,97.

O modelo M3_{PD} é uma simplificação do modelo M1_{PD}, (i.e., não considera o efeito da arabinose). Com esta mudança, o r^2 diminuiu para 0,92, o valor de AIC aumentou e o BIC permaneceu muito semelhante àquele determinado para o modelo M1_{PD}, e o valor médio de acurácia de predição foi reduzido para 0,96. O modelo M4_{PD} ($r^2 = 0,91$) foi obtido para prever os valores de proteína digestível sem utilizar os resultados dos testes de hidro-estabilidade, mas considerando a análise de carboidratos, neste cenário, o modelo apresentou ajuste mais preciso considerando a xilose e não a arabinose, mas igualmente com coeficiente de sinal negativo; os valores para AIC e BIC aumentaram ligeiramente comparativamente aos modelos mais complexos. O modelo M5_{PD} foi o de mais simples definição e considerou somente o coeficiente para o efeito da proteína. Para este modelo o r^2 foi de 0,88 e a média de acurácia de predição foi 0,93, indicando que a partir dos valores de proteína bruta é possível prever com relativa acurácia e precisão os valores de proteína digestível. Este último modelo apresentou o r^2 um pouco superior ao valor obtido para o modelo desenvolvido por Sales (2008) (0,86) utilizando dados da literatura (49 espécies). Embora esse modelo tenha a mesma estrutura (intercepto e coeficiente para a proteína bruta) as estimativas dos coeficientes foram diferentes: o valor do intercepto foi -51,4001, contra -22,5055 do presente estudo, para proteína, 0,9872, versus 0,8957 estimado no presente estudo. Tal fato sugere que modelos espécie-específicos podem fornecer predições mais acuradas e precisas

O presente estudo permitiu concluir que os valores de energia digestível das rações comerciais para o pacu podem ser preditos com precisão a partir dos valores de energia bruta, dos conteúdos de carboidratos e dos valores de hidro-estabilidade das rações, e que predições menos aprimoradas poderiam ser obtidas a partir dos valores de energia bruta e dos teores de cinzas. Por sua vez os valores de proteína digestível das rações comerciais para o pacu podem ser preditos a partir do valor de proteína bruta, no entanto, predições mais acuradas podem ser obtidas com os conteúdos de xilose, arabinose e a hidro-estabilidade de dieta.

Referências

- 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.
- AH-HEN, K.; LEHNEBACH, G.; LEMUS-MONDACA, R.; ZURA-BRAVO, L.; LEYTON, P.; VEGA-GÁLVEZ, A.; FIGUEROLA, F. Evaluation of different starch sources in extruded feed for Atlantic salmon. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 20, p. 183–191, 2014.
- ANDERSON, J.; CAPPER, B.S.; BROMAGE, N.R. Measurement and prediction of digestible energy values in feedstuffs for the herbivorous fish tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). **British Journal of Nutrition**, London, v. 66 p. 37-48, 1991.
- ANKOM TECHNOLOGY. **Method 13**. Neutral detergent fiber in feeds - filter bag technique (for A2000 and A2000I) Macedon, 2015 a. 2 p.
- ANKOM TECHNOLOGY. **Method 12**. Acid detergent fiber in feeds - filter bag technique (for A2000 and A2000I) Macedon, 2015 b. 2p.
- AOAC- Asociation of Official Analytical Chemist Oficial methods of Analysis, W. Horwitz, (Ed) 17th ed. Gaithersburg, MD, USA, 2000. 1141p.
- AOAC- Asociation of Official Analytical Chemist Oficial methods of Analysis, W. Horwitz, (Ed) 18th ed. Gaithersburg, MD, USA, 2011. 1141p.
- BACH-KNUDSEN, K. E. Carbohydrate and lignin contents of plants materials used in animal feeding, **Animal Feed Science and Technology**, Davis, v. 67, p. 319-338, 1997.
- BREMER-NETO, H.; GRANER, C.A.F.; PEZZATO, L.E.; PADOVANI, C.R. Determinação de rotina do cromo em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 691-697, 2005.
- BROWN, M.L; FALLAHI, P; MUTHUKUMARAPPAN, K.; SINGHA, P.; SINDELAR, S.A. Comparative study of the effects of non-starch polysaccharide gums on physical properties of single-screw extruded aquafeed. **Jounal of Food Processing and Technology**, v. 6, p. 1-9, 2015.
- CHATTERJEE, S.; HADI, A.S. **Regression analysis by example**. 4th ed. Hoboken, NJ:John Wiley 2006. 375p.
- CHIANG, B.Y.; JOHNSON, J.A. Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent, **Cereal Chemistry**, Sain Paul, v. 54, p. 429–435, 1977.

CRUZ-SUAREZ, L.E.; RUÍZ DÍAZ, P.P.; VILLARREAL-CAVAZOS, D.; NIETO-LÓPEZ, M. G.; RICQUE-MARIE, D.; LOCATELLI, L.; LEMME, A. Leaching impacts amino acid profiles of commercial shrimp feeds. **Global Aquaculture Advocate**, Portsmouth, v. 8, p. 78-79, 2005.

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v, 39, p, 68-87, 2010, Suplemento, Apresentado na REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador.

DRAGANOVIC, V.; VAN DER GOOT, A.J.; BOOM, P.; JONKERS, J. Wheat gluten in extruded fish feed: effects on morphology and on physical and functional properties. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.19, p. 845–859, 2013.

FABREGAT, T.P. **Fontes de fibra na alimentação de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. 2009. 60p. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, Jaboticabal, 2009.

FAGBENRO, O.; JAUNCEY, K. Water stability, nutrient leaching and nutritional properties of moist fermented fish silage diets. **Aquacultural Engineering**, Blacksburg, v. 14, p. 143-153, 1995.

FERNANDES, J.B.K.; LOCHMANN, R.; BOCANEGRA, F.A, Apparent digestible energy and nutrient digestibility coefficients of diet ingredients for pacu *Piaractus brachypomus*, **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 35, p. 237-244, 2004.

FRACALLOSSI, D.M.; A.P.O. RODRIGUES, T.C.S. SILVA, E J.E.P. CYRINO. 2012. Técnicas experimentais em nutrição de peixes. In FRACALLOSSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. (Ed.). **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. chap. 3, p. 37-73.

FRACALOSI, D.M.; RODRIGUEZ, A.P.O.; GOMINHO-ROSA, M.C. Carboidratos e fibras. In FRACALLOSSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. (Ed.). **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. chap 6, p.101-120.

KIRBY, A.R.; OLLETT, A.-L.; PARKER, R.; SMITH, A.C. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits, **Journal of Food Engineering**, London, v. 8, p. 247–272, 1988.

KRAUGERUD, O.F.; SVIHUS, B. Tools to determine the degree of starch gelatinization in commercial extruded salmon feeds, **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v, 42, p, 914-920, 2011,

LUCAS, B.; SOTELO, A. Effect of alkalies, temperature, and hydrolisis times on tryptophan determination of pure proteins and of food. **Analytical biochemistry**, San Diego, v.109, p 192-197, 1980.

NRC, **Nutrient requirements of fish and shrimp**, Washington, D.C.:National Academies Press, 2011. 376p.

OBALDO, L.G.; DIVAKARAN, S.; TACON, A.G. Method for determining the physical stability of shrimp feeds in water, **Aquaculture Research**, Oxford, v. 33, p. 369-377, 2002.

EUROPEAN UNION (EU), Commission Regulation (EC) No 152/2009 of 27 January 2009. Laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feeds, **Official Journal of the European Union**, Bruxelas, v. 52, p. 1–130, 2009.

OU, Z.; TEMPELMAN, R.J.; STEIBEL, J.P.; ERNST, C.W.; BATES, R.O.; BELLO, N, M. Genomic prediction accounting for residual heteroskedasticity. **G3**, Bethesda , v.6, p. 1– 13, 2016.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.; POMAR, J.; LOVATTO, P.A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 226-237, 2009, Suplemento, Apresentado na REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringa.

RIAZ, M.N.; ROKEY, G.J. **Extrusion problems solved food, pet food and feed**. Cambridge, Woodhead Publishing. 2012. 154 p.

RODRIGUES, L.A.; FABREGAT, T.E.H.P.; FERNANDES; NASCIMENTO, T.M.T.; SAKOMURA, N.K. Digestibilidade e tempo de trânsito gastrointestinal de dietas contendo níveis crescentes de fibra bruta para pacu. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringa, v. 32, p. 169-173, 2010.

SAJILATA, M.G.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R. Resistant Starch—A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 5, p. 1-17, 2006.

SALES, J, Prediction of digestible energy content across feed ingredients and fish species by linear regression, **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 35, p. 551-565, 2009.

SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 278, p. 128-142, 2008.

SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, p. 358-364, 2004.

THOMPSON, J.C. Methods for the determination of carbohydrates by Ion Chromatography. In: SUGAR PROCESSING RESEARCH CONFERENCE, 1990, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: Agricultural Research Service, 1990. p. 381–396.

URBINATI, E.C.; GONÇALVES, F.D; TAKAHASHI, L,S, Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), In: _____. **Espécies Nativas Para Piscicultura no Brasil**. Santa Maria:Editora da UFMS, 2010. p, 205–244.

WATSON, A.M.; BARROWS, F.T.; PLACE, A.R. Leaching of taurine from commercial type aquaculture feeds, **Aquaculture Research**, Oxford, v. 46, p. 1510–1517, 2015.

WHITE, J.A.; HART, R. J.; FRY, J.C. An evaluation of the waters pico-tag system for the amino-acid-analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, Surrey, v. 8, p. 170–177, 1986.

3 EXIGÊNCIAS EM ENERGIA E PROTEÍNA PARA MANTENÇA E CRESCIMENTO DO PACU (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887) E INFLUÊNCIA DOS LIPÍDEOS DIETÉTICOS SOBRE AS EXIGÊNCIAS

Resumo

Algumas pesquisas determinaram as exigências em proteína e energia para o pacu *Piaractus mesopotamicus* a partir de metodologia dose-resposta. No entanto os resultados dos métodos dose-resposta são válidos somente para peixes da mesma faixa de variação de peso dos animais utilizados nos experimentos. Este trabalho determinou as exigências de energia e proteína para manutenção e crescimento do pacu e a influência dos lipídeos dietéticos sobre as exigências. Com o uso do método fatorial as exigências nutricionais foram expressas como uma quantidade absoluta por unidade de peso ou de retenção. Utilizando ainda um sistema de respirometria de fluxo intermitente para aferir a taxa metabólica padrão no pacu (17 g – 1050 g) em diferentes temperaturas (19, 23, 26 29 e 33°C). O coeficiente oxi-calórico para oxidação de gordura (13,72 J mg⁻¹ O₂) foi utilizado para transformar os consumos de oxigênio a taxas de produção de calor. Rações com diferentes níveis de lipídeos (alto lipídeo AL; e baixo lipídeo BL) foram fornecidas a juvenis de pacu (63,5 ± 1,27 g) nas quantidades de 100, 75, 50, 25 % da saciedade aparente e um nível de alimentação de manutenção teórica (≈52,23 kJ de ED kg^{-0,80}) e em ensaio paralelo foi determinada a digestibilidade da energia e da proteína das rações experimentais. O expoente alométrico da curva de produção de calor em jejum no pacu foi 0,788. No entanto, para o ajuste de modelo fatorial de exigência de energia, o valor típico 0,8 foi mais adequado. As exigências em energia digestível e proteína digestível para manutenção não foram influenciadas pelo nível de lipídeos da ração, valores médios estimados em 26,57 kJ de ED kg^{-0,8} dia⁻¹ e 0,076 g de PD kg^{-0,7} dia⁻¹. A exigência em energia digestível (kJ de ED consumida por kJ de energia retida) para crescimento foi maior para os peixes alimentados com a ração BL (1,387) do que para aqueles alimentados com a ração AL (1,285). A exigência em proteína digestível (g de PD por g de proteína depositada) foi maior para peixes alimentados com a ração BL do que para aqueles alimentados com a ração AL (1,7015 vs 1,583). Em suma, a produção de calor em jejum do pacu apresenta uma baixa sensibilidade térmica e as exigências em proteína e energia digestível para manutenção para o pacu foram consideradas baixas em relação a outras espécies e não são marcadamente influenciadas pelo nível de lipídeos da ração.

Palavras chave: Taxa metabólica padrão; Exigência para manutenção; Exigência para crescimento; Produção de calor em jejum

Abstract

Dietary energy and protein requirements of pacu *Piaractus mesopotamicus* are usually drawn from dose-response trials. However, the results of such trials are valid only for fish on the same weight range of the animals used in the experiments. This study determined dietary energy and protein requirements for maintenance and growth of pacu, and the influence of dietary lipids on the requirements, by using factorial methods which enable determining and

expressing the nutritional requirements as an absolute value per unit of weight or weight gain. An intermittent flow respirometry trial was used for measuring standard metabolic rate of pacu (17 g - 1050 g) at different temperatures (19, 23, 26, 29 and 33 ° C). The coefficient for oxy-caloric fat oxidation ($13.72 \text{ J mg}^{-1} \text{ O}_2$) was used to transform the oxygen consumption to heat production rates. Diets with different levels of lipids (high lipid - AL, and low lipid - BL) were fed to juvenile pacu ($63.5 \pm 1.27 \text{ g}$) at 100, 75, 50, 25% satiation plus a theoretical maintenance level ($52,23 \text{ kJ ED kg}^{-0.80}$); a parallel trial determined digestibility of energy and crude protein levels. The allometric exponent of heat production curve of pacu in fasting condition was 0.788. However, the typical value of 0.8 was more appropriate to fit the energy requirement model. Dietary requirements of digestible energy and protein for maintenance were not influenced by dietary lipid levels, estimated average values of $26.57 \text{ kJ ED kg}^{-0.8} \text{ day}^{-1}$ and $0.076 \text{ g PD kg}^{-0.7} \text{ day}^{-1}$. Requirements of digestible energy (ingested DE (kJ) unit per retained energy (kJ) unit) for growth were higher for fish fed the BL diet (1,387) than for fish fed the AL diet (1,285). Requirements of digestible protein (g of PD deposited per g of protein ingested) were higher for fish fed the BL diet than for fish fed the AL diet (1.7015 vs 1.583). The heat production of fasting pacu has low thermal sensitivity and requirements in protein and digestible energy for maintenance of the pacu were considered low in comparison to other species, and not markedly influenced by the level of dietary lipids.

Keywords: Standard metabolism rate; Maintenance requirement; Requirement for growth; Fasting heat production

3.1 Introdução

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é um Characiforme onívoro neotropical amplamente utilizado em piscicultura. Algumas pesquisas determinaram mediante métodos dose-resposta as exigências em proteína e energia para esta espécie (ABIMORAD; SQUASSONI e CARNEIRO, 2008; BICUDO; SADO e CYRINO, 2010; FERNANDES FERNANDES; CARNEIRO; SAKOMURA, 2001). No entanto os resultados dos métodos dose-resposta são válidos somente para peixes da mesma faixa de peso dos animais utilizados nos experimentos (THORNLEY; FRANCE, 2007).

O método fatorial de cálculo de exigências supera essa limitação, uma vez que determina e expressa as exigências em energia ou de proteína como uma quantidade absoluta por unidade de peso ou de ganho de peso (AMRKOLAIE; YANSARI; KHALES, 2013). No modelo fatorial são feitos cálculos das exigências em energia e proteína considerando a quantidade de nutrientes depositados e a eficiência com que o processo de deposição acontece (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003).

Diversas pesquisas têm indicado incrementos na eficiência de retenção de energia em proporção direta aos incrementos nos conteúdos de lipídios na ração, decorrente do fato dos

lipídeos gerarem uma menor quantidade de incremento calórico (ação dinâmica específica) do que os carboidratos e as proteínas (RODEHUTSCORD; PFEFFER; 1999; SCHRAMA et al., 2012). Em suínos, por exemplo, o incremento calórico estimado foi de 4,4 kJ por grama de lipídeo depositado a partir de lipídeos e de 16,4 kJ por grama de lipídeo depositado a partir de substratos não lipídicos da ração (carboidratos e proteína) (EMMANS, 1994). O objetivo deste estudo foi quantificar as exigências em energia e proteína para manutenção e crescimento do pacu e determinar os efeitos do conteúdo de lipídeos da ração sobre estas exigências.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Ensaio de respirometria

Para estabelecer a relação alométrica entre o peso corporal e a produção de calor em jejum e repouso (48 horas) do pacu, foi utilizado um sistema de respirometria de fluxo intermitente (DAQ-PAC-F1; Loligo Systems, Denmark), em que (i) a câmara respirométrica está contida dentro de um aquário e uma “bomba de fluxo” faz trocas de água periódicas entre a câmara e o aquário, e (ii) uma segunda “bomba de recirculação” faz recircular a água da câmara e também a conduz até o sensor que determina a concentração de oxigênio dissolvido na água (Fibox 3; PreSens, Regensburg, Germany). O controle do sistema e o registro de dados são feitos pelo aplicativo AutoResp V 2.2.0 (Loligo Systems, Copenhagen, Denmark) (Anexo B).

O sistema mede a concentração de oxigênio dissolvido a cada segundo através de uma programação do ciclo de mensuração em três fases: (i) fase de fluxo – em que a bomba de fluxo é ativada, com consequente elevação na concentração de oxigênio dissolvido na água do interior da câmara ; (ii) fase de espera – em que a bomba de fluxo é desativada e observa-se um intervalo de tempo até que a concentração de oxigênio na água do interior da câmara comece a diminuir; e (iii) fase de mensuração – em que acontece a diminuição nos níveis de oxigênio e mede-se o consumo de oxigênio pelo animal alojado na câmara. O aplicativo faz uma regressão linear da concentração de oxigênio em função do tempo e o coeficiente angular desta regressão corresponde à taxa de diminuição na concentração de oxigênio ($\text{mg O}_2 \text{ s}^{-1}$), que é multiplicada por 3600 para transformação em taxa horária de consumo ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$) e incorporada ao cálculo da taxa respiratória, que adicionalmente considera o volume respirométrico, o peso do peixe e o consumo de oxigênio pelo

metabolismo microbiano. Desta maneira para o cálculo da taxa metabólica padrão (TMP; mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹), é utilizada a expressão sugerida por HÖLKER (2003).

$$TMP = \frac{(\beta t - \beta m)Vr}{P}$$

em que:

- βt é a taxa de diminuição total (mg de O₂ L⁻¹ h⁻¹) na concentração de oxigênio (metabolismo do peixe + metabolismo microbiano, e considera as leitura da fase de rotina – fase em que o peixe se acalma e se habitua ao ambiente da câmara após uma fase de adaptação (HÖLKER, 2003); foram registradas as médias das três menores taxas desta fase (ROCHE et al., 2013) e dados atípicos (taxas atipicamente baixas) foram excluídos quando necessário (HERRMANN; ENDERS, 2000);
- βm é a taxa (mg de O₂ L⁻¹ h⁻¹) de diminuição na concentração de oxigênio associada a metabolismo microbiano, que representa a média de cinco leituras obtidas após retirar o peixe da câmara respiratória;
- Vr é o volumem respirométrico (L) calculado como o volume da câmara mais o volume da tubulação menos o volume do peixe (densidade do peixe = 1 kg L⁻¹), e
- P é o peso do peixe (kg).

Foram feitas mensurações individuais utilizando-se animais de peso vivo variando de 17 a 1050 g em temperaturas de 19, 23, 26, 29 e 33°C. Os peixes eram sedados individualmente (benzocaína; 50 mg L⁻¹), pesados e alojados nas câmaras respirométricas (4,087 L; 6,042 L; 14,634 L e 46,953 L) de acordo com o tamanho e permaneciam em jejum de 48 horas para evitar o registro de picos de consumo de oxigênio associado à ação dinâmica específica (ADE), ou seja, o consumo de oxigênio para o metabolismo dos nutrientes do alimento. A duração de cada uma das fases do ciclo de mensuração (fluxo-espera-mensuração) foi adaptada segundo o volume da câmara, o peso do peixe e a temperatura a fim de conseguir inclinações da linha de regressão (concentração de oxigênio x tempo) com $r^2 > 0,9$. Os ensaios eram instalados nos finais da tarde (16h00m) e o consumo de oxigênio do peixe registrado ao longo da noite. Às 08h00m do dia seguinte o peixe era retirado da câmara o consumo de oxigênio por metabolismo microbiano no sistema era registrado. A câmara e a tubulação eram limpos entre os ciclo de mensuração para diminuir a interferência do metabolismo microbiano do sistema no registro do consumo de oxigênio dos peixes.

As taxas de consumo de oxigênio foram transformadas em taxas de produção de calor em jejum ($\text{kJ peixe}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Para isso as taxas horárias foram multiplicadas por 24 e o coeficiente oxalórico – $13,72 \text{ J mg de O}_2^{-1}$ –sugerido por Elliot e Davison (1975) foi utilizado, assumindo que o peixe estava oxidando predominantemente gordura.

Para modelar a taxa metabólica padrão massa específica (TMP, $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), foi utilizada a função $\text{TMP} = a * P_g^b * e^{(c \times T)}$, em que a é o intercepto da função alométrica-massa; P_g é o peso do peixe (g); b é expoente da função alométrica-massa; c é o coeficiente exponencial para os efeito da temperatura, e T a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (MESA et al., 2013). A produção de calor em jejum (PC_j ; kJ dia^{-1}) foi relacionada com o peso corporal (P ; kg) e com a temperatura (T , $^{\circ}\text{C}$) a partir da equação $\text{PC}_j = a * P^b * T^c$, em que a é PC_j quando $P = 1$ e $T = 1$, b é o expoente alométrico para escalar a PC_j , e c é o expoente da função potência do efeito da temperatura sobre a PC_j .

3.2.2 Determinação das exigências em energia e proteína para manutenção e crescimento

O ensaio foi conduzido em caixas plásticas de 300 L adaptadas com recirculação de água e aeração através de soprador e pedras porosas. Juvenis de pacu ($63,5 \pm 1,27 \text{ g}$; 13 peixes por unidade experimental) foram alimentados por 58 dias com rações contendo dois níveis de lipídios (Tabela 3.1) em cinco níveis de arraçoamento, na forma de porcentagem da saciedade aparente previamente estabelecida: 100, 75, 50, 25, um nível adicional correspondente a um nível teórico de oferta energética para manutenção ($52,23 \text{ kJ de ED kg}^{-0.80} \text{ dia}^{-1}$), definidos a partir da média de relatos prévios para outras espécies (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010; PERES; OLIVA-TELES, 2005; LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2001; SCHRAMA et al., 2012; VAN TRUNG et al., 2011).

Tabela 3.1 - Composição das rações experimentais

Ingrediente	Níveis de lipídio	
	Alto	Baixo
	----- % -----	
Milho	36,76	47,00
Glúten de milho (61 PB)	9,03	16,00
Óleo de soja	4,67	1,18
Farelo soja	25,00	13,83
Farelo trigo	5,00	5,00
Farinha de vísceras de aves	12,19	1,52
Farinha de peixe	0,94	13,95
Lisina H-CL	0,44	0,50
Calcário	1,66	0,00
Caolin	3,30	0,00
BHT	0,02	0,02
Mistura mineral e vitamínica ^a	1,00	1,00
Composição aproximada (% como alimento)		
Materia seca	97,03	96,93
Proteína bruta	34,28	36,52
Extracto etéreo	9,68	6,75
Fibra bruta	4,02	3,51
Cinzas	9,32	6,42
Energía bruta (kj kg ⁻¹)	18,20	18,26

^a Enriquecimento por kg do alimento: vitamina A 2.500.000 UI; vitamina D3 600.000 UI; vitamina E 37.500 UI; vitamina K3 3.750 mg; vitamina C 50.000 mg; tiamina (B₁) 4,00 mg; riboflavina (B₂) 4,000 mg; piridoxina (B₆) 4.000 mg; cianocobalamina (B₁₂) 4000 mcg; niacina 22.500 mg; biotina 15 mg; ácido fólico 1.250 mg; pantotenato de cálcio 12.000 mg; Cu 2.500 mg; Co 125 mg; Fe 15 mg; I 375 mg; Mn 12,5 mg; Se 87,5 mg; Zn 12,5 mg

Ao término do período experimental os peixes foram eutanasiados mediante aprofundamento do plano anestésico (eugenol; 200 mg L⁻¹), pesados, congelados, moídos e homogeneizados. Foi separada uma alíquota de 200 g de cada unidade experimental, que foi congelada e liofilizada para quantificar o conteúdo de água. As amostras foram liofilizadas e analisadas para determinar sua composição centesimal segundo métodos padrão (AOAC, 2000). O calor de combustão do material liofilizado foi determinado em bomba calorimétrica.

Em ensaio paralelo foram determinados os coeficientes de digestibilidade da energia e da proteína das duas rações experimentais. A coleta de fezes foi feita utilizando 60 juvenis de pacu (150 ± 28 g) estocados em gaiolas plásticas (80 L; 20 peixes por gaiola) alojadas em tanques de polipropileno (1000 L). O peixes foram alimentados duas vezes ao dia (08h30m e

16h00m) até saciedade aparente com as dietas experimentais adicionadas de óxido de crômio III (Cr_2O_3 ; $1,0 \text{ g kg}^{-1}$) como marcador inerte. Após a última refeição os animais eram mantidos em repouso por 90 minutos e então sedados (eugenol, 50 mg L^{-1}) e transferidos para os tanques cilindro-cônicos para coleta do material fecal (23h30m 70h30m do próximo dia) por decantação em recipientes plásticos refrigerados. O término do período de coleta o excesso de água era sifonado e as fezes transferidas para tubos plásticos de 50 mL, centrifugadas (5,000 rpm; 10 min, 4°C) e as fezes úmidas transferidas para recipientes plásticos formando uma amostra composta por tratamento e por coleta. O material fecal foi posteriormente liofilizado e analisado para determinação de conteúdos de matéria seca e de proteína segundo procedimento padrão (AOAC, 2000); o calor de combustão foi determinado em bomba calorimétrica. O teor de cromo nas rações e no material fecal foi determinado pelo método espectrofotométrico após digestão nitro-perclórica como sugerido por Bremer-Neto et al. (2005). Os coeficientes de digestibilidade da proteína e da energia de cada ração foram determinados em triplicata, empregando a equação sugerida em Fracalossi et al. (2012) e NRC (2011). Índices de desempenho zootécnico e de eficiência de utilização da energia e da proteína da ração foram calculados como segue:

- ganho diário de peso (GDP):

$$GDP (g) = \frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{\text{Numero de dias do experimento}}$$

- conversão alimentar aparente (CAA):

$$CAA = \frac{\text{Consumo de ração}}{\text{Ganho de peso}}$$

- taxa de eficiência proteica (TEP):

$$TEP = \frac{\text{ganho de peso}}{\text{Proteína bruta consumida}}$$

- consumo diário de energia digestível (CD_{ED}):

$$\text{CD}_{\text{ED}}(kj) = (\text{Consumo diario de racao}(g)/1000) * (\text{ED na racao } (kj \text{ kg}^{-1}))$$

- taxa diária de retenção de energia (TRE):

$$TRE (kj) = \frac{(\text{peso final} * \text{energia corporal final}) - (\text{peso inicial} * \text{energia corporal inicial})}{\text{Numero de dias do experimento}}$$

- eficiência de retenção da energia digestível (ERED):

$$ERED = \frac{TRE}{CD_{ED}}$$

- consumo diário de proteína digestível (CD_{PD}):

$$CD_{PD}(g) = \text{Consumo diario de racao} * (\% \text{ de proteina digestivel})/100$$

- taxa diária de deposição de proteína (TDP):

$$TDP (g) = \frac{(\text{peso final} * \text{proteina final}) - (\text{peso inicial} * \text{proteina inicial})}{\text{Numero de dias do experimento}}$$

- eficiência de deposição da proteína digestível (EDPD):

$$EDPD = \frac{TDP}{CD_{PD}}$$

Para estimar os parâmetros do modelo fatorial de exigência de energia digestível, tanto o consumo de energia digestível (x) quanto à energia retida (y) foram expressos por unidade de peso metabólico (kg^{-0,8}) utilizando a média geométrica do peso corporal (PIROZZI; BOOTH; ALLAN, 2010); o expoente 0,8 é amplamente aceito como fator de incremento do metabolismo energético nos peixes (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003; BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010; SCHRAMA et al., 2012). A regressão linear dos valores de energia retida em função do consumo de energia digestível permitiu estimar os parâmetros do modelo fatorial, como segue:

$$ED = ED_m + 1/k_{gED} * ER \quad \text{(Equação 1)}$$

em que: ED é a exigência de energia digestível (kJ dia⁻¹); ED_m é a exigência em energia digestível para manutenção (kJ kg^{-0,8} dia⁻¹); k_{gED} é a eficiência de utilização da energia digestível; e ER é a energia retida (kJ dia⁻¹) (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003).

Uma regressão entre a deposição de proteína (y) e o consumo de proteína digestível (x) foi utilizada para estimar os parâmetros do modelo fatorial de estimativa das exigências de proteína digestível, como segue:

$$PD = PDm + 1/k_{gPD} * PR \quad \text{(Equação 2)}$$

em que: PD é a exigência em proteína digestível (g dia⁻¹); PDm é exigência em proteína digestível para manutenção (g kg^{-0,7} dia⁻¹); k_{gPD} é a eficiência de utilização da proteína digestível; e PR é a deposição de proteína (g dia⁻¹). Neste caso, seguindo recomendações de Pirozzi; Booth e Allan, (2010) e Booth; Allan e Pirozzi (2010) foi utilizado o expoente alométrico 0,7.

3.2.3 Análise estatística

As estimativas dos parâmetros do modelo para a taxa metabólica padrão foram obtidas mediante regressão não linear. Para o ajuste do modelo de produção de calor em jejum foi utilizada regressão linear ponderada, sendo que três esquemas de ponderação de resíduos (mínimos quadrados, 1/Y e 1/Y²) foram testados visando obter estimativas não viciadas dos parâmetros do modelo (BONATE, 2011). Os modelos obtidos pelos três esquemas de ponderação foram avaliados mediante o quadrado médio do erro de predição (QMEP).

$$QMEP = (\bar{Y}_o - \bar{Y}_p)^2 + Sp^2(1 - \beta_1)^2 + So^2(1 - r^2)$$

em que $(\bar{Y}_o - \bar{Y}_p)^2$ é o resíduo médio; $\bar{Y}_o$ é a média dos valores observados; $\bar{Y}_p$ é a média dos valores estimados; $Sp^2(1 - \beta_1)^2$ é o vício sistemático, sendo Sp^2 a variância dos valores estimados e β_1 o coeficiente angular da regressão linear dos valores observados em função dos valores estimados; e $So^2(1 - r^2)$ é o vício aleatório, sendo So^2 a variância dos valores observados e r^2 o coeficiente de determinação da regressão dos valores observados em função dos valores preditos. Esta metodologia permitiu diferenciar as fontes de erro dos modelos em erros de tendência central (vies médio), falta de acurácia do modelo (vies sistemático) e erros aleatórios (vies aleatório) (TEDESCHI, 2006). O coeficiente de determinação do modelo (CD) também foi considerado como forma de avaliar os modelos, e foi calculado a partir da expressão:

$$CD = \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{o})^2 / \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{o})^2$$

em que O_i é a i -ésimo valor observado; P_i é o i -ésimo valor predito; n é o número de observações; e $\bar{o}$ é a média dos valores observados (LOAGUE; GREEN, 1991). Um valor de CD próximo 1 é desejável, uma vez que quanto mais próximo da unidade for o valor de CD, a variação dos valores preditos ao redor da média observada se assemelha mais à variação dos valores observados ao redor de sua média.

Para os dados do ensaio com níveis de fornecimento, os parâmetros de desempenho zootécnico e de eficiência de utilização da ração foram submetidos a análises de variância utilizando o procedimento MIXED do aplicativo SAS (SAS Institute, Cary, NC, UAS) ($\alpha = 0,05$), sendo que o modelo considerou o efeito do nível de lipídeos na dieta, o nível de fornecimento da ração e sua interação. As médias foram separadas mediante o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Os parâmetros do modelo fatorial de exigência em energia digestível, energia metabolizável e proteína digestível, EDm, PDm k_{gED} k_{gPD} foram estimados utilizando o procedimento NLMIXED do aplicativo SAS ($\alpha = 0,05$). Neste mesmo procedimento foram feitos contrastes para testar a hipótese de diferença entre os parâmetros obtidos nos modelos para cada uma das duas rações.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Taxa metabólica e produção de calor em jejum

O modelo ajustado para a taxa metabólica padrão foi: $TMP = 42,765 \times P_g^{-0,22312} \times e^{(0,0702 \times T)}$ ($R^2 = 0,84$, $n = 103$), com os três parâmetros do modelo significativos (t -tests: $P < 0,001$). Os coeficientes do modelo sugerem que a TMP massa específica aumenta com a temperatura da água e diminui em função do peso corporal (Figura 3.1). Este mesmo padrão de comportamento já foi descrito para outros caracídeos tropicais como o tambaqui *Colossoma macropomum* (TOMALA; CHAVARIA; ESCOBAR, 2014) e a pirapitinga *Piaractus brachypomus* (SASTRE; HERNANDEZ, CASALLAS, 2004).

Figura 3.1 Taxa metabólica padrão (TMP) massa específica do pacu em função do peso corporal e temperatura da água: $TMP = 42,765 \times P_g^{-0,22312} \times e^{(0,0702 \times T)}$ ($r^2 = 0,84$, $n = 103$)

Os modelos definidos para estimar a PC_j em função de peso e temperatura mostraram similar capacidade predição (similar QMEP) e os erros aleatórios foram a principal fonte de erro. O modelo ajustado mediante a ponderação $1/Y^2$ apresentou o menor erro padrão para o parâmetro b (coeficiente alométrico para incremento da produção de calor em jejum) e mostrou o CD mais próximo a 1,0, indicando que a variação dos valores preditos ao redor da média observada foram mais semelhante à variação dos valores observados ao redor de sua média (Tabela 3.2; Figura 3.2). O valor do coeficiente alométrico foi muito próximo do valor médio de 0,79 encontrado em outros teleósteos (CLARKE; JOHNSON, 1999) e do valor 0,8, utilizado frequentemente na parametrização do modelo fatorial de exigências energética (SCHRAMA et al., 2012; LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003).

Tabela 3.2 - Estimativa dos parâmetros e avaliação de três modelos para prever a produção de calor em jejum do pacu em função do peso corporal e a temperatura da água

Parâmetros	Esquema de ponderação		
	LS	(1/Y)	(1/Y ²)
a	0,0814 (0,0238)	0,0658(0,0203)	0,0464(0,0148)
b	0,7059 (0,0291)	0,7578(0,0242)	0,7882 (0,0177)
c	1,6573 (0,0882)	1,7280 (0,0939)	1,8374 (0,0985)
Avaliação do modelo			
RQMEP	1,287	1,318	1,373
RQMEP (%)	16,144	16,533	17,232
V(%) ^a	0,103	2,077	5,933
CA (%) ^a	0,306	0,149	1,389
A (%) ^a	99,591	97,774	92,678
CD	1,108	1,053	1,004

Valores em parêntesis representam os erros padrão das estimativas dos parâmetros RQMEP = raiz do quadrado médio do erro de predição

RQMEP (%) = RQMEP como porcentagem da média observada

^a QMEP foi descomposto em: V= erro devido ao viés médio; CA = erro devido o coeficiente angular (viés sistemático), A= erro devido à variação aleatória, CD = Coeficiente de determinação do modelo.

Figura 3.2 Produção de calor em jejum do pacu em função do peso corporal (P, kg) e temperatura da água (T, °C). $PC_J = 0,04643 \times T^{1,83742} \times P^{0,78824}$ (RQMEP = 1,37; n = 103)

Modelos de predição da PCj (kJ peixe⁻¹ dia⁻¹) em função do peso corporal (P) e da temperatura (T, °C) têm sido desenvolvidos para outras espécies como, por exemplo, a truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss*, para a qual Cho e Bureau (1998) definiram a equação $PCj = (-1,04 + 3,26 * T - 0,05 * T^2) * P^{0,824}$, P em kg, e para o barramundi, *Lates calcarifer*, uma espécie tropical marinha, para a qual Glencross (2008) ajustou o modelo $PCj = (0,4462426 - 0,0848448 * T + 0,0048282 * T^2 - 0,0000750 T^3) * P^{0,80}$, P em gramas. Os valores preditos por estes modelos sugerem que o efeito da temperatura sobre a produção de calor em jejum não é constate entre espécies de clima temperado e clima tropical. Para uma truta de 1,0 kg de peso vivo, por exemplo, os valores preditos para 5 e 16°C foram 14,01 kJ dia⁻¹ e 38,32 kJ dia⁻¹; para o barramundi o valor predito para 19°C é de 15,74 kJ dia⁻¹, mas para o pacu, utilizando a equação desenvolvida neste estudo, o valor predito para 19°C é de 10,38 kJ dia⁻¹. Autores como Clarke e Johnson (1999) consideram que os processos evolutivos têm conferido ao metabolismo padrão dos peixes uma baixa sensibilidade térmica. Entre os mecanismos de compensação térmica é possível que as mudanças na função enzimática tenham um papel relevante (SOMERO, 2004).

3.3.2 Exigências em energia e proteína para manutenção e crescimento

Os parâmetros de qualidade de água registrados ao longo do ensaio de desempenho foram: temperatura 26,89 ± 0,36 °C e oxigênio dissolvido 6,91 ± 0,51 mg L⁻¹; durante o ensaio de digestibilidade das rações experimentais os valores foram: temperatura 26,18 ± 1,82°C e oxigênio dissolvido 4,57 ± 1,52 mg L⁻¹. Os valores destes parâmetros de qualidade da água durante os dois ensaios são considerados satisfatórios para o desenvolvimento da espécie (URBINATI; GONÇALVES; TAKAHASHI, 2005). Não foram registradas casualidades ao longo dos ensaios.

Os valores dos coeficientes de digestibilidade (média ± DP) da energia e da proteína da ração alta em lipídeos foram 84,66 ± 0,27 e 89,20 ± 0,61, respectivamente. Para ração baixa em lipídeos os valores foram 84,52 ± 0,37 para a energia e 89,19 ± 0,16 para a proteína.

Os resultados da ANOVA mostram que a interação dieta e nível de fornecimento não foi significativa para nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 3.3), mas o efeito do nível de fornecimento foi significativo para todas as variáveis avaliadas: o peso final, ganho de peso consumo de ração, consumo de proteína, ganho de proteína, consumo de energia e ganho de energia aumentaram proporcionalmente ao aumento no nível de fornecimento de ração.

O comportamento das variáveis que descrevem a eficiência de utilização da ração (conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, eficiência de deposição de proteína, eficiência de retenção de energia) indicaram baixa eficiência de utilização da ração no caso da alimentação no nível de manutenção teórica. A melhora na eficiência de utilização do alimento em função do nível de consumo resulta do menor custo nutricional para manutenção por unidade de ganho de peso; este efeito é conhecido como “diluição de manutenção” e segue a lei dos rendimentos decrescentes ou seja: um incremento em ingestão de nutrientes gera uma maior eficiência quando o consumo é próximo a manutenção, não entanto, o ganho em eficiência por unidade de consumo acrescentada diminui até atingir uma assíntota (BRODY, 1945). O conteúdo de lipídeos da dieta afetou a taxa de eficiência proteica, a eficiência de retenção de energia digestível e a eficiência de deposição da proteína digestível ($P < 0,05$), sendo que valores superiores para estes parâmetros foram registrados para peixes alimentados com a ração com alto nível de lipídeos (AL). A melhor eficiência de deposição de proteína registrada para os peixes alimentados com AL pode estar associada ao efeito poupador da proteína, o fenômeno em que parte da proteína da dieta seria oxidada para obtenção de energia é “poupada” dessa oxidação e então utilizada para a síntese e deposição de proteína (SARGENT; TOCHER; BELL; 2002; LI et al., 2012). Por sua vez a melhora na eficiência de retenção de energia pode estar associada a uma menor perda de calor (incremento calórico) gerada pelo metabolismo dos lipídeos comparativamente à perda de calor gerada pelo metabolismo dos carboidratos (EMMANS, 1994).

O efeito da interação nível de lipídeo e nível de fornecimento não foi significativo para nem uma das variáveis da composição corporal dos peixes. O teor de água, cinzas e lipídeos corporal foram influenciados pelo nível de fornecimento, sendo que conforme aumentou o nível de fornecimento o teor de água e cinza dos peixes diminuiu e o teor de lipídeo aumentou. Isto se explica pelo incremento do peso corporal no final do experimento conforme o nível de fornecimento foi aumentado, e pelo fato dos peixes aumentarem sua deposição de gordura conforme incrementam seu peso corporal e a deposição de gordura acontecer mediante a substituição de água. (WEATHERLEY; GILL, 1987; DUMAS et al., 2007; AMIN et al., 2014). Estes princípios da biologia do crescimento dos peixes também explicam o incremento no conteúdo energético corporal que foi observado conforme o nível de alimentação foi acrescentado.

Tabela 3.3 Influência do nível de lipídeos da ração e do nível de fornecimento sobre os parâmetros de desempenho zootécnico de juvenis de pacu

Dieta ¹	Nível ²	PF	GDP	CD	CAA	TEP	CD _{ED}	TER	ERE _{ED}	CD _{PD}	TDP	ED _{PD}
AL	M	66,76	0,31	0,30	0,97	3,02	4,57	1,40	0,31	0,09	0,05	0,56
AL	25	85,69	0,65	0,54	0,83	3,43	8,52	4,30	0,51	0,17	0,10	0,60
AL	50	126,26	1,32	1,06	0,81	3,62	16,37	9,88	0,60	0,32	0,21	0,64
AL	75	163,56	1,95	1,56	0,80	3,63	24,09	15,42	0,64	0,48	0,29	0,61
AL	100	196,03	2,51	2,05	0,82	3,55	31,66	21,52	0,680	0,63	0,39	0,61
BL	M	64,22	0,28	0,28	1,01	2,71	4,36	1,35	0,31	0,09	0,04	0,46
BL	25	89,58	0,69	0,58	0,83	3,29	8,90	4,46	0,50	0,19	0,10	0,55
BL	50	124,35	1,29	1,05	0,81	3,36	16,25	9,52	0,59	0,34	0,20	0,59
BL	75	155,66	1,83	1,49	0,81	3,38	22,93	13,67	0,60	0,48	0,28	0,58
BL	100	198,33	2,52	2,14	0,85	3,23	32,97	21,24	0,64	0,70	0,39	0,57
Pool de medias												
AL		127,66	1,35	1,10	0,85	3,45	17,04	10,50	0,55	0,34	0,21	0,61
BL		126,43	1,32	1,11	0,86	3,19	17,08	10,05	0,53	0,36	0,20	0,55
	M	65,49e	0,30e	0,29 e	0,99 a	2,86 b	4,46 e	1,38 e	0,31 d	0,09 e	0,05 e	0,51 b
	25	87,64d	0,67d	0,56 d	0,83 b	3,36 a	8,71 d	4,38 d	0,50 c	0,18 d	0,10 d	0,58 a
	50	125,31c	1,31c	1,06 c	0,81 b	3,49 a	16,31 c	9,70 c	0,59 b	0,33 c	0,20 c	0,61 a
	75	159,61b	1,89 b	1,52 b	0,81 b	3,51 a	23,51 b	14,54 b	0,62 ab	0,48 b	0,29 b	0,59 a
	100	197,18 ^a	2,51 a	2,10 a	0,84 b	3,39 a	32,31 a	21,38 a	0,66 a	0,66 a	0,39 a	0,59 a
Valor	Dieta	NS	NS	NS	NS	<0,01	NS	NS	NS	<0,05	NS	<0,01
de P	Nivel	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	D*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹ Dieta: AL: Alto lipídeo, BL: Baixo lipídeo.

² Nível de alimentação como porcentagem da saciedade aparente

PF: peso final (g)

GDP: ganho diário de peso (g)

CD: consumo diário de ração (como alimento; g)

CAA: conversão alimentar aparente

TEP: taxa de eficiência proteica

CD_{ED}: consumo de energia digestível (kj peixe⁻¹ dia⁻¹)

TER: taxa de Retenção de energia (kj peixe⁻¹ dia⁻¹)

ERE_{ED}: eficiência de retenção da energia digestível

CD_{PD}: consumo proteína digestível (g peixe⁻¹ dia⁻¹)

TDP: taxa de deposição de proteína(g peixe⁻¹ dia⁻¹)

ED_{PD}: eficiência de deposição da proteína digestível

M: manutença teórica

NS= não significativo

D*N: Interação dieta e nível de fornecimento

Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (α 0,05)

Tabela 3.4 Influência do nível de lipídios da ração e do nível de fornecimento sobre a composição corporal e de conteúdo de energia de juvenis de pacu

Dieta ¹	Nível ¹	Água (%)	Proteína (%)	Lipídeo (%)	Cinza (%)	Energia (kJ kg ⁻¹)
AL	M	70,61	15,76	7,33	4,30	6,67
AL	25	69,74	15,54	8,43	3,98	7,08
AL	50	68,94	15,60	9,24	3,54	7,48
AL	75	68,36	15,17	10,85	3,50	7,76
AL	100	66,92	15,44	11,51	3,45	8,31
BL	M	70,29	15,40	7,74	4,26	6,79
BL	25	70,02	15,19	8,38	4,15	6,99
BL	50	69,09	15,57	8,73	3,66	7,39
BL	75	68,99	15,27	9,83	3,39	7,45
BL	100	67,54	15,57	11,97	3,21	8,18
Pool de medias						
AL		68,92	15,50	9,47	3,76	7,46
BL		69,19	15,40	9,33	3,73	7,36
	M	70,45 a	15,58	7,53 d	4,28 a	6,73 d
	25	69,88 a	15,37	8,41 cd	4,06 b	7,04 c
	50	69,01 b	15,58	8,99 c	3,60 c	7,44 bc
	75	68,68 b	15,22	10,34 b	3,44 cd	7,61 b
	100	67,23 c	15,50	11,74 a	3,33 d	8,25 a
Valor de P	Dieta	<0,05	NS	NS	NS	NS
	Nível	<0,01	NS	<0,01	<0,01	<0,01
	D*N	NS	NS	NS	NS	NS

¹ Dieta: AL: Alto lipídeo, BL: Baixo lipídeo.² Nível de alimentação como porcentagem da saciedade aparente

M: manutenção teórica

NS: não significativo

D*N: Interação dieta – nível de fornecimento

Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (α 0,05)

O valor do intercepto da regressão da energia retida em função da energia consumida não foi influenciado significativamente pelo nível de lipídeo na ração; o valor médio para as duas rações foi de -19,94. Este valor sugere um balanço energético negativo de -19,94 kJ kg^{-0,8} dia⁻¹ no caso de animais em jejum, valor muito próximo àquele de 19,65 kJ kg^{-0,78} dia⁻¹ estimado mediante a equação obtida no ensaio de respirometria para a temperatura média do experimento (26,89 °C). Da mesma maneira, o nível de lipídeos da dieta não influenciou significativamente a estimativa de exigência em energia para manutenção obtida quando o consumo de energia digestível para a retenção de energia era igual zero; desta forma, um valor médio de 26,57 kJ kg^{-0,8} dia⁻¹ poderia ser considerado. Este valor é baixo comparativamente a relatos da literatura, e.g.: 34,86 kJ ED kg^{-0,84} dia⁻¹ para “brook trout” *Salvelinus fontinalis* (AMIN et al, 2014), e 34,05 kJ ED kg^{-0,84} dia⁻¹ para o a garoupa branca *Epinephelus aeneus* (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2003). Considerando a variação existente de 25,9 kJ ED kg^{-0,8} dia⁻¹ para a tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* (VAN

TRUNG et al., 2011) a $87,44 \text{ kJ ED kg}^{-0,8} \text{ dia}^{-1}$ para o “yellowtail kingfish” *Seriola lalandi* (BOOTH, ALLAN E PIROZZI, 2010), é possível afirmar que o pacu tem uma baixa exigência energética para manutenção.

O nível de lipídeos na dieta influenciou significativamente o parâmetro k_{gED} , sendo que o valor mais alto foi registrado para peixes alimentados com a dieta AL (Tabela 3.5; Figura 3.3). Resultados semelhantes têm sido relatados em outras espécies como a tilápia-do-Nilo (SCHRAMA et al., 2012) e a truta arco-íris (RODEHUTSCORD; PFEFFER, 1999). A melhor eficiência de retenção de energia na ração AL está associada com o fato da retenção de energia produzir menor incremento calórico e, portanto, ser mais eficiente quando é contém mais lipídios que carboidratos (EMMANS, 1994). Os valores obtidos (0,778 para AL, e 0,721 para a BL) foram superiores aos relatados na literatura, e.g.: 0,63 para “brook trout” (AMIN et al., 2014); 0,636 para a tilápia-do-Nilo (SCHRAMA et al., 2012); 0,67 para “gilthead sea bream” *Sparus aurata*; 0,69 para o robalo europeu *Dicentrarchus labrax*; e 0,69 para a garoupa branca (LUPATTSCH; KISSIL; SKLAN, 2003). Comparativamente a estas espécies, pacu apresenta uma alta eficiência de retenção de energia digestível mesmo quando alimentado com dietas BL. O valor inverso do parâmetro k_{gED} corresponde à exigência em energia digestível para crescimento; no caso da ração AL foram necessários 1,285 kJ de energia digestível para cada kJ de energia retida mas para o caso da ração BL, a exigência aumentou para 1,387 kJ de energia digestível para cada kJ de energia retida.

Tabela 3.5 Efeito do nível do nível de lipídeo da ração sobre os parâmetros do modelo fatorial de estimação de exigências de energia digestível para o pacu

Parâmetro	Alto lipídio	Baixo lipídio	Significância
Intercepto	- 21,50 (2,24)	- 18,37 (2,22)	NS
k_{gED}	0,778 (0,017)	0,721 (0,016)	p<0,05
EDm (kJ ED $\text{kg}^{-0,8} \text{ dia}^{-1}$)	27,64 (2,37)	25,50 (2,57)	NS
$1/k_{gED}$	1,285	1,387	--

Valores entre parêntesis representam o erro padrão das estimativas dos parâmetros
NS: não significativo.

Figura 3.3 Curva de retenção de energia em função do consumo de energia para a ração alta (AL) e baixa (BL) em lipídeos
 AL: $Y = -21,50 + 0,778 \cdot X$
 BL: $Y = -18,37 + 0,721 \cdot X$

O nível de lipídeos da ração não influenciou o intercepto do modelo fatorial de estimativa de exigências em proteína digestível. Este parâmetro que corresponde ao valor de deposição de proteína quando o consumo de proteína é zero e, desta maneira, um valor médio de $-0,0461 \text{ g de proteína kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$ poderia ser aplicável. Do mesmo modo, a estimativa de proteína digestível para manutenção não foi influenciada pelo conteúdo de lipídeos da ração, sendo que o valor médio para as duas rações foi de $0,0764 \text{ g de PD kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$. Esta estimativa é baixa quando comparada com relatos para outras espécies, por exemplo, $0,66 \text{ g de PD kg}^{-0,69} \text{ dia}^{-1}$ para o robalo europeu na faixa de 21 a 26°C (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2001); $0,47 \text{ g de PD kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$ para o “mulloway” *Argyrosomus japonicus* na faixa de 20 a 26°C (PIROZZI; BOOTH; ALLAN, 2010). No entanto, o valor estimado para a ração BL ($0,1 \text{ g de PD kg}^{-0,7} \text{ dia}^{-1}$) foi semelhante aos valores de $0,1 \text{ g PD kg}^{-0,69} \text{ dia}^{-1}$ à temperatura de 16°C e $0,31 \text{ g PD kg}^{-0,78} \text{ dia}^{-1}$ à temperatura 19°C relatados para “brook trout” por Amin et al. (2014). Assim, ressaltando-se que alguns dos componentes da exigência de proteína para manutenção são a proteína para repor as perdas de proteína na superfície corporal (tegumento) e no sistema digestório, bem como a excreção de amônia em jejum (COWEY, 1994), e considerando que temperatura média durante o período experimental foi 26,89 °C, é possível afirmar que o pacu tem comparativamente uma baixa exigência em proteína para manutenção mesmo a temperaturas altas.

O nível de lipídeos da ração afetou ($p < 0,05$) as estimativas do parâmetro k_{PD} do modelo (0,632 para AL vs 0,587 para BL), indicando que os lipídeos melhoram a eficiência com que a proteína digestível é depositada, possivelmente como resultado do efeito poupador da proteína (SARGENT; TOCHER; BELL, 2002; LI et al., 2012). Os valores determinados no presente estudo são superiores aos relatados para outras espécies, e.g. 0,51 para “yellowtail kingfish” (BOOTH; ALLAN; PIROZZI, 2010) e 0,52 para o robalo europeu (LUPATSCH; KISSIL; SKLAN, 2001). O valor determinado para BL, entretanto, foi similar àquele relatado para o “mulloway”, 0,581 (PIROZZI; BOOTH; ALLAN, 2010). Considerando que as estimativas para o “yellowtail kingfish” foram obtidas em ensaios utilizando ração comercial, é possível que um desbalanço no perfil de aminoácidos tenha influenciado negativamente a eficiência de deposição da proteína digestível. Com relação ao valor inverso do parâmetro k_{PD} , que corresponde a o valor de exigência de proteína digestível para crescimento, no caso de AL foram necessários 1,583 g de proteína digestível para cada grama de proteína depositada, mas para a BL a exigência se aumentou para 1,702 g de proteína digestível (Tabela 3,6. Figura 3.4).

Tabela 3.6 Efeito do nível do nível de lipídeo da ração sobre os parâmetros do modelo fatorial de estimação de exigências de proteína digestível para o pacu

Parâmetro	Alto lipídio	Baixo lipídio	Significância*
Intercepto	-0,0333 (0,0321)	-0,0588 (0,0318)	NS
k_{gPD}	0,632 (0,0151)	0,5877 (0,0141)	$p < 0,05$
PDm (g PD kg ^{-0,7} dia ⁻¹)	0,0527 (0,0498)	0,1001 (0,0519)	NS
$1/k_{gPD}$	1,5830	1,7015	--

Valores entre parêntesis representam o erro padrão das estimativas dos parâmetros
NS: não significativo.

Figura 3.4 Regressão linear da deposição de proteína em função do consumo de energia para ração alta (AL) e baixa em lipídeos (BL)
 AL: $Y = -21,50 + 0,778 \cdot X$
 BL: $Y = -18,37 + 0,721 \cdot X$

Em suma a produção de calor em jejum do pacu apresenta uma baixa sensibilidade térmica. As exigências em proteína e energia digestível para manutenção do pacu podem ser consideradas baixas em relação a outras espécies e não são marcadamente influenciadas pelo nível de lipídeos da ração. As exigências em proteína e energia digestível para crescimento são coerentemente maiores quando os peixes são alimentados com dietas contendo baixos níveis de lipídeos.

Referências

- 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.
- AMIN, M.N; CARTER, C.G.; KATERSKY BARNES, R.S.; ADAMS, L.R. Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, doi: 10.1111/anu.12274. 2014.
- AMRKOLAIE, A.K.; YANSARI, A.T.; KHALES, M.K. Calculation of protein and energy requirements in beluga sturgeon (*Huso huso*) using a factorial approach, **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 96, p. 485-494, 2013.

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

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.

BONATE, P.L 2011. **Pharmacokinetic Pharmacodynamic Modeling and Simulation**. New York: Springer, 2011. 611p.

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.

BREMER-NETO, H.; GRANER, C.A.F.; PEZZATO, L.E.; PADOVANI, C.R, Determinação de rotina do crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 691-697, 2005.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth, with special reference to the efficiency complex in domestic animals**, New York:Reinhold Publishing, 1945. 1023p

CHO, C.Y.; BUREAU, D.P. Development of bionergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. **Aquatic Living Resources**, Paris, v. 11, p. 199-210, 1998.

CLARCK, A.;JOHNSON, M.; Scaling of metabolic rate with body mass and temperature fish in teleost fish. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 68, p. 893-905, 1999.

COWEY, C.B. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 124, p. 1-11. 1994.

DUMAS, A.; DE LANGE, C.F.M.;FRANCE, J.; BUREAU, D.P. Quantitative description of body composition and rates of nutrient deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 273, p. 165-181, 2007.

ELLIOTT, J.M.; DAVISON, W. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. **Oecologia**, Berlin, v.19, p. 195-201, 1975.

EMMANS, G.C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. **British Journal of Nutrition**, London, v. 71, p. 801-821, 1994.

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

FRACALOSSO, D.M.; A.P.O. ;RODRIGUES, T.C.S. ;SILVA, E J.E.P.; CYRINO. 2012. Técnicas experimentais em nutrição de peixes. In FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. (Ed.). **Nutriaqua**: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. chap 3, p.37-73.

GLENCROSS, B.D. A factorial growth and feed utilization model for barramundi, *Lates calcarifer* based on Australian production conditions. **Aquaculture Nutrition**. Oxford, v. 14, p. 360-373. 2008.

HERRMANN, J.- P; ENDERS, C. Effect of body size on the standard metabolism of horse mackerel. **Journal of Fish Biology**, London, v. 57, p. 746–760, 2000.

HÖLKER. F. The metabolic rate of roach in relation to body size and temperature, **Journal of Fish Biology**, London, v. 62, p. 565–579, 2003.

LI, X.F.; JIANG, Y.Y.; LIU, W.B.; GE, X.P. Protein-sparing effect of dietary lipid in practical diets for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings: effects on digestive and metabolic responses. **Fish Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 38, p. 529–541, 2012.

LOAGUE, K.; GREEN. R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 7, p. 51-73, 1991.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.W.; SKLAN, D. Comparison of energy and protein efficiency among three fish species gilthead sea bream (*Sparus aurata*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and white grouper (*Epinephelus aeneus*): Energy expenditure for protein and lipid deposition, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 225, p. 175-189, 2003.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.W.; SKLAN, D. Optimization of feeding regimes for european sea bass *Dicentrarchus labrax*: a factorial approach, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 202, p. 289-302, 2001.

MESA, M.G.; WEILAND, L.K.;CHRISTIANSEN, H.E.; SAUTER, S.T.; BEAUCHAMP, D.A, 2013. Development and evaluation of a bioenergetics model for Bull Trout, **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 142, p. 41-49, 2013.

NRC, **Nutrient requirements of fish and shrimp**, Washington, D.C.: National Academies Press, 2011. 376p.

PERES, H.; OLIVA-TELES, A. 2005, Protein and energy metabolism of european seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles and estimation of maintenance requirements, **Fish Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, p. 23-31, 2005.

PIROZZI, I.; BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L. Protein and energy utilization and the requirements for maintenance in juvenile mullet (*Argyrosomus japonicus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 36, p. 109-121, 2010.

ROCHE, D.G.; BINNING, S.A.; BOSIGER, Y., JOHANSEN, J.L.; RUMMER, J.L. Finding the best estimates of metabolic rates in a coral reef fish. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 216, p. 2103–2110, 2013.

RODEHUTSCORD, M.; PFEFFER, E. Maintenance requirement for digestible energy and efficiency of utilisation of digestible energy for retention in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 179, p. 95-107, 1999.

SARGENT, J.R.; TOCHER, D.R.; BELL, J.G. The lipids. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. (Ed.). 3rd. ed. **Fish Nutrition** London. Academic Press, 2002. chap 4, p.181-257.

SASTRE, O.F.; HERNÁNDEZ, G.; CASALLAS, P.E. Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*), **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, Medellin, v. 17, p. 11-16, 2004.

SCHRAMA, J.W.; SARAVANAN, S.; GEURDEN, I.; HEINSBROEK, L.T.; KAUSHIK, S.J.; VERRETH, J.A. Dietary nutrient composition affects digestible energy utilisation for growth: a study on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a literature comparison across fish species, **British journal of nutrition**, London, v. 108, p. 277-289, 2012.

SOMERO, G.N. Adaptation of enzymes to temperature: searching for basic “strategies”. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**: Oxford, v. 139, p. 321–333, 2004.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Barking, v. 89, p. 225–247, 2006.

THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture**: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2nd ed. Wallingford: CAB Internacional, 2007. 928p.

TOMALA, D.; CHAVARRIA, J.; ESCOBAR, B.E.A. Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno de *Colossoma macropomum* en relación al peso corporal y temperatura del agua. **Latin American Journal of Aquaculture Research**, Valparaiso, v. 42, p. 971-979, 2014.

URBINATI, E.C.; GONÇALVES, F.D.; TAKAHASHI, L.S. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: _____. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria:Editora da UFMS, 2010. p. 205–244.

Van TRUNG, D; DIU, N.T; HAO, N.T; GLENCROSS, B. Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 320, p. 69-75, 2011.

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

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu avanços significativos no conhecimento do metabolismo energético e proteico do pacu (*Piaractus mesopotamicus*), uma espécie neotropical nativa de importância na piscicultura não só do Brasil, mas também em vários países. Estes avanços incluem o desenvolvimento de um grupo de equações para prever os valores de energia e proteína digestíveis em função de variáveis físico-químicas da ração, a definição das exigências de energia digestível e proteína digestível para manutenção e para crescimento, a valoração do efeito do nível de lipídeos dietéticos sobre estas exigências e a definição de um modelo de predição da produção de calor em jejum e repouso (principal componente da exigência de manutenção) em função do peso corporal e a temperatura. Este grupo de modelos podem auxiliar na definição de programas de alimentação que aperfeiçoem a retenção de nutrientes da dieta e gerem um menor impacto ambiental.

De maneira mais específica, as equações de predição dos valores digestíveis de energia e proteína podem auxiliar os piscicultores na diferenciação e seleção de rações comerciais na procura daquelas que tenham uma digestibilidade maior, e consequentemente gerem um menor impacto no ambiente. Por sua vez as estimativas das exigências de energia e proteína digestível para manutenção e para crescimento e o modelo de estimação da produção de calor em jejum tem utilidade na construção de modelos nutricionais ou modelos bio-econômicos que auxiliem a tomada de decisões em aspectos decisivos de um sistema de produção em particular, tais como fases de alimentação, peso ótimo de abate, mudanças no manejo nutricional em função da variação estacional de temperatura, entre outras. No entanto, para a construção desses modelos é necessário ainda aprofundar o conhecimento sobre a curva de crescimento da espécie, as mudanças na composição corporal associadas a crescimento dos peixes e o efeito de fatores ambientais e de manejo (E.i, sistema de produção, temperatura e densidade de estocagem) sobre estes parâmetros.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continua)

Ração	Parâmetro	Matéria seca	Proteína	Extrato etéreo	Fibra Bruta	Cinzas	Extrativo não nitrogenado	Energia bruta (MJ kgMS ⁻¹)
A1	Media	924,94	316,40	63,41	72,79	88,93	458,47	19,40
	DP	7,93	6,79	7,10	26,10	4,08	24,54	0,26
	Max	936,03	322,95	72,02	103,24	94,22	481,79	19,67
	Min	917,81	308,16	55,61	47,46	85,09	435,82	19,17
A2	Media	928,33	341,01	76,59	72,18	103,48	406,73	19,64
	DP	8,48	29,85	4,63	16,47	26,02	24,31	0,49
	Max	937,73	365,18	81,97	86,82	142,45	436,88	20,16
	Min	917,12	298,46	70,67	52,59	88,69	379,17	19,10
A3	Media	923,65	391,64	78,91	66,59	106,15	356,71	19,84
	DP	3,81	11,19	4,79	12,94	3,79	4,04	0,46
	Max	925,72	406,01	83,48	77,85	109,95	361,05	20,29
	Min	917,94	381,59	72,27	48,40	101,05	351,54	19,19
B1	Media	927,96	290,98	52,46	64,61	110,22	481,72	18,65
	DP	12,80	7,84	3,30	17,39	6,28	23,10	0,22
	Max	938,23	297,39	57,40	82,22	118,04	511,23	18,86
	Min	909,29	279,82	50,59	43,68	103,22	460,43	18,40
B2	Media	928,16	322,97	57,27	63,05	114,35	442,36	18,83
	DP	13,78	1,77	6,82	11,24	20,99	23,55	0,36
	Max	940,45	324,75	61,83	75,42	143,19	466,19	19,14
	Min	909,93	320,57	47,34	50,79	97,66	410,41	18,32
B3	Media	921,18	372,83	83,82	50,61	105,07	387,66	20,04
	DP	17,72	2,69	17,32	21,74	13,72	29,03	0,74
	Max	941,11	376,86	105,30	69,35	118,16	413,31	20,85
	Min	900,49	371,16	66,58	28,12	87,53	353,06	19,06
C	Media	930,58	369,66	69,22	69,72	85,29	406,11	20,17
	DP	11,07	10,61	6,62	16,27	15,02	24,72	0,69
	Max	940,49	375,72	78,38	90,32	106,13	433,69	21,16
	Min	915,43	353,77	62,69	56,62	71,77	375,52	19,64

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	Fibra detergente neutro	Fibra detergente ácido	Hemicelulose	Fibra alimentar solúvel	Fibra alimentar insolúvel	Fibra alimentar total	Glicose
A1	Media	343,13	123,37	219,75	4,09	237,10	239,14	302,60
	DP	57,52	26,94	33,50	2,32	72,31	74,11	77,34
	Max	376,12	145,89	245,68	5,73	306,74	312,47	415,98
	Min	257,03	86,11	170,92	<1(2)	138,98	138,98	242,02
A2	Media	370,69	143,73	226,96	2,15	202,73	204,89	327,83
	DP	57,88	33,84	25,95	0,68	29,10	29,63	67,24
	Max	429,60	184,58	253,43	3,06	231,22	233,46	409,47
	Min	311,79	108,14	203,65	1,49	174,22	176,03	260,79
A3	Media	365,94	139,46	226,48	3,68	176,15	179,83	280,36
	DP	34,05	19,22	21,05	2,80	35,40	35,52	27,87
	Max	400,27	155,93	245,08	7,87	225,17	227,43	306,72
	Min	321,50	113,08	208,09	2,03	142,41	144,44	249,67
B1	Media	344,40	124,61	219,79	8,18	276,12	282,25	294,31
	DP	58,64	39,82	19,53	4,88	28,98	23,75	37,88
	Max	430,84	184,10	246,74	12,91	298,97	298,97	316,81
	Min	303,15	99,89	203,26	<1(1)	234,42	247,33	237,65
B2	Media	392,72	151,80	240,92	6,60	236,01	240,96	284,25
	DP	55,60	29,23	44,63	2,38	20,83	23,19	38,01
	Max	463,62	173,20	305,62	7,98	258,40	266,37	329,18
	Min	332,43	108,98	203,72	<1(1)	208,87	212,71	244,20
B3	Media	326,62	126,61	200,01	3,30	194,23	197,53	284,40
	DP	59,56	41,40	26,12	0,52	57,04	56,88	83,32
	Max	400,97	164,42	236,56	3,63	271,11	274,51	399,13
	Min	267,59	90,28	177,32	2,54	148,42	152,04	220,03
C	Media	303,87	137,26	166,61	3,22	174,94	177,36	327,78
	DP	16,41	2,91	15,17	1,96	39,15	37,92	51,03
	Max	323,80	141,00	182,80	5,28	227,06	228,44	398,26
	Min	284,23	133,91	147,40	<1(1)	132,80	138,08	288,21

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹
¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	Xilose	Arabinose	Galactose	Frutose	Manose	Fucose	Carboidratos totais
A1	Media	27,31	28,58	10,37	48,14	6,60	ND	406,62
	DP	7,06	5,45	1,91	5,48	ND	ND	54,47
	Max	36,44	35,48	12,84	53,38	6,60	ND	474,89
	Min	20,05	24,14	8,51	<0,5(1)	<0,5(3)	<0,5(4)	341,65
A2	Media	32,47	28,96	9,51	14,13	3,27	ND	403,11
	DP	12,20	9,95	3,63	ND	ND	ND	94,32
	Max	48,79	42,69	14,77	14,13	3,27	ND	515,72
	Min	20,76	19,05	6,93	<0,5(3)	<0,5(3)	<0,5(4)	307,87
A3	Media	30,01	29,10	16,25	25,60	ND	ND	362,12
	DP	5,21	4,53	2,40	ND	ND	ND	42,80
	Max	34,86	35,50	18,82	25,60	ND	ND	414,73
	Min	25,31	24,80	13,93	<0,5(3)	<0,5(4)	<0,5(4)	322,57
B1	Media	35,87	30,76	10,16	29,89	2,80	ND	402,40
	DP	5,14	2,07	5,57	18,77	3,22	ND	22,62
	Max	39,48	33,62	18,19	56,48	5,08	ND	421,42
	Min	28,45	28,98	5,29	12,32	<0,5(2)	<0,5(4)	369,75
B2	Media	35,29	31,70	8,26	29,61	2,18	ND	382,80
	DP	6,63	7,08	4,28	21,58	2,33	ND	70,91
	Max	41,03	41,13	13,92	54,42	3,83	ND	479,69
	Min	25,87	24,90	4,08	<0,5(1)	<0,5(2)	<0,5(4)	318,81
B3	Media	18,54	18,52	14,47	19,08	ND	0,14	345,82
	DP	3,93	3,25	6,37	13,27	ND	ND	77,96
	Max	24,31	22,83	21,77	28,46	ND	0,14	447,92
	Min	15,61	15,34	7,03	<0,5(2)	<0,5(4)	<0,5(3)	272,27
C	Media	13,59	20,35	27,23	52,21	6,95	0,26	404,39
	DP	3,00	1,97	2,91	ND	ND	ND	44,58
	Max	17,13	23,13	30,81	52,21	6,95	0,26	454,75
	Min	10,11	18,49	23,77	<0,5(3)	<0,5(3)	<0,5(3)	347,04

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valor em g kg MS⁻¹
a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina	Cistina
A1	Media	21,91	6,70	11,91	26,18	12,55	3,48	5,93
	DP	1,49	0,74	1,38	1,25	1,14	0,30	0,22
	Max	23,72	7,64	13,94	27,48	13,90	3,72	6,17
	Min	20,10	5,86	10,85	24,50	11,19	3,09	5,64
A2	Media	23,89	8,41	11,45	27,85	17,52	4,50	6,15
	DP	1,70	0,98	1,67	2,92	1,74	1,16	1,52
	Max	25,36	9,28	12,63	30,06	19,62	6,22	8,13
	Min	21,51	7,17	8,99	23,54	15,68	3,74	4,91
A3	Media	27,99	9,09	13,29	30,21	18,18	4,11	6,47
	DP	1,00	0,57	0,72	1,12	0,86	0,38	1,09
	Max	29,03	9,57	13,93	31,84	18,93	4,37	7,85
	Min	26,91	8,46	12,58	29,31	16,95	3,55	5,22
B1	Media	20,01	6,46	9,95	22,34	11,06	2,89	5,11
	DP	0,67	0,66	0,30	0,96	0,97	0,27	0,57
	Max	20,64	7,30	10,16	23,48	12,27	3,28	5,93
	Min	19,25	5,71	9,52	21,14	10,25	2,66	4,65
B2	Media	22,09	8,00	10,43	26,77	13,92	3,15	5,79
	DP	0,98	0,79	0,38	1,27	0,83	0,43	1,10
	Max	23,51	9,03	10,84	27,97	14,77	3,72	7,12
	Min	21,27	7,37	9,93	25,12	13,03	2,76	4,68
B3	Media	24,98	9,81	11,99	30,52	20,71	6,64	6,46
	DP	1,41	0,29	1,20	1,41	0,75	1,13	0,86
	Max	25,80	10,12	13,64	32,50	21,52	7,67	7,43
	Min	22,88	9,51	10,90	29,28	19,78	5,24	5,71
C	Media	26,63	10,28	12,04	30,68	20,88	5,62	5,94
	DP	0,54	0,54	0,41	1,35	0,61	0,16	0,45
	Max	27,39	10,75	12,62	31,92	21,76	5,78	6,53
	Min	26,20	9,64	11,73	28,80	20,45	5,43	5,46

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	Fenilalanina	Tirosina	Treonina	Triptofano	Valina	Acido aspártico	Acido glutâmico
A1	Media	15,36	8,75	13,13	1,97	20,97	21,80	44,48
	DP	0,72	0,52	0,95	0,13	1,39	1,95	2,13
	Max	16,23	9,15	14,25	2,12	22,12	24,30	46,38
	Min	14,49	7,99	12,33	1,81	19,18	19,79	41,47
A2	Media	16,29	9,59	13,69	1,97	21,41	25,60	48,30
	DP	2,12	0,67	1,50	0,29	2,04	4,71	5,65
	Max	18,04	10,34	14,56	2,35	23,00	31,22	52,43
	Min	13,27	8,77	11,45	1,69	18,73	19,69	40,02
A3	Media	18,34	10,58	15,85	2,17	23,02	32,16	55,44
	DP	0,69	0,14	0,31	0,19	2,12	1,29	1,09
	Max	19,15	10,76	16,14	2,37	26,14	33,24	56,37
	Min	17,57	10,45	15,42	1,91	21,43	30,38	54,04
B1	Media	13,77	8,02	11,75	1,85	19,72	20,28	45,90
	DP	0,35	0,26	0,13	0,14	1,27	0,98	1,86
	Max	14,17	8,36	11,85	2,02	21,05	21,06	48,37
	Min	13,32	7,72	11,58	1,69	18,29	19,02	43,87
B2	Media	15,81	8,67	12,96	1,97	21,74	22,72	46,06
	DP	0,65	0,25	0,31	0,40	0,40	1,56	1,16
	Max	16,38	8,93	13,35	2,56	22,22	24,66	47,19
	Min	15,14	8,33	12,67	1,70	21,36	21,04	44,45
B3	Media	17,84	10,26	15,23	2,02	22,33	31,23	53,03
	DP	0,71	0,80	0,73	0,36	1,09	2,13	1,75
	Max	18,54	11,08	16,20	2,46	23,26	32,71	54,54
	Min	16,89	9,30	14,59	1,60	21,06	28,13	50,50
C	Media	18,94	11,56	14,67	2,74	20,56	36,22	58,86
	DP	1,59	0,50	0,40	0,30	1,22	1,83	2,18
	Max	20,54	11,99	15,08	3,00	21,93	38,09	61,73
	Min	17,24	10,96	14,13	2,35	19,49	33,73	56,75

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS¹
¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	Alanina	Glicina	Serina	Prolina	Taurina	Amido	Grau de gelatinização do amido (%)
A1	Media	17,47	25,52	24,54	27,94	0,16	273,78	85,00
	DP	0,47	1,89	1,23	1,65	0,07	61,03	11,97
	Max	18,14	27,66	26,17	29,78	0,21	360,37	97,10
	Min	17,13	23,66	23,18	25,84	<0,1(2)	217,32	68,50
A2	Media	20,11	28,02	23,14	28,34	0,32	251,13	80,05
	DP	0,72	0,29	2,89	2,40	0,10	25,33	3,81
	Max	20,89	28,25	25,60	30,93	0,42	280,26	83,60
	Min	19,16	27,60	19,05	25,79	<0,1(1)	228,27	75,20
A3	Media	22,75	34,14	27,93	33,18	0,35	214,28	81,15
	DP	1,02	2,22	2,21	2,37	0,16	22,90	11,14
	Max	24,10	36,53	30,06	35,89	0,53	236,85	90,60
	Min	21,64	31,69	24,89	30,10	0,21	182,89	65,00
B1	Media	15,80	21,10	21,15	25,17	0,11	227,90	83,18
	DP	0,76	0,88	0,66	0,36	0,00	10,68	14,09
	Max	16,51	22,22	21,78	25,61	0,11	241,13	95,80
	Min	15,01	20,29	20,31	24,75	0,11	215,12	63,00
B2	Media	18,99	26,36	23,79	28,81	0,11	222,05	87,75
	DP	0,40	3,49	1,72	2,42	0,00	6,06	3,42
	Max	19,54	30,91	26,27	31,61	0,11	228,73	90,90
	Min	18,58	23,17	22,53	26,57	0,11	215,76	83,40
B3	Media	22,60	29,99	23,29	29,06	0,32	234,81	74,43
	DP	0,57	1,19	1,83	1,10	0,00	36,93	2,56
	Max	23,09	31,43	26,00	30,47	0,32	288,74	77,40
	Min	21,88	28,78	21,99	28,14	<0,1(2)	206,65	72,10
C	Media	21,43	24,49	22,02	24,97	0,11	275,00	81,45
	DP	1,05	2,42	0,72	1,34	0,00	10,31	19,26
	Max	22,71	27,68	22,77	26,52	0,11	284,62	98,50
	Min	20,34	22,27	21,20	23,45	<0,1(2)	265,74	63,50

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Continuação)

Ração	Parâmetro	H24(2)	H24(5)	H24(10)	H27(2)	H27(5)	H27(10)	H30(2)
A1	Media	99,01	98,58	97,91	98,90	98,21	97,62	98,59
	DP	0,25	0,52	0,48	0,31	0,75	0,94	0,49
	Max	99,33	99,15	98,53	99,34	99,30	98,89	99,26
	Min	98,75	97,92	97,42	98,63	97,62	96,71	98,15
A2	Media	98,31	97,53	96,78	98,28	97,44	96,41	98,04
	DP	0,32	0,42	0,55	0,41	0,37	0,43	0,26
	Max	98,68	97,97	97,45	98,58	97,95	96,82	98,33
	Min	97,93	96,98	96,12	97,69	97,07	95,97	97,70
A3	Media	98,31	97,60	96,46	97,97	97,40	96,28	97,91
	DP	0,13	0,34	0,17	0,33	0,44	0,56	0,11
	Max	98,45	97,98	96,59	98,34	97,83	96,91	98,02
	Min	98,18	97,16	96,21	97,61	96,80	95,56	97,76
B1	Media	98,65	97,92	97,09	98,48	97,79	96,69	98,48
	DP	0,39	0,33	0,42	0,13	0,14	0,52	0,22
	Max	99,21	98,34	97,71	98,65	97,95	97,35	98,78
	Min	98,28	97,54	96,80	98,37	97,65	96,16	98,26
B2	Media	98,35	98,02	96,74	98,07	97,04	95,85	97,50
	DP	0,32	0,37	0,63	0,49	0,71	0,68	1,21
	Max	98,77	98,45	97,52	98,51	98,08	96,76	98,41
	Min	98,01	97,80	96,00	97,39	96,48	95,13	95,73
B3	Media	97,51	96,51	95,57	97,08	96,02	94,40	96,54
	DP	0,93	1,07	1,11	0,67	0,90	0,78	1,33
	Max	98,48	97,29	96,43	97,93	96,92	95,14	97,86
	Min	96,27	94,97	93,94	96,45	95,17	93,48	95,09
C	Media	97,23	96,40	95,15	97,32	95,96	94,59	97,01
	DP	0,20	0,22	0,64	0,55	0,76	0,66	0,42
	Max	97,52	96,71	96,03	98,00	97,04	95,55	97,59
	Min	97,08	96,24	94,49	96,74	95,29	94,13	96,63

APÊNDICE A - Estatística descritiva das rações caracterizadas (agrupamento por ração). Valores em g kg MS⁻¹ a menos que outra unidade seja especificada

(Conclusão)

Ração	Parâmetro	H30(5)	H30(10)	IAA (g g MS ⁻¹)	ISA (%)	CDA _{PB} (%)	CDA _{EB} (%)	Proteína digestível	Energia digestível (MJ kgMS ⁻¹)
A1	Media	98,19	97,06	3,93	8,00	78,79	73,24	249,37	14,21
	DP	0,87	1,08	0,06	1,43	2,32	1,70	11,38	0,44
	Max	99,13	98,62	4,01	9,99	80,74	74,66	256,90	14,57
	Min	97,43	96,16	3,85	6,68	75,43	70,81	232,45	13,57
A2	Media	97,03	96,02	3,67	9,23	81,60	78,47	277,90	15,40
	DP	0,30	0,33	0,18	1,46	2,20	4,68	19,69	0,64
	Max	97,33	96,42	3,90	11,08	83,82	82,89	295,36	15,87
	Min	96,69	95,62	3,46	8,02	78,68	71,86	250,17	14,49
A3	Media	97,17	95,97	3,31	11,54	81,79	76,39	320,08	15,14
	DP	0,32	0,53	0,47	2,62	3,21	4,50	6,19	0,65
	Max	97,53	96,65	3,57	15,31	85,20	81,22	325,12	15,77
	Min	96,87	95,50	2,60	9,24	78,77	72,12	311,05	14,39
B1	Media	97,32	96,42	3,83	10,02	81,64	72,45	237,52	13,51
	DP	0,51	0,36	0,14	0,86	1,63	1,56	5,71	0,30
	Max	97,75	96,78	3,96	11,26	83,08	74,78	245,42	13,86
	Min	96,59	95,92	3,71	9,36	79,38	71,44	232,47	13,14
B2	Media	96,81	95,00	3,62	9,02	85,08	77,35	274,82	14,55
	DP	1,30	1,01	0,08	0,71	3,75	5,37	13,36	0,91
	Max	97,91	97,11	3,71	9,96	88,17	83,30	285,36	15,26
	Min	94,95	94,81	3,52	8,28	79,63	70,44	255,25	13,27
B3	Media	95,38	94,35	3,46	9,48	85,10	80,44	317,27	16,13
	DP	1,51	1,71	0,19	1,80	2,52	3,40	8,70	1,17
	Max	97,22	96,02	3,66	10,89	88,14	83,66	327,14	17,44
	Min	93,72	92,60	3,20	6,86	82,45	77,20	306,34	14,83
C	Media	95,91	94,60	3,49	12,45	86,57	80,26	320,00	16,20
	DP	0,40	0,68	0,27	0,89	2,61	3,99	13,63	1,09
	Max	96,45	95,35	3,89	13,65	89,08	83,16	333,82	17,09
	Min	95,48	93,88	3,31	11,52	83,06	74,47	305,10	14,62

DP: Desvio padrão;

Max: Maximo;

Min: Minimo.

HX₁(X₂): Hidroestabilidade expressa como porcentagem de retenção de matéria seca após imersão sendo que X₁ corresponde à temperatura da água e X₂ corresponde à duração da imersão.

IAA: Índice de absorção de água.

ISA: Índice de solubilidade em água.

CDA_{PB}: Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta.

CDA_{EB}: Coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta.

< Indica o limite de detecção, valores entre parentesis indica a quantidade de amostras abaixo do limite de detecção, para esas variáveis a media e o desvio padrão foram calculados com os valores acima do limite de detecção,

ANEXO

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Contínua)

	Asp	Glu	Ala	Amido	Arabinose	Arg	CDA _{EB}	CDA _{PB}
Asp		0,94	0,84	-0,01	-0,42	0,84	0,37	0,37
Glu	<u><0,01</u>		0,75	-0,15	-0,28	0,86	0,24	0,33
Ala	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		-0,11	-0,42	0,85	0,51	0,35
Amido	<u>0,95</u>	<u>0,45</u>	<u>0,57</u>		-0,40	-0,16	0,29	-0,08
Arabinose	<u>0,03</u>	<u>0,14</u>	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>		-0,24	-0,66	-0,48
Arg	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,41</u>	<u>0,22</u>		0,28	0,20
CDA _{EB}	<u>0,05</u>	<u>0,23</u>	<u>0,01</u>	<u>0,14</u>	<u><0,01</u>	<u>0,16</u>		0,78
CDA _{PB}	<u>0,05</u>	<u>0,09</u>	<u>0,07</u>	<u>0,69</u>	<u>0,01</u>	<u>0,31</u>	<u><0,01</u>	
Cinzas	<u>0,06</u>	<u>0,05</u>	<u>0,69</u>	<u>0,07</u>	<u>0,73</u>	<u>0,22</u>	<u>0,26</u>	<u>0,24</u>
Cis	<u>0,27</u>	<u>0,82</u>	<u>0,02</u>	<u>0,71</u>	<u>0,03</u>	<u>0,11</u>	<u>0,07</u>	<u>0,28</u>
EB	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,41</u>	<u>0,09</u>	<u><0,01</u>	<u>0,11</u>	<u>0,41</u>
ED	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,13</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
EE	<u>0,01</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,94</u>	<u>0,18</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,46</u>
ENN	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,32</u>	<u>0,12</u>	<u><0,01</u>	<u>0,04</u>	<u>0,26</u>
FB	<u>0,88</u>	<u>0,90</u>	<u>0,61</u>	<u>0,44</u>	<u>0,70</u>	<u>0,86</u>	<u>0,38</u>	<u>0,28</u>
FDA	<u>0,47</u>	<u>0,44</u>	<u>0,39</u>	<u>0,04</u>	<u>0,78</u>	<u>0,60</u>	<u>0,48</u>	<u>0,15</u>
FDN	<u>0,39</u>	<u>0,48</u>	<u>0,99</u>	<u><0,01</u>	<u>0,33</u>	<u>0,71</u>	<u>0,94</u>	<u>0,75</u>
Fen	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,95</u>	<u>0,11</u>	<u><0,01</u>	<u>0,15</u>	<u>0,25</u>
FAI	<u>0,01</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,35</u>
FAT	<u>0,01</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,36</u>
FAS	<u>0,12</u>	<u>0,23</u>	<u>0,06</u>	<u>0,37</u>	<u>0,37</u>	<u>0,02</u>	<u>0,12</u>	<u>0,86</u>
Frutose	<u>0,99</u>	<u>0,89</u>	<u>0,38</u>	<u>0,91</u>	<u>0,25</u>	<u>0,73</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>
Galactose	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,58</u>	<u>0,18</u>	<u><0,01</u>	<u>0,71</u>	<u>0,37</u>
GGA	<u>0,23</u>	<u>0,26</u>	<u>0,35</u>	<u>0,70</u>	<u>0,11</u>	<u>0,53</u>	<u>0,51</u>	<u>0,65</u>
Gli	<u>0,04</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u>0,10</u>	<u>0,45</u>	<u><0,01</u>	<u>0,08</u>	<u>0,65</u>
Glicose	<u>0,74</u>	<u>0,73</u>	<u>0,99</u>	<u><0,01</u>	<u>0,41</u>	<u>0,82</u>	<u>0,93</u>	<u>0,30</u>
H24(2)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,86</u>	<u>0,09</u>	<u>0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,03</u>
H24(5)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,51</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u>0,11</u>	<u>0,04</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(continuação)

	Asp	Glu	Ala	Amido	Arabinose	Arg	CDA _{EB}	CDA _{PB}
H24(10)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,41</u>	<u>0,12</u>	<u><0,01</u>	<u>0,16</u>	<u>0,02</u>
H27(2)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,39</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,02</u>
H27(5)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,29</u>	<u>0,12</u>	<u>0,02</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>
H27(10)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,24</u>	<u>0,04</u>	<u>0,02</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>
H30(2)	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,36</u>	<u>0,20</u>	<u>0,10</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>
H30(5)	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,17</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>0,05</u>	<u><0,01</u>
H30(10)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,22</u>	<u>0,14</u>	<u>0,05</u>	<u>0,09</u>	<u><0,01</u>
HCEL	<u>0,04</u>	<u>0,07</u>	<u>0,48</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,30</u>	<u>0,47</u>	<u>0,49</u>
His	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,90</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>
Ile	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,58</u>	<u>0,77</u>	<u><0,01</u>	<u>0,92</u>	<u>0,41</u>
Leu	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,90</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>	<u>0,24</u>
Lis	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,69</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,04</u>
Manose	<u>0,33</u>	<u>0,17</u>	<u>0,63</u>	<u>0,50</u>	<u>0,47</u>	<u>0,29</u>	<u>0,09</u>	<u>0,14</u>
Met	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,37</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>
PD	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,44</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Pro	<u>0,50</u>	<u>0,34</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,46</u>	<u>0,01</u>	<u>0,83</u>	<u>0,61</u>
PB	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,40</u>	<u>0,13</u>	<u><0,01</u>	<u>0,09</u>	<u>0,26</u>
Ser	<u>0,36</u>	<u>0,22</u>	<u>0,05</u>	<u>0,19</u>	<u>0,28</u>	<u>0,01</u>	<u>0,60</u>	<u>0,24</u>
CT	<u>0,71</u>	<u>0,94</u>	<u>0,25</u>	<u>0,13</u>	<u>0,01</u>	<u>0,70</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>
CT(-gg)	<u>0,02</u>	<u>0,08</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Tau	<u>0,04</u>	<u>0,08</u>	<u>0,01</u>	<u>0,40</u>	<u>0,30</u>	<u>0,01</u>	<u>0,23</u>	<u>0,56</u>
Tir	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,46</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,09</u>
Tre	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,41</u>	<u>0,14</u>	<u><0,01</u>	<u>0,13</u>	<u>0,39</u>
Trp	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,04</u>	<u>0,42</u>	<u>0,13</u>	<u>0,03</u>	<u>0,13</u>	<u>0,05</u>
Val	<u>0,08</u>	<u>0,08</u>	<u><0,01</u>	<u>0,08</u>	<u>0,77</u>	<u>0,01</u>	<u>0,64</u>	<u>0,32</u>
IAA	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,13</u>	<u>0,68</u>	<u><0,01</u>	<u>0,57</u>	<u>0,37</u>
ISA	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,04</u>	<u>0,04</u>	<u>0,64</u>	<u><0,01</u>	<u>0,36</u>	<u>0,49</u>
Xilose	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u>0,09</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>

Anexo A: - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Cinzas	Cis	EB	ED	EE	ENN	FB	FDA
Asp	-0,36	0,22	0,65	0,58	0,49	-0,69	-0,03	0,14
Glu	-0,37	0,05	0,61	0,46	0,41	-0,67	0,02	0,15
Ala	-0,08	0,44	0,66	0,69	0,71	-0,88	-0,10	0,17
Amido	-0,35	0,07	0,16	0,30	0,02	0,19	0,15	-0,39
Arabinose	-0,07	-0,41	-0,33	-0,65	-0,26	0,30	0,08	-0,06
Arg	-0,24	0,31	0,62	0,48	0,53	-0,79	-0,03	0,10
CDA _{EB}	0,22	0,35	0,31	0,89	0,43	-0,40	-0,17	0,14
CDA _{PB}	0,23	0,21	0,16	0,66	0,15	-0,22	-0,21	0,28
Cinzas		0,17	-0,47	-0,06	-0,19	-0,10	-0,04	0,06
Cis	<u>0,38</u>		0,23	0,36	0,35	-0,34	-0,14	-0,02
EB	<u>0,01</u>	<u>0,24</u>		0,70	0,75	-0,57	-0,04	0,17
ED	<u>0,76</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>		0,67	-0,55	-0,15	0,18
EE	<u>0,33</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		-0,63	-0,25	0,05
ENN	<u>0,62</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		-0,26	-0,20
FB	<u>0,86</u>	<u>0,47</u>	<u>0,84</u>	<u>0,44</u>	<u>0,20</u>	<u>0,18</u>		0,10
FDA	<u>0,76</u>	<u>0,91</u>	<u>0,38</u>	<u>0,36</u>	<u>0,82</u>	<u>0,32</u>	<u>0,63</u>	
FDN	<u>0,16</u>	<u>0,77</u>	<u>0,49</u>	<u>0,68</u>	<u>0,79</u>	<u>0,72</u>	<u>0,89</u>	<u><0,01</u>
Fen	<u>0,02</u>	<u>0,31</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u>0,99</u>	<u>0,58</u>
FAI	<u>0,65</u>	<u>0,32</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,38</u>	<u>0,49</u>
FAT	<u>0,65</u>	<u>0,32</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,39</u>	<u>0,48</u>
FAS	<u>0,70</u>	<u>0,60</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,11</u>	<u>0,23</u>	<u>0,89</u>
Frutose	<u>0,28</u>	<u>0,06</u>	<u>0,82</u>	<u>0,09</u>	<u>0,67</u>	<u>0,58</u>	<u>0,24</u>	<u>0,56</u>
Galactose	<u>0,06</u>	<u>0,90</u>	<u>0,02</u>	<u>0,17</u>	<u>0,46</u>	<u>0,05</u>	<u>0,65</u>	<u>0,89</u>
GGA	<u>0,75</u>	<u>0,38</u>	<u>0,74</u>	<u>0,52</u>	<u>0,62</u>	<u>0,45</u>	<u>0,66</u>	<u>0,68</u>
Gli	<u>0,25</u>	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,72</u>	<u>0,42</u>
Glicose	<u>0,01</u>	<u>0,88</u>	<u>0,86</u>	<u>0,98</u>	<u>1,00</u>	<u>0,67</u>	<u>0,62</u>	<u>0,01</u>
H24(2)	<u>0,29</u>	<u>0,70</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	<u>0,15</u>	<u>0,99</u>
H24(5)	<u>0,44</u>	<u>0,61</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,05</u>	<u>0,03</u>	<u>0,24</u>	<u>0,95</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Cinzas	Cis	EB	ED	EE	ENN	FB	FDA
H24(10)	<u>0,39</u>	<u>0,70</u>	<u>0,06</u>	<u>0,05</u>	<u>0,14</u>	<u>0,02</u>	<u>0,30</u>	<u>0,95</u>
H27(2)	<u>0,50</u>	<u>0,88</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,08</u>	<u>0,71</u>
H27(5)	<u>0,34</u>	<u>0,85</u>	<u>0,05</u>	<u>0,02</u>	<u>0,05</u>	<u>0,06</u>	<u>0,14</u>	<u>0,46</u>
H27(10)	<u>0,64</u>	<u>0,94</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,06</u>	<u>0,04</u>	<u>0,10</u>	<u>0,46</u>
H30(2)	<u>0,95</u>	<u>0,77</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,12</u>	<u>0,31</u>
H30(5)	<u>0,85</u>	<u>0,91</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,08</u>	<u>0,19</u>	<u>0,20</u>
H30(10)	<u>0,47</u>	<u>0,93</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,44</u>	<u>0,09</u>
HCEL	<u>0,05</u>	<u>0,71</u>	<u>0,06</u>	<u>0,15</u>	<u>0,54</u>	<u>0,79</u>	<u>0,84</u>	<u>0,02</u>
His	<u>0,13</u>	<u>0,22</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,85</u>	<u>0,44</u>
Ile	<u>0,01</u>	<u>0,36</u>	<u>0,01</u>	<u>0,28</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,98</u>	<u>0,92</u>
Leu	<u>0,03</u>	<u>0,13</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,84</u>	<u>0,33</u>
Lis	<u>0,27</u>	<u>0,04</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,79</u>	<u>0,69</u>
Manose	<u>0,04</u>	<u>0,88</u>	<u>0,03</u>	<u>0,43</u>	<u>0,32</u>	<u>0,47</u>	<u>0,13</u>	<u>1,00</u>
Met	<u>0,24</u>	<u>0,04</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,56</u>	<u>0,98</u>
PD	<u>0,45</u>	<u>0,10</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,61</u>	<u>0,24</u>
Pro	<u>0,40</u>	<u>0,64</u>	<u>0,16</u>	<u>0,46</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u>0,62</u>	<u>0,19</u>
PB	<u>0,19</u>	<u>0,13</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,83</u>	<u>0,43</u>
Ser	<u>0,29</u>	<u>0,97</u>	<u>0,12</u>	<u>0,79</u>	<u>0,11</u>	<u>0,03</u>	<u>0,81</u>	<u>0,49</u>
CT	<u><0,01</u>	<u>0,32</u>	<u>0,47</u>	<u>0,05</u>	<u>0,28</u>	<u>0,16</u>	<u>0,41</u>	<u>0,02</u>
CT(-gg)	<u>0,46</u>	<u>0,08</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,55</u>	<u>0,94</u>
Tau	<u>0,87</u>	<u>0,62</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,62</u>	<u>0,77</u>
Tir	<u>0,05</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,89</u>	<u>0,86</u>
Tre	<u>0,07</u>	<u>0,25</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,79</u>	<u>0,37</u>
Trp	<u>0,17</u>	<u>0,88</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,19</u>	<u>0,10</u>	<u>0,95</u>	<u>0,10</u>
Val	<u>0,82</u>	<u>0,13</u>	<u>0,36</u>	<u>0,99</u>	<u>0,24</u>	<u><0,01</u>	<u>0,49</u>	<u>0,30</u>
IAA	<u>0,94</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,17</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u>0,30</u>	<u>0,56</u>
ISA	<u>0,27</u>	<u>0,73</u>	<u>0,10</u>	<u>0,94</u>	<u>0,57</u>	<u>0,03</u>	<u>0,63</u>	<u>0,61</u>
Xilose	<u>0,61</u>	<u>0,13</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,13</u>	<u>0,09</u>	<u>0,89</u>	<u>0,74</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	FDN	Fen	FAI	FAT	FAS	Frutose	Galactose	GGA
Asp	-0,17	0,91	-0,48	-0,48	-0,34	0,00	0,79	-0,23
Glu	-0,14	0,87	-0,41	-0,41	-0,26	0,04	0,79	-0,22
Ala	0,00	0,83	-0,60	-0,59	-0,40	-0,25	0,45	-0,18
Amido	-0,56	0,01	-0,43	-0,44	-0,19	0,03	0,11	-0,08
Arabinose	0,19	-0,31	0,42	0,43	0,20	0,32	-0,26	0,31
Arg	-0,07	0,84	-0,49	-0,50	-0,49	-0,10	0,57	-0,12
CDA _{EB}	-0,02	0,28	-0,57	-0,57	-0,34	-0,59	0,07	-0,13
CDA _{PB}	0,06	0,22	-0,18	-0,18	-0,04	-0,58	0,18	-0,09
Cinzas	0,27	-0,45	0,09	0,09	0,09	-0,30	-0,36	0,06
Cis	-0,06	0,20	-0,20	-0,20	-0,12	-0,49	-0,02	0,17
EB	-0,13	0,55	-0,54	-0,55	-0,50	0,06	0,45	-0,07
ED	-0,08	0,46	-0,68	-0,69	-0,46	-0,45	0,27	-0,13
EE	-0,05	0,43	-0,57	-0,58	-0,52	-0,12	0,15	-0,10
ENN	-0,07	-0,68	0,62	0,62	0,35	0,15	-0,37	0,15
FB	0,03	0,00	-0,17	-0,17	0,26	0,32	0,09	0,09
FDA	0,82	0,11	0,14	0,14	0,03	0,16	0,03	0,08
FDN		-0,15	0,31	0,31	0,06	0,06	-0,35	0,08
Fen	<u>0,44</u>		-0,42	-0,43	-0,34	-0,05	0,67	-0,32
FAI	<u>0,11</u>	<u>0,02</u>		1,00	0,30	0,13	-0,27	-0,05
FAT	<u>0,11</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>		0,35	0,14	-0,27	-0,03
FAS	<u>0,79</u>	<u>0,11</u>	<u>0,17</u>	<u>0,10</u>		0,08	-0,11	0,50
Frutose	<u>0,84</u>	<u>0,85</u>	<u>0,64</u>	<u>0,61</u>	<u>0,81</u>		0,54	0,11
Galactose	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u>0,16</u>	<u>0,17</u>	<u>0,61</u>	<u>0,04</u>		-0,14
GGA	<u>0,67</u>	<u>0,09</u>	<u>0,80</u>	<u>0,87</u>	<u>0,02</u>	<u>0,68</u>	<u>0,47</u>	
Gli	<u>0,16</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,28</u>	<u>0,78</u>	<u>0,84</u>
Glicose	<u><0,01</u>	<u>0,21</u>	<u>0,37</u>	<u>0,35</u>	<u>0,74</u>	<u>0,08</u>	<u>0,66</u>	<u>0,95</u>
H24(2)	<u>0,19</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,06</u>	<u>0,39</u>	<u>0,91</u>	<u><0,01</u>	<u>0,37</u>
H24(5)	<u>0,18</u>	<u><0,01</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>0,24</u>	<u>0,98</u>	<u><0,01</u>	<u>0,22</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais.

(Continuação)

	FDN	Fen	FAI	FAT	FAS	Frutose	Galactose	GGA
H24(10)	<u>0,21</u>	<u><0,01</u>	<u>0,18</u>	<u>0,20</u>	<u>0,48</u>	<u>0,91</u>	<u><0,01</u>	<u>0,13</u>
H27(2)	<u>0,43</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,08</u>	<u>0,09</u>	<u>0,81</u>	<u><0,01</u>	<u>0,10</u>
H27(5)	<u>0,55</u>	<u><0,01</u>	<u>0,35</u>	<u>0,37</u>	<u>0,38</u>	<u>0,80</u>	<u><0,01</u>	<u>0,20</u>
H27(10)	<u>0,54</u>	<u><0,01</u>	<u>0,27</u>	<u>0,29</u>	<u>0,48</u>	<u>0,89</u>	<u><0,01</u>	<u>0,20</u>
H30(2)	<u>0,78</u>	<u>0,04</u>	<u>0,09</u>	<u>0,09</u>	<u>0,26</u>	<u>0,40</u>	<u>0,03</u>	<u>0,72</u>
H30(5)	<u>0,90</u>	<u>0,08</u>	<u>0,34</u>	<u>0,35</u>	<u>0,44</u>	<u>0,88</u>	<u>0,04</u>	<u>0,69</u>
H30(10)	<u>0,87</u>	<u>0,01</u>	<u>0,34</u>	<u>0,37</u>	<u>0,40</u>	<u>0,64</u>	<u>0,01</u>	<u>0,27</u>
HCEL	<u><0,01</u>	<u>0,09</u>	<u>0,06</u>	<u>0,06</u>	<u>0,75</u>	<u>0,86</u>	<u><0,01</u>	<u>0,75</u>
His	<u>0,43</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,25</u>	<u>0,76</u>	<u><0,01</u>	<u>0,16</u>
Ile	<u>0,89</u>	<u><0,01</u>	<u>0,11</u>	<u>0,10</u>	<u>0,06</u>	<u>0,87</u>	<u>0,13</u>	<u>0,80</u>
Leu	<u>0,73</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,71</u>	<u><0,01</u>	<u>0,22</u>
Lis	<u>0,26</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>	<u>0,49</u>	<u><0,01</u>	<u>0,27</u>
Manose	<u>0,32</u>	<u>0,26</u>	<u>0,32</u>	<u>0,35</u>	<u>0,69</u>	<u>0,08</u>	<u>0,11</u>	<u>0,86</u>
Met	<u>0,13</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,11</u>	<u>0,30</u>	<u>0,02</u>	<u>0,21</u>
PD	<u>0,94</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,27</u>	<u><0,01</u>	<u>0,24</u>
Pro	<u>0,03</u>	<u>0,21</u>	<u>0,17</u>	<u>0,16</u>	<u>0,10</u>	<u>0,50</u>	<u>0,22</u>	<u>0,81</u>
PB	<u>0,88</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,57</u>	<u><0,01</u>	<u>0,25</u>
Ser	<u>0,29</u>	<u>0,05</u>	<u>0,25</u>	<u>0,23</u>	<u>0,12</u>	<u>0,71</u>	<u>0,53</u>	<u>0,57</u>
CT	<u>0,02</u>	<u>0,51</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,58</u>	<u>0,94</u>	<u>0,65</u>	<u>0,56</u>
CT(-gg)	<u>0,20</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u><0,01</u>	<u>0,26</u>	<u>0,22</u>
Tau	<u>0,60</u>	<u>0,08</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,07</u>	<u>0,32</u>	<u>0,93</u>	<u>0,26</u>
Tir	<u>0,12</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,10</u>	<u>0,46</u>	<u><0,01</u>	<u>0,67</u>
Tre	<u>0,98</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,58</u>	<u>0,02</u>	<u>0,26</u>
Trp	<u>0,64</u>	<u>0,03</u>	<u>0,05</u>	<u>0,04</u>	<u>0,20</u>	<u>0,39</u>	<u><0,01</u>	<u>0,91</u>
Val	<u>0,25</u>	<u><0,01</u>	<u>0,55</u>	<u>0,54</u>	<u>0,51</u>	<u>0,39</u>	<u>0,64</u>	<u>0,92</u>
IAA	<u>0,82</u>	<u><0,01</u>	<u>0,38</u>	<u>0,37</u>	<u>0,24</u>	<u>0,58</u>	<u>0,02</u>	<u>0,57</u>
ISA	<u>0,64</u>	<u><0,01</u>	<u>0,86</u>	<u>0,87</u>	<u>0,73</u>	<u>0,60</u>	<u><0,01</u>	<u>0,85</u>
Xilose	<u>0,24</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,26</u>	<u>0,76</u>	<u>0,01</u>	<u>0,13</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Gli	Glicose	H24(2)	H24(5)	H24(10)	H27(2)	H27(5)	H(27)10
Asp	0,39	0,07	-0,71	-0,70	-0,78	-0,68	-0,69	-0,67
Glu	0,36	0,07	-0,71	-0,73	-0,79	-0,70	-0,68	-0,68
Ala	0,76	0,00	-0,58	-0,57	-0,61	-0,63	-0,58	-0,60
Amido	-0,32	0,53	0,03	0,13	0,16	0,17	0,21	0,23
Arabinose	-0,15	0,16	0,33	0,37	0,30	0,34	0,30	0,38
Arg	0,68	0,04	-0,49	-0,53	-0,56	-0,52	-0,43	-0,45
CDA _{EB}	0,34	-0,02	-0,37	-0,31	-0,28	-0,35	-0,35	-0,34
CDA _{PB}	0,09	-0,20	-0,42	-0,40	-0,43	-0,45	-0,55	-0,54
Cinzas	0,23	-0,46	0,21	0,16	0,17	0,13	0,19	0,09
Cis	0,42	-0,03	0,08	0,10	0,08	0,03	0,04	-0,01
EB	0,39	0,04	-0,46	-0,42	-0,36	-0,44	-0,38	-0,40
ED	0,42	0,00	-0,50	-0,44	-0,38	-0,47	-0,44	-0,45
EE	0,63	0,00	-0,39	-0,37	-0,28	-0,48	-0,37	-0,36
ENN	-0,81	0,08	0,38	0,42	0,44	0,46	0,37	0,39
FB	-0,07	0,10	0,28	0,24	0,20	0,33	0,29	0,32
FDA	0,16	-0,51	0,00	0,01	-0,01	-0,07	-0,14	-0,15
FDN	0,27	-0,56	0,26	0,27	0,24	0,16	0,12	0,12
Fen	0,43	0,24	-0,62	-0,62	-0,71	-0,64	-0,63	-0,60
FAI	-0,48	-0,18	0,37	0,31	0,26	0,34	0,19	0,22
FAT	-0,49	-0,18	0,37	0,31	0,25	0,34	0,18	0,21
FAS	-0,47	-0,07	0,19	0,26	0,16	0,36	0,19	0,15
Frutose	-0,30	-0,46	-0,03	0,01	-0,03	0,07	-0,07	0,04
Galactose	-0,06	0,09	-0,70	-0,67	-0,73	-0,53	-0,58	-0,57
GGA	-0,04	0,01	0,18	0,24	0,30	0,31	0,25	0,25
Gli		-0,21	-0,10	-0,13	-0,12	-0,28	-0,12	-0,16
Glicose	<u>0,29</u>		-0,11	-0,06	-0,08	0,03	0,05	0,11
H24(2)	<u>0,63</u>	<u>0,56</u>		0,96	0,93	0,83	0,87	0,88
H24(5)	<u>0,53</u>	<u>0,78</u>	<u>≤0,01</u>		0,96	0,85	0,88	0,89

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais.

(Continuação)

	Gli	Glicose	H24(2)	H24(5)	H24(10)	H27(2)	H27(5)	H27(10)
H24(10)	<u>0,53</u>	<u>0,70</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,85	0,91	0,91
H27(2)	<u>0,15</u>	<u>0,89</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,90	0,92
H27(5)	<u>0,54</u>	<u>0,81</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,96
H27(10)	<u>0,43</u>	<u>0,59</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	
H30(2)	<u>0,23</u>	<u>0,38</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
H30(5)	<u>0,39</u>	<u>0,22</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
H30(10)	<u>0,37</u>	<u>0,28</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
HCEL	<u>0,13</u>	<u>0,02</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>	<u>0,12</u>	<u>0,11</u>	<u>0,10</u>
His	<u>0,06</u>	<u>0,40</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Ile	<u><0,01</u>	<u>0,27</u>	<u>0,25</u>	<u>0,18</u>	<u>0,19</u>	<u>0,16</u>	<u>0,39</u>	<u>0,42</u>
Leu	<u><0,01</u>	<u>0,33</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Lis	<u>0,01</u>	<u>0,47</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Manose	<u>0,66</u>	<u>0,86</u>	<u>0,16</u>	<u>0,06</u>	<u>0,18</u>	<u>0,45</u>	<u>0,15</u>	<u>0,19</u>
Met	<u>0,13</u>	<u>0,48</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
PD	<u><0,01</u>	<u>0,96</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Pro	<u><0,01</u>	<u>0,15</u>	<u>0,67</u>	<u>0,78</u>	<u>0,81</u>	<u>0,42</u>	<u>0,93</u>	<u>0,91</u>
PB	<u><0,01</u>	<u>0,75</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Ser	<u><0,01</u>	<u>0,90</u>	<u>0,53</u>	<u>0,60</u>	<u>0,69</u>	<u>0,76</u>	<u>0,69</u>	<u>0,67</u>
CT	<u>0,05</u>	<u><0,01</u>	<u>0,87</u>	<u>0,74</u>	<u>0,93</u>	<u>0,44</u>	<u>0,53</u>	<u>0,30</u>
CT(-gg)	<u>0,06</u>	<u>0,57</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,07</u>	<u>0,04</u>	<u>0,12</u>	<u>0,07</u>
Tau	<u><0,01</u>	<u>0,53</u>	<u>0,37</u>	<u>0,26</u>	<u>0,42</u>	<u>0,52</u>	<u>0,84</u>	<u>0,85</u>
Tir	<u>0,03</u>	<u>0,26</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>
Tre	<u><0,01</u>	<u>0,80</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>
Trp	<u>0,78</u>	<u>0,73</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>
Val	<u><0,01</u>	<u>0,62</u>	<u>0,69</u>	<u>0,58</u>	<u>0,47</u>	<u>0,35</u>	<u>0,51</u>	<u>0,43</u>
IAA	<u>0,02</u>	<u>0,98</u>	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>
ISA	<u>0,55</u>	<u>0,99</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>
Xilose	<u>0,62</u>	<u>0,54</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,05</u>	<u>0,06</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	H30(2)	H30(5)	H30(10)	HCEL	His	Ile	Leu	Lis
Asp	-0,51	-0,51	-0,64	-0,38	0,90	0,57	0,86	0,89
Glu	-0,50	-0,53	-0,64	-0,35	0,85	0,62	0,78	0,80
Ala	-0,51	-0,46	-0,56	-0,14	0,86	0,61	0,90	0,90
Amido	0,18	0,27	0,25	-0,55	-0,03	-0,11	0,03	0,08
Arabinose	0,25	0,31	0,29	0,35	-0,41	-0,06	-0,37	-0,54
Arg	-0,32	-0,30	-0,38	-0,20	0,76	0,81	0,82	0,79
CDA _{EB}	-0,46	-0,37	-0,33	-0,14	0,42	-0,02	0,36	0,54
CDA _{PB}	-0,57	-0,57	-0,57	-0,14	0,40	-0,16	0,23	0,39
Cinzas	0,01	0,04	0,14	0,38	-0,29	-0,48	-0,42	-0,22
Cis	0,06	0,02	0,02	-0,07	0,24	0,18	0,30	0,38
EB	-0,46	-0,47	-0,58	-0,36	0,59	0,50	0,68	0,69
ED	-0,57	-0,51	-0,53	-0,28	0,59	0,21	0,58	0,72
EE	-0,51	-0,45	-0,47	-0,12	0,50	0,47	0,58	0,64
ENN	0,38	0,34	0,43	0,05	-0,69	-0,57	-0,73	-0,76
FB	0,30	0,26	0,15	-0,04	-0,04	0,00	-0,04	-0,05
FDA	-0,20	-0,26	-0,33	0,44	0,15	0,02	0,19	0,08
FDN	0,06	0,02	-0,03	0,87	-0,16	-0,03	-0,07	-0,22
Fen	-0,38	-0,35	-0,47	-0,33	0,92	0,71	0,95	0,85
FAI	0,33	0,19	0,19	0,36	-0,43	-0,31	-0,49	-0,57
FAT	0,33	0,19	0,18	0,36	-0,42	-0,32	-0,49	-0,57
FAS	0,24	0,17	0,19	0,07	-0,25	-0,40	-0,39	-0,40
Frutose	-0,24	0,05	-0,13	-0,05	-0,08	-0,05	-0,10	-0,19
Galactose	-0,42	-0,40	-0,47	-0,57	0,69	0,30	0,53	0,63
GGA	0,07	0,08	0,22	0,06	-0,28	-0,05	-0,24	-0,22
Gli	-0,24	-0,17	-0,18	0,29	0,36	0,61	0,55	0,47
Glicose	0,17	0,24	0,22	-0,45	0,17	0,21	0,19	0,14
H24(2)	0,76	0,75	0,77	0,40	-0,76	-0,22	-0,58	-0,72
H24(5)	0,72	0,75	0,80	0,41	-0,75	-0,27	-0,57	-0,73

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	H30(2)	H30(5)	H30(10)	HCEL	His	Ile	Leu	Lis
H24(10)	0,69	0,72	0,81	0,39	-0,81	-0,26	-0,62	-0,74
H27(2)	0,82	0,82	0,83	0,30	-0,71	-0,27	-0,61	-0,68
H27(5)	0,83	0,85	0,92	0,31	-0,75	-0,17	-0,60	-0,66
H27(10)	0,81	0,87	0,91	0,31	-0,76	-0,16	-0,59	-0,69
H30(2)		0,94	0,86	0,25	-0,53	-0,04	-0,43	-0,53
H30(5)	<u><0,01</u>		0,93	0,26	-0,52	-0,06	-0,40	-0,52
H30(10)	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,22	-0,65	-0,09	-0,52	-0,60
HCEL	<u>0,19</u>	<u>0,20</u>	<u>0,28</u>		-0,37	-0,06	-0,27	-0,41
His	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>		0,51	0,91	0,94
Ile	<u>0,84</u>	<u>0,78</u>	<u>0,67</u>	<u>0,76</u>	<u>0,01</u>		0,72	0,52
Leu	<u>0,02</u>	<u>0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>0,17</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,88
Lis	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	
Manose	<u>0,16</u>	<u><0,01</u>	<u>0,12</u>	<u>0,13</u>	<u>0,31</u>	<u>0,12</u>	<u>0,23</u>	<u>0,40</u>
Met	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
PD	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,27</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Pro	<u>0,45</u>	<u>0,61</u>	<u>0,63</u>	<u>0,02</u>	<u>0,62</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>	<u>0,50</u>
PB	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,36</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Ser	<u>0,87</u>	<u>0,69</u>	<u>0,86</u>	<u>0,28</u>	<u>0,53</u>	<u><0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,65</u>
CT	<u>0,10</u>	<u>0,06</u>	<u>0,13</u>	<u>0,14</u>	<u>0,93</u>	<u>0,36</u>	<u>0,89</u>	<u>0,63</u>
CT(-gg)	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>	<u>0,12</u>	<u>0,05</u>	<u>0,02</u>	<u>0,61</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>
Tau	<u>0,58</u>	<u>0,54</u>	<u>0,60</u>	<u>0,56</u>	<u>0,14</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>
Tir	<u>0,09</u>	<u>0,09</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Tre	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>0,42</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
Trp	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,46</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>
Val	<u>0,97</u>	<u>0,89</u>	<u>0,93</u>	<u>0,36</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,04</u>
IAA	<u>0,10</u>	<u>0,09</u>	<u>0,06</u>	<u>0,39</u>	<u><0,01</u>	<u>0,05</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>
ISA	<u>0,14</u>	<u>0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>0,24</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>
Xilose	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	<u>0,07</u>	<u>0,03</u>	<u><0,01</u>	<u>0,48</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Manose	Met	PD	Pro	PB	Ser	CT	CT(-gg)
Asp	0,43	0,71	0,89	0,13	0,88	0,18	-0,07	-0,45
Glu	0,59	0,59	0,86	0,19	0,86	0,24	-0,01	-0,34
Ala	0,22	0,69	0,94	0,49	0,95	0,38	-0,22	-0,56
Amido	0,31	0,18	-0,15	-0,45	-0,16	-0,25	0,29	-0,41
Arabinose	-0,33	-0,71	-0,43	0,15	-0,29	0,21	0,49	0,74
Arg	0,46	0,57	0,87	0,48	0,93	0,51	-0,08	-0,37
CDA _{EB}	-0,68	0,54	0,56	0,04	0,33	-0,10	-0,41	-0,81
CDA _{PB}	-0,62	0,38	0,54	-0,10	0,22	-0,23	-0,42	-0,52
Cinzas	-0,79	-0,23	-0,15	0,17	-0,26	-0,21	-0,54	-0,15
Cis	-0,07	0,39	0,32	0,09	0,29	-0,01	-0,20	-0,33
EB	0,82	0,57	0,65	0,27	0,68	0,30	-0,14	-0,46
ED	-0,36	0,67	0,72	0,15	0,55	0,05	-0,38	-0,82
EE	0,44	0,49	0,60	0,45	0,64	0,31	-0,21	-0,46
ENN	-0,33	-0,52	-0,82	-0,57	-0,86	-0,41	0,28	0,49
FB	0,63	-0,12	-0,10	-0,10	-0,04	-0,05	0,16	0,12
FDA	0,00	-0,01	0,23	0,26	0,16	0,14	-0,45	0,02
FDN	-0,45	-0,29	-0,01	0,41	-0,03	0,21	-0,43	0,25
Fen	0,50	0,66	0,87	0,24	0,91	0,38	0,13	-0,35
FAI	-0,44	-0,43	-0,53	-0,26	-0,53	-0,23	0,13	0,65
FAT	-0,42	-0,43	-0,53	-0,27	-0,53	-0,24	0,13	0,66
FAS	0,25	-0,34	-0,38	-0,36	-0,42	-0,34	0,12	0,39
Frutose	0,70	-0,29	-0,30	-0,19	-0,16	-0,11	0,02	0,78
Galactose	0,65	0,43	0,54	-0,24	0,54	-0,12	0,09	-0,22
GGA	-0,09	-0,24	-0,23	-0,05	-0,22	-0,11	0,12	0,24
Gli	-0,21	0,29	0,64	0,87	0,72	0,67	-0,38	-0,36
Glicose	0,08	0,14	-0,01	-0,28	0,06	-0,02	0,87	-0,11
H24(2)	-0,60	-0,57	-0,64	0,08	-0,57	0,12	0,03	0,44
H24(5)	-0,73	-0,63	-0,65	0,06	-0,59	0,11	0,07	0,43

Anexo A - Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Manose	Met	PD	Pro	PB	Ser	CT	CT(-gg)
H24(10)	-0,57	-0,57	-0,70	0,05	-0,63	0,08	0,02	0,35
H27(2)	-0,34	-0,54	-0,70	-0,16	-0,63	-0,06	0,15	0,38
H27(5)	-0,60	-0,52	-0,68	0,02	-0,55	0,08	0,12	0,30
H27(10)	-0,57	-0,56	-0,68	-0,02	-0,56	0,08	0,20	0,34
H30(2)	-0,60	-0,40	-0,58	-0,15	-0,44	0,03	0,32	0,42
H30(5)	-0,95	-0,43	-0,56	-0,10	-0,41	0,08	0,37	0,40
H30(10)	-0,64	-0,44	-0,64	-0,10	-0,51	0,04	0,30	0,31
HCEL	-0,63	-0,45	-0,22	0,43	-0,18	0,21	-0,29	0,38
His	0,45	0,76	0,88	0,10	0,85	0,12	0,02	-0,44
Ile	0,64	0,43	0,61	0,54	0,77	0,69	0,18	-0,10
Leu	0,52	0,72	0,88	0,36	0,93	0,44	0,03	-0,43
Lis	0,38	0,86	0,88	0,13	0,86	0,09	-0,10	-0,60
Manose		0,38	0,28	-0,19	0,49	0,37	0,46	0,64
Met	<u>0,40</u>		0,70	-0,04	0,64	-0,02	-0,11	-0,57
PD	<u>0,55</u>	<u><0,01</u>		0,40	0,94	0,36	-0,23	-0,56
Pro	<u>0,69</u>	<u>0,86</u>	<u>0,03</u>		0,53	0,86	-0,34	-0,10
PB	<u>0,26</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,53	-0,10	-0,44
Ser	<u>0,41</u>	<u>0,91</u>	<u>0,06</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		-0,04	0,00
CT	<u>0,30</u>	<u>0,58</u>	<u>0,24</u>	<u>0,08</u>	<u>0,63</u>	<u>0,86</u>		0,37
CT(-gg)	<u>0,12</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,60</u>	<u>0,02</u>	<u>0,98</u>	<u>0,05</u>	
Tau	<u>0,97</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,11</u>	<u>0,02</u>
Tir	<u>0,19</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,55</u>	<u><0,01</u>	<u>0,25</u>	<u>0,93</u>	<u><0,01</u>
Tre	<u>0,14</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,62</u>	<u>0,04</u>
Trp	<u>0,06</u>	<u>0,24</u>	<u>0,01</u>	<u>0,92</u>	<u>0,03</u>	<u>0,74</u>	<u>0,25</u>	<u>0,01</u>
Val	<u>0,58</u>	<u>0,12</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,56</u>	<u>0,89</u>
IAA	<u>0,57</u>	<u>0,10</u>	<u><0,01</u>	<u>0,09</u>	<u><0,01</u>	<u>0,14</u>	<u>0,84</u>	<u>0,33</u>
ISA	<u>0,05</u>	<u>0,40</u>	<u>0,01</u>	<u>0,93</u>	<u><0,01</u>	<u>0,73</u>	<u>0,55</u>	<u>0,72</u>
Xilose	<u>0,42</u>	<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,31</u>	<u>0,06</u>	<u>0,34</u>	<u>0,05</u>	<u><0,01</u>

Anexo A Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Tau	Tir	Tre	Trp	Val	IAA	ISA	Xilose
Asp	0,45	0,89	0,80	0,57	0,34	-0,54	0,63	-0,55
Glu	0,39	0,85	0,79	0,59	0,34	-0,56	0,75	-0,41
Ala	0,58	0,81	0,89	0,38	0,58	-0,65	0,40	-0,46
Amido	-0,19	0,14	-0,16	0,16	-0,33	0,29	-0,39	-0,45
Arabinose	-0,24	-0,47	-0,28	-0,29	0,06	0,08	0,09	0,89
Arg	0,56	0,87	0,88	0,42	0,49	-0,63	0,59	-0,33
CDA _{EB}	0,28	0,42	0,29	0,29	-0,09	-0,11	-0,18	-0,64
CDA _{PB}	-0,13	0,32	0,17	0,37	-0,19	-0,18	0,14	-0,49
Cinzas	-0,04	-0,37	-0,34	-0,27	-0,04	-0,02	-0,21	0,10
Cis	0,11	0,36	0,22	-0,03	0,29	-0,45	0,07	-0,30
EB	0,57	0,69	0,69	0,64	0,18	-0,41	0,32	-0,42
ED	0,49	0,64	0,54	0,52	0,00	-0,27	0,01	-0,68
EE	0,59	0,48	0,66	0,25	0,23	-0,36	0,11	-0,29
ENN	-0,64	-0,68	-0,80	-0,31	-0,59	0,54	-0,40	0,32
FB	0,11	0,03	-0,05	0,01	0,13	0,20	0,09	0,03
FDA	0,07	0,03	0,18	0,32	0,20	-0,12	0,10	-0,07
FDN	0,12	-0,30	-0,01	-0,09	0,22	0,05	-0,09	0,23
Fen	0,39	0,85	0,87	0,41	0,56	-0,58	0,52	-0,44
FAI	-0,62	-0,56	-0,49	-0,38	-0,12	0,17	-0,04	0,43
FAT	-0,63	-0,56	-0,50	-0,39	-0,12	0,18	-0,03	0,44
FAS	-0,43	-0,35	-0,41	-0,28	-0,15	0,26	-0,08	0,25
Frutose	-0,32	-0,21	-0,15	0,24	-0,24	0,16	0,15	-0,09
Galactose	0,02	0,68	0,43	0,63	0,09	-0,43	0,69	-0,49
GGA	-0,26	-0,08	-0,22	0,02	-0,02	0,11	0,04	0,29
Gli	0,67	0,40	0,71	0,06	0,57	-0,45	0,12	-0,10
Glicose	-0,14	0,22	0,05	-0,07	0,10	0,00	0,00	0,12
H24(2)	-0,21	-0,60	-0,48	-0,53	-0,08	0,39	-0,48	0,42
H24(5)	-0,27	-0,60	-0,52	-0,46	-0,11	0,39	-0,54	0,42

Anexo A Coeficientes e valores de p (na diagonal inferior e sublinhados) das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas nas rações comerciais

(Continuação)

	Tau	Tir	Tre	Trp	Val	IAA	ISA	Xilose
H24(10)	-0,18	-0,62	-0,53	-0,45	-0,14	0,43	-0,59	0,38
H27(2)	-0,15	-0,50	-0,58	-0,42	-0,18	0,46	-0,45	0,35
H27(5)	-0,05	-0,50	-0,50	-0,48	-0,13	0,40	-0,51	0,40
H27(10)	-0,04	-0,52	-0,50	-0,48	-0,15	0,50	-0,51	0,41
H30(2)	-0,13	-0,32	-0,40	-0,54	0,01	0,32	-0,28	0,32
H30(5)	-0,14	-0,33	-0,39	-0,56	0,03	0,34	-0,40	0,32
H30(10)	-0,13	-0,44	-0,47	-0,61	-0,02	0,37	-0,49	0,36
HCEL	0,13	-0,50	-0,16	-0,41	0,18	0,17	-0,23	0,41
His	0,33	0,86	0,78	0,44	0,46	-0,61	0,52	-0,52
Ile	0,59	0,66	0,84	0,14	0,60	-0,38	0,36	-0,14
Leu	0,49	0,85	0,91	0,42	0,62	-0,57	0,39	-0,46
Lis	0,52	0,90	0,79	0,43	0,40	-0,54	0,42	-0,59
Manose	-0,02	0,56	0,62	0,74	0,25	-0,26	0,75	-0,37
Met	0,54	0,76	0,63	0,23	0,30	-0,32	0,17	-0,66
PD	0,51	0,85	0,88	0,50	0,45	-0,61	0,49	-0,50
Pro	0,63	0,12	0,59	0,02	0,51	-0,32	0,02	0,20
PB	0,61	0,85	0,96	0,42	0,61	-0,65	0,52	-0,36
Ser	0,62	0,23	0,64	0,07	0,51	-0,29	0,07	0,19
CT	-0,36	0,02	-0,10	-0,23	0,12	0,04	0,12	0,38
CT(-gg)	-0,50	-0,53	-0,39	-0,48	0,03	0,19	0,07	0,66
Tau		0,50	0,69	0,13	0,32	-0,10	0,04	-0,15
Tir	<u>0,02</u>		0,80	0,55	0,38	-0,53	0,53	-0,56
Tre	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>		0,36	0,62	-0,55	0,41	-0,36
Trp	<u>0,58</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>		-0,04	-0,33	0,49	-0,45
Val	<u>0,16</u>	<u>0,04</u>	<u><0,01</u>	<u>0,84</u>		-0,55	0,27	0,08
IAA	<u>0,67</u>	<u><0,01</u>	<u><0,01</u>	<u>0,08</u>	<u><0,01</u>		-0,64	0,15
ISA	<u>0,88</u>	<u><0,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,17</u>	<u><0,01</u>		-0,05
Xilose	<u>0,53</u>	<u><0,01</u>	<u>0,06</u>	<u>0,02</u>	<u>0,70</u>	<u>0,44</u>	<u>0,79</u>	

Asp: Acido Aspártico; Glu: Acido glutâmico; Ala: Alanina; Arg: Arginina; CDA_{EB}: Coeficiente de digestibilidade aparente da energia; CDA_{PB}: Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína; Cis: Cistina; EB: Energia bruta; ED: Energia digestível; EE: Extrato etéreo; ENN: Extrato não nitrogenado; FB: Fibra bruta; FDA: Fibra detergente ácido; FDN: Fibra detergente neutro; Fen: Fenilalanina; FAI: Fibra alimentar insolúvel; FAT: Fibra alimentar total; FAS: Fibra alimentar solúvel; GGA: Grau de gelatinização do amido. Gli: Glicina; HX1(X2): Hidroestabilidade sendo que X1 corresponde à temperatura da água e X2 corresponde à duração da imersão. HCEL: Hemicelulose; His: Histidina; Ile: Isoleucina; Leu: Leucina; Lis: Lisina; Met: Metionina; PD: Proteína digestível; Pro: Prolina; PB: Proteína bruta; Ser: Serina; CT: Carboidratos totais; CT(-gg): Carboidratos totais excluindo glicose e galactose; Tau: Taurina; Tir: Tirosina; Tre: Treonina; Trp: Triptofano; Val: Valina; IAA: Índice de absorção de água; ISA: Índice de solubilidade em água.

Anexo B

Representação esquemática do respirômetro DAQ-PAC-F1, Loligo Systems, Denmark (www.loligosystems.com)

Equipamento de respirometria em funcionamento.