

Crescimento de juvenis de *Piaractus brachypomus* alimentados com dietas contendo diferentes perfis de aminoácidos essenciais

Wálter Vásquez-Torres⁽¹⁾ e José Alfredo Arias-Castellanos⁽¹⁾

⁽¹⁾Instituto de Acuicultura, Universidad de los Llanos, Km 12, Via Puerto López, Villavicencio, Meta, Colombia. E-mail: wvasquez@unal.edu.co, jaarias@hotmail.com

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de dietas com diferentes perfis de aminoácidos essenciais (AAE) sobre a eficiência de utilização de nutrientes e o crescimento de juvenis de pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Utilizaram-se caseína e gelatina como fontes de proteína, tendo-se formulado nove dietas com concentração de caseína entre 0 e 35%, com incrementos de 4,4% e concomitante diminuição da proporção de gelatina. Determinou-se o perfil de aminoácidos da caseína, da gelatina e de amostras de tecidos do corpo inteiro de juvenis de pirapitinga. Os níveis dietéticos de caseína apresentaram efeito quadrático positivo sobre as variáveis zootécnicas. O escore químico entre o perfil de aminoácidos essenciais das proteínas corpóreas e o perfil das dietas experimentais mostrou que, nas rações com 31,6 e 35% de caseína, o conteúdo de arginina torna-se limitante. O perfil de aminoácidos corporais da pirapitinga foi similar ao padrão de aminoácidos descrito para teleósteos. O perfil de aminoácidos obtido com a mistura de caseína e gelatina à proporção de 8:1 se aproxima do requerido para o crescimento de juvenis de *Piaractus brachypomus*.

Termos para indexação: caseína, eficiência de uso de nutrientes, escore químico, exigência de aminoácidos, gelatina, pirapitinga.

Growth of juvenile *Piaractus brachypomus* fed diets containing different profiles of essential amino acids

Abstract – The objective of this work was to determine the effect of diets with different profiles of essential amino acids (EAA) on nutrient use efficiency and growth of juvenile pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Casein and gelatin were used as protein sources, and nine diets were formulated with casein concentration between 0 and 35%, with 4.4% increments and concomitant reduction of gelatin proportion. The amino acid profile of casein, gelatin, and tissue samples from the whole body of juvenile pirapitinga was determined. Dietary levels of casein showed a positive quadratic effect on zootechnical variables. The chemical score between the amino acid profile of body protein and the profile of experimental diets showed that in diets with 31.6 and 35% casein, arginine content becomes limiting. The profile of body amino acids of pirapitinga was similar to the pattern described for teleosts. The amino acid profile obtained with the mixture of casein and gelatin at the ratio of 8:1 is close to the one required for growth of juvenile *Piaractus brachypomus*.

Index terms: casein, nutrient use efficiency, chemical score, amino acid requirement, gelatin, pirapitinga.

Introdução

Dietas com quantidades insuficientes de proteína ou deficientes em aminoácidos essenciais podem reduzir ou paralisar o crescimento, ou até mesmo causar perda de peso, como resultado do gasto de proteína de tecidos corporais secundários utilizada para manter o funcionamento de órgãos e tecidos vitais (Wilson, 2002). Em termos práticos, na formulação de dietas completas para peixes, é necessário que se conheçam as exigências quantitativas de cada um dos dez aminoácidos essenciais (AAE) (Peres & Oliva-Teles, 2009). Estudos sobre necessidades qualitativas de

aminoácidos indicam que, além dos aminoácidos essenciais aos demais vertebrados (Lovell, 1998; Wilson, 2002), os peixes também necessitam da arginina, aminoácido não sintetizado em quantidades suficientes (Boisen et al., 2000).

As exigências quantitativas para os dez AAE têm sido determinadas para poucas espécies, entre elas carpa (*Cyprinus carpio*), tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Green et al., 2002), bagre norte-americano (*Ictalurus punctatus*) e salmão (*Oncorhynchus* spp.) (National Research Council, 1993), em experimentos nos quais os peixes são alimentados com dietas elaboradas com

ingredientes semipurificados – como caseína e gelatina (Gurure et al., 2007) –, com misturas de aminoácidos cristalinos (Alam et al., 2002) ou com ingredientes comuns, como glúten, farinha de peixe e de soja (Rodehutschord et al., 2000; Peres & Oliva-Teles, 2006; Ambardekar et al., 2009). Independentemente dos ingredientes utilizados, as dietas são elaboradas com perfil de AAE similar ao de músculo, ovos ou carcaça do peixe em questão (Abidi & Khan, 2007). Normalmente, há elevada correlação entre o requerimento dietético e o perfil de AAE das proteínas corporais (Kaushik, 1998; Wilson, 2002).

Para que se possa determinar, experimentalmente, o requerimento de um aminoácido em particular, deve-se formular dietas experimentais balanceadas para todos os AAE, com exceção do aminoácido em estudo, o qual é adicionado em níveis graduais nas dietas. Esse procedimento permite a construção de curva de resposta, a partir da qual é possível determinar o nível de exigência para máximo crescimento (Montes-Girao & Fracalossi, 2006; Abidi & Khan, 2007; Zhou et al., 2008). Como há elevada correlação entre as proporções relativas de AAE individuais determinadas desta forma e as proporções relativas dos mesmos AAE nos tecidos corporais, é possível determinar o perfil aproximado de AAE necessário em dietas para novas espécies de interesse à aquicultura a partir do padrão de AAE em seus tecidos corporais (Gurure et al., 2007).

Investigações sobre exigências de nutrientes em dietas para crescimento são escassas para espécies neotropicais. Para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Abimorad et al. (2009), Bicudo & Cyrino (2009) e Ozório et al. (2010) estudaram o efeito do perfil de aminoácidos da dieta sobre o crescimento e a eficiência de retenção de nutrientes. Abimorad et al. (2007) avaliou o uso de fontes de energia não proteica em dietas para pacu e para tambaqui (*Colossoma macropomum*). Recentemente, foram determinadas as exigências de proteína, de carboidratos e de lipídios em dietas para crescimento (Vásquez-Torres & Arias-Castellanos, 2011, 2012) para pirapitinga (*Piaractus brachypomus*, Cuvier, 1818), espécie do mesmo grupo dessas outras, com elevada expressão comercial na Colômbia (Espinal et al., 2005; Pesca y acuicultura de Colombia, 2010). No entanto, ainda são necessárias mais informações sobre o efeito de dietas com diferentes perfis de AAE no crescimento da espécie.

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de dietas com diferentes perfis de aminoácidos essenciais sobre a eficiência de utilização de nutrientes e o crescimento de juvenis de pirapitinga.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório Experimental de Alimentação e Nutrição de Peixes do Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), Villavicencio, Meta, Colômbia (4°04'24"N e 73°34'56"W). Foram utilizados 540 juvenis de *Piaractus brachypomus* de 10,8±1,2 g de peso médio, distribuídos ao acaso em grupos de 20 indivíduos (nove tratamentos com três repetições), em 27 tanques de 500 L; o sistema tinha aeração e fluxo de água contínuos, com passagem por filtro mecânico-biológico (3–4 L min⁻¹). As variáveis físicas e químicas da água foram monitoradas duas vezes por semana com uso de sonda digital multiparamétrica YSI 556 (YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, EUA). Os valores médios observados foram: temperatura, 26,1±0,9°C; pH, 7,1±0,4; oxigênio dissolvido, 4,7 mg L⁻¹; dureza, 40–80 g L⁻¹ de CaCO₃; e amônia, menor que 0,02 mg L⁻¹.

Durante 60 dias, os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (às 9 e às 16h), até saciedade aparente, tendo-se registrado o consumo diário de ração. Os animais foram pesados individualmente, no início e no final do experimento. Da população inicial, foram retirados aleatoriamente 20 indivíduos, para as análises da composição proximal e da composição de aminoácidos das proteínas do corpo do peixe. No final do experimento, após 24 horas de jejum, dez espécimes de cada repetição (30 por tratamento) foram utilizados para determinação da composição proximal corporal. Os animais foram sacrificados por imersão em água gelada e, em seguida, triturados, liofilizados e armazenados (-17°C) em embalagens de plástico herméticas, até a realização das análises.

Foram formuladas nove dietas idênticas quanto à composição de ingredientes, com exceção dos níveis das fontes proteicas caseína e gelatina (dietas 1 a 9). Como protótipo das dietas experimentais, foi utilizada a dieta referência semipurificada proposta por Vásquez-Torres et al. (2002). Para gerar alterações nos conteúdos de AAE, variou-se a concentração da caseína entre 0 e 35%, com incrementos de 4,4% por

dieta e diminuição concomitante da gelatina na mesma proporção (Tabela 1), conforme Murai et al. (1984). A composição de aminoácidos está descrita nas duas fontes de proteína (Tabela 2).

A composição proximal das dietas e da carcaça foi analisada nos laboratórios da IALL, conforme metodologias padrão da AOAC (Cunniff, 1995). A composição de aminoácidos da caseína, da gelatina e das amostras de tecidos corporais dos peixes foi determinada no laboratório Degussa-Hüls, Frankfurt, Alemanha. As percentagens teóricas de AAE das dietas experimentais foram calculadas a partir dos teores da proteína analisada e dos resultados de composição de AAE da caseína e da gelatina. Com os dados das proporções de aminoácidos nas dietas e da proteína de referência, foi calculado o escore químico: $SQ = 100 \times AAE_D / AAE_{PR}$, em que AAE_D é o conteúdo de AAE na dieta e AAE_{PR} é o conteúdo nas amostras de tecidos do corpo inteiro dos juvenis de pirapitinga alimentados com a proteína de referência.

Os dados de peso inicial e final, de consumo de alimento e de composição da carcaça foram utilizados

para calcular: ganho de peso, $GP (g) = P_f - P_i$, em que P_f é o peso final e P_i é o peso inicial; taxa de crescimento específico, $TCE (\% \text{ por dia}) = 100 \times (\ln P_f - \ln P_i) / \text{número de dias}$; conversão alimentar aparente, $CAA = \text{alimento ingerido (g)} / GP (g)$; eficiência de utilização de proteína, $PER = GP (g) / \text{proteína consumida (g)}$; taxa de retenção de proteína, $PPV (\%) = 100 \times (\text{ganho de proteína corporal} / \text{proteína consumida})$; e taxa de retenção de energia, $RE (\%) = 100 \times (\text{ganho de energia corporal} / \text{energia consumida})$.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com nove tratamentos e três repetições. Os dados relativos às variáveis zootécnicas foram submetidos à análise de regressão, com uso dos níveis de caseína como variável independente. Os dados de composição proximal da carcaça (média±erro-padrão) foram submetidos à análise de variância de uma via, e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o programa Systat for Windows, versão 10.2 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

Tabela 1. Proporção (%) de ingredientes utilizados, composição centesimal analisada e proporções calculadas de aminoácidos essenciais nas dietas experimentais.

Variável	Dieta								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Proporção de ingredientes								
Caseína (%)	0,0	4,40	8,80	13,1	17,5	21,9	26,2	30,6	35,0
Gelatina (%)	35,0	30,6	26,2	21,9	17,5	13,1	8,8	4,4	0,0
Outros (%) ⁽¹⁾	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Composição centesimal								
Proteína (%) ⁽²⁾	35,1	35,5	33,9	32,4	31,5	33,2	31,2	29,1	27,2
Extrato etéreo (%)	5,4	5,5	5,4	5,6	4,9	5,5	6,0	5,8	6,1
Cinzas (%)	3,7	4,1	3,9	4,2	4,3	3,78	4,0	3,8	3,4
Energia bruta (kcal por 100 g) ⁽³⁾	455,7	461,9	476,3	479,9	458,6	493,2	528,4	498,3	514,9
	Composição de aminoácidos essenciais (%)								
Metionina	0,32	0,41	0,48	0,54	0,60	0,72	0,75	0,77	0,79
Lisina	1,34	1,54	1,65	1,75	1,87	2,15	2,18	2,19	2,19
Treonina	0,66	0,76	0,83	0,88	0,95	1,09	1,11	1,12	1,13
Arginina	2,90	2,71	2,39	2,09	1,84	1,74	1,45	1,17	0,93
Isoleucina	0,53	0,69	0,81	0,92	1,03	1,23	1,29	1,33	1,37
Leucina	1,06	1,35	1,56	1,75	1,95	2,31	2,42	2,49	2,54
Valina	0,83	1,03	1,16	1,27	1,40	1,65	1,72	1,75	1,78
Histidina	0,25	0,36	0,45	0,52	0,60	0,73	0,78	0,82	0,84
Fenilalanina	0,73	0,87	0,95	1,03	1,12	1,30	1,34	1,35	1,37
Triptofano ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	8,62	9,80	10,39	10,92	11,58	13,22	13,37	13,36	13,32

⁽¹⁾Dextrina 30%, óleo de peixe 3%, óleo vegetal 3%, carboximetilcelulose 6,8%, celulose 18%, ácido ascórbico 0,03%; pré-misturas: vitaminas 0,1%, microminerais 0,05%, macrominerais 4,02% (Vásquez-Torres et al., 2002). ⁽²⁾Média de três amostras. ⁽³⁾Energia bruta determinada em bomba calorimétrica adiabática Parr 121AE (Parr Instruments, Moline, IL, EUA). ⁽⁴⁾Não determinado.

Resultados e Discussão

O ganho de peso (GP) e a taxa de crescimento específico (TCE) correlacionaram-se positivamente com o incremento nos níveis de caseína das dietas (Tabela 3). Os peixes alimentados com a dieta 9 (35% de caseína) apresentaram o maior valor de GP, que não diferiu significativamente dos valores obtidos com a dieta 8. A partir dos dados da TCE, calculou-se em 30% o nível de caseína para que o máximo crescimento fosse atingido (Figura 1). A correlação positiva entre GP e

teor de caseína na dieta é coerente com os resultados obtidos com outras espécies de peixes. Ogata et al. (1983) demonstraram que, apesar de a caseína ser uma proteína de alta qualidade, seu perfil é deficiente em alguns AAE requeridos para o máximo crescimento de salmão. Twibell et al. (2003) testaram a mistura 5:1 de caseína:gelatina, suplementada com AAE cristalinos, e obtiveram resultados de GP similares aos obtidos com dietas que continham farinha de peixe como fonte única de proteína. Takeshi et al. (2000) avaliaram uma dieta composta por caseína e gelatina em proporção 6:1, similar à utilizada na dieta 8, e consideraram a mistura balanceada em AAE, com perfil adequado para atender às exigências para máximo crescimento da truta.

A maioria dos AAE avaliados apresentou baixos escores químicos nas dietas experimentais 1 a 4, com conteúdo de caseína menor que 17,5%. Isso indica que essas dietas foram deficientes em praticamente todos os AAE (Tabela 4). Na dieta 5, os AAE limitantes (SQ<100) foram metionina, treonina, arginina e isoleucina; enquanto, na dieta 9, somente a arginina foi limitante. Este resultado está de acordo com os dados de crescimento obtidos, que melhoraram à medida que o perfil de AAE das dietas se aproximou do padrão ideal de AAE, fundamentado no perfil dos tecidos da espécie. Resultados semelhantes têm sido observados em outras espécies de peixes (Twibell et al., 2003; Hart et al., 2010).

Para que a síntese proteica ocorra nos tecidos, os peixes necessitam de aminoácidos essenciais e não essenciais em proporções específicas (Peres & Oliva-Teles, 2006). Além disso, é fundamental que todos os aminoácidos estejam disponíveis em

Tabela 2. Composição analisada de aminoácidos da caseína e da gelatina.

Aminoácido	Proteína	
	Caseína	Gelatina
Metionina	2,91	0,92
Cisteína	0,47	0,09
Lisina	8,06	3,81
Treonina	4,14	1,87
Arginina	3,43	8,25
Isoleucina	5,02	1,52
Leucina	9,34	3,02
Valina	6,54	2,37
Histidina	3,10	0,72
Fenilalanina	5,02	2,07
Glicina	1,88	22,89
Serina	5,53	3,43
Prolina	11,56	14,72
Alanina	3,03	9,75
Asparagina	7,15	5,94
Glutamina	21,73	10,67
Hidroxiprolina	-	12,72
Hidroxilisina	-	1,08

Tabela 3. Efeito das dietas experimentais sobre ganho de peso, taxa de crescimento específico, conversão alimentar aparente, taxa de eficiência proteica, e retenção de proteína e de energia⁽¹⁾.

Dieta	Ganho de peso (g)	Crescimento específico (% por dia)	Conversão alimentar	Eficiência proteica	Retenção de proteína (%)	Retenção de energia (%)
1	0,15±1,20	0,02±0,01	>15,00	0,04±0,30	<1,0	3,3±0,43
2	1,24±1,41	0,18±0,08	7,74±2,70	0,30±0,13	5,9±1,70	7,7±1,15
3	4,10±1,80	0,52±0,11	3,60±0,50	0,90±0,05	18,2±4,34	16,7±3,41
4	12,0±1,22	1,2±0,05	1,87±0,10	1,78±0,04	34,0±2,85	29,9±2,31
5	19,5±3,31	1,7±0,18	1,53±0,10	2,30±0,21	37,5±4,91	31,8±3,92
6	20,2±1,74	1,7±0,12	1,44±0,20	2,33±0,13	38,6±4,41	32,4±3,56
7	24,6±6,26	1,9±0,19	1,17±0,20	2,95±0,39	55,3±14,3	37,7±9,91
8	28,7±3,58	2,1±0,14	1,16±0,03	3,08±0,09	52,4±4,30	37,2±0,63
9	29,0±3,47	2,1±0,15	1,17±0,02	3,39±0,03	56,6±11,21	36,9±0,92

⁽¹⁾Média±erro-padrão.

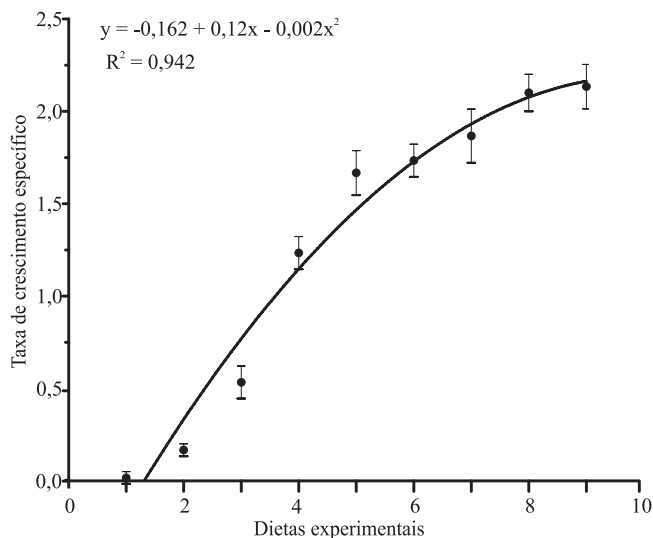


Figura 1. Taxa de crescimento específico de juvenis de pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) em função dos níveis de caseína utilizados (0 a 35%, com acréscimos de 4,4% em cada dieta), representados pelas diferentes dietas experimentais. As barras representam o erro-padrão da estimativa.

quantidades e proporções requeridas pelo animal (National Research Council, 1993). Se esse equilíbrio não for adequado, seja por desbalanço em AAE, seja por reduzida disponibilidade biológica, a síntese proteica é prejudicada. No caso de haver AAE em excesso, estes serão catabolizados para produção de energia, com conseqüente excreção de amônia (Yang et al., 2002). Segundo Peres & Oliva-Teles (2009), para melhorar a utilização de proteína e reduzir a excreção de amônia, as dietas devem conter perfil ótimo de AAE. A insuficiência dietética de um ou mais AAE causa redução do crescimento e utilização deficiente dos demais nutrientes (Alam et al., 2002; Abidi & Khan, 2007; Zhou et al., 2008; Abimorad et al., 2009; Peres & Oliva-Teles, 2009).

Nas dietas 1 a 5, os valores do SQ foram menores que 100 para todos os AAE, exceto arginina (Tabela 4). De forma contrária, para as rações 7 e 8, somente a arginina foi limitante (SQ<100). Esses resultados corroboram os obtidos por Tesser et al. (2005), que observaram melhor desempenho de juvenis de pacu com dietas à base de gelatina e caseína, suplementadas com arginina.

Tabela 4. Composição de aminoácidos essenciais (AAE) e escore químico (SQ⁽¹⁾) das dietas experimentais.

Dieta	Metionina	Lisina	Treonina	Arginina	Isoleucina	Leucina	Valina	Histidina	Fenilalanina	Triptofano
Composição de aminoácidos essenciais (% da proteína bruta)										
1	0,92	3,81	1,87	8,25	1,52	3,02	2,37	0,72	2,07	-
2	1,17	4,34	2,15	7,65	1,96	3,81	2,89	1,02	2,44	-
3	1,42	4,87	2,44	7,05	2,40	4,60	3,41	1,32	2,81	-
4	1,67	5,40	2,72	6,44	2,83	5,39	3,93	1,61	3,18	-
5	1,92	5,94	3,01	5,84	3,27	6,18	4,46	1,91	3,55	-
6	2,16	6,47	3,29	5,24	3,71	6,97	4,98	2,21	3,91	-
7	2,41	7,00	3,57	4,64	4,15	7,76	5,50	2,51	4,28	-
8	2,66	7,53	3,86	4,03	4,58	8,55	6,02	2,80	4,65	-
9	2,91	8,06	4,14	3,43	5,02	9,34	6,54	3,10	5,02	-
Composição em amostras dos tecidos de juvenis de pirapitinga										
AAE tecido	2,21	6,44	3,97	5,76	3,73	6,70	4,40	1,98	3,70	-
Escore químico das diferentes dietas										
SQ dieta 1	41,6	59,2	47,1	143,2	40,8	45,1	53,9	36,4	55,9	-
SQ dieta 2	52,9	67,4	54,3	132,8	52,5	56,9	65,7	51,4	65,9	-
SQ dieta 3	64,1	75,7	61,4	122,3	64,2	68,7	77,6	66,4	75,9	-
SQ dieta 4	75,4	83,9	68,5	111,8	75,9	80,4	89,4	81,4	85,8	-
SQ dieta 5	86,7	92,2	75,7	101,4	87,7	92,2	101,3	96,5	95,8	-
SQ dieta 6	97,9	100,4	82,8	90,9	99,4	103,6	112,6	111,5	106,9	-
SQ dieta 7	109,2	108,7	90,0	80,5	111,1	115,3	124,4	126,5	117,0	-
SQ dieta 8	120,4	116,9	97,1	70,0	122,9	127,0	136,2	141,5	127,1	-
SQ dieta 9	131,7	125,2	104,3	59,5	134,6	138,8	148,0	156,6	137,2	-

⁽¹⁾SQ = (AAE dieta/AAE tecido)×100.

O conteúdo total de AAE nas dietas 1 a 5 variou de 8,62 a 11,58% da proteína e apresentou perfil desbalanceado em comparação à proteína de referência. Os peixes alimentados com essas dietas, além do reduzido crescimento, apresentaram baixas taxas de eficiência proteica e de retenção de proteína. Alguns indivíduos alimentados com as dietas 1 e 2 (altamente desbalanceadas) chegaram a perder peso durante o período experimental. Esse resultado é indicativo de que parte da proteína dos próprios tecidos foi consumida para sustentar o metabolismo básico. Em experimento com carpa da Índia, Abidi & Khan (2007) observaram baixa proteína corporal em peixes alimentados com dietas contendo baixos níveis de leucina. Além do uso de proteína corporal como fonte de energia, o desequilíbrio dietético quanto às proporções de AAE pode gerar antagonismos ou toxicidade por excesso de alguns deles, o que é refletido num crescimento baixo ou nulo (Lovell, 1998; Abidi & Khan, 2007).

O consumo de ração variou de 21,7 a 16,1 g kg⁻¹ por dia, nas dietas 1 e 9, respectivamente. Aparentemente, os peixes tentaram compensar deficiências de AAE pelo aumento no consumo, o que estaria de acordo com o comportamento descrito para outros peixes em condições de insuficiência dietética de AAE (Montes-Girao & Fracalossi, 2006) e de outros nutrientes básicos para o crescimento (Peres & Oliva-Teles, 2006). A conversão alimentar aparente foi melhor nas dietas 8 e 9 (Tabela 3). Os peixes alimentados com as dietas 1 e 2 (0 e 4,4 de caseína), por terem apresentado os maiores consumos (21,7 e 18,4 g kg⁻¹ por dia de MS) e os menores ganhos de peso durante o experimento, tiveram índices de conversão muito ruins. Conceição et al. (1998) relataram que

o incremento na taxa metabólica e de oxidação de aminoácidos piora a conversão alimentar em dietas desequilibradas em AAE. A caseína, considerada proteína de alta digestibilidade (Lovell, 1998), favorece a obtenção de boa conversão alimentar aparente (Elangovan & Shim, 1997).

A taxa de eficiência proteica foi mais bem descrita por um modelo quadrático positivo ($y = -0,127 + 0,151x - 0,001x^2$; $R^2=0,96$). A retenção de proteína teve comportamento semelhante ($y = -2,571 + 2,839x - 0,033x^2$; $R^2=0,87$) e mostrou valor negativo, nos peixes do tratamento 1 (0 de caseína), que aumentou gradativamente até a dieta 9 (Tabela 3). Com o incremento no nível de caseína nas dietas, a retenção de energia também aumentou até o nível de inclusão presente na dieta 8; porém, na dieta 9, a retenção de energia diminuiu ($y = -1,160 + 2,383x - 0,039x^2$; $R^2=0,852$). Peres & Oliva-Teles (2006) obtiveram resultados semelhantes em lubina (*Dicentrarchus labrax*).

A variação na proporção e no conteúdo de AAE das dietas experimentais não teve grande efeito sobre a composição proximal da carcaça. Os peixes alimentados com dietas deficientes em AAE apresentaram menores teores de lipídios, energia bruta, umidade e cinzas em suas carcaças (Tabela 5). Quando o conteúdo de caseína nas dietas foi maior que 13,1%, a composição da carcaça tendeu à homogeneidade para todos os nutrientes, incluindo a proteína. Resultados similares foram observados por Peres & Oliva-Teles (2006) e Abidi & Khan (2007).

Os valores obtidos para composição de aminoácidos no corpo inteiro de *P. brachypomus* situam-se dentro das faixas descritas para espécies do mesmo grupo,

Tabela 5. Composição centesimal da carcaça dos peixes e das dietas⁽¹⁾.

Tratamento	Matéria seca (MS) (%)	Proteína bruta -----(% da MS)-----	Extrato etéreo -----(% da MS)-----	Cinzas -----	Energia bruta (kcal por 100 g)
Carcaça inicial	21,7	59,4	27,3	13,0	526,4
Dieta 1	23,9±0,8a	52,3±0,7	29,7±2,3a	16,2±1,6a	542,1±31,3a
Dieta 2	25,6±0,4ac	53,0±2,3	27,3±2,0ab	17,0±1,0ab	530,5±12,2ab
Dieta 3	26,8±0,9acd	54,9±2,0	28,7±2,9abc	15,5±0,9ab	568,4±22,4ab
Dieta 4	31,0±3,4bd	51,7±1,5	34,3±2,1ac	12,1±0,1a	590,8±1,8ab
Dieta 5	29,6±0,8bcd	51,9±2,7	32,3±1,6ac	13,4±1,7ab	586,6±14,6ab
Dieta 6	29,8±0,5bcd	51,3±1,7	32,7±1,4ac	13,7±1,4ab	584,8±5,9ab
Dieta 7	32,0±2,4b	52,9±0,5	32,4±1,2ac	13,0±1,0ab	594,5±2,8a
Dieta 8	30,4±0,07bcd	51,7±3,2	33,7±1,8ac	12,8±0,5ab	593,6±16,1a
Dieta 9	30,2±0,3bcd	50,9±1,4	32,8±1,1ac	14,0±1,7ab	587,1±14,1ab

⁽¹⁾Médias±erro-padrão seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

como *P. mesopotamicus* (Machado, 1989), *Colossoma macropomum* (Van Der Meer & Verdegem, 1996) e *Rhamdia quelen* (Montes-Girao & Fracalossi, 2006). As pequenas discrepâncias observadas entre as proporções de lisina e leucina, maiores na proteína do filé do pacu, podem ser explicadas pelas diferenças nos padrões de aminoácidos dos tecidos de partes distintas do corpo (Ogata et al., 1983). O perfil de aminoácidos do corpo todo de *P. brachypomus* pode ser considerado semelhante ao padrão médio de aminoácidos calculado para teleosteos (Kaushik, 1998).

Conclusão

O perfil de aminoácidos de dietas com mistura de caseína e gelatina, em proporção não inferior a 8:1, se aproxima do requerido para o bom crescimento de juvenis de *Piaractus brachypomus*.

Agradecimentos

Ao Instituto de Investigaciones da Orinoquia Colombiana (IIOC) da Universidad de los Llanos (IALL), ao Departamento Administrativo de Ciência, Tecnologia e Inovação da Colômbia (Colciencias), ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Referências

- ABIDI, S.F.; KHAN, M.A. Dietary leucine requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). **Aquaculture Research**, v.38, p.478-486, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01687.x.
- 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**, v.295, p.266-270, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.07.001.
- ALAM, M.S.; TESHIMA, S.-I.; ISHIKAWA, M.; KOSHIO, S. Effects of dietary arginine and lysine levels on growth performance and biochemical parameters of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fisheries Science**, v.68, p.509-516, 2002. DOI: 10.1046/j.1444-2906.2002.00455.x.
- AMBARDEKAR, A.A.; REIGH, R.C.; WILLIAMS, M.B. Absorption of amino acids from intact dietary proteins and purified amino acid supplements follows different time-courses in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.291, p.179-187, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.02.044.
- BICUDO, Á.J. de A.; CYRINO, J.E.P. Estimating amino acid requirement of Brazilian freshwater fish from muscle amino acid profile. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.40, p.818-823, 2009. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2009.00303.x.
- BOISEN, S.; HVELPLUND, T.; WEISBJERG, M.R. Ideal amino acids profiles as a basis for feed protein evaluation. **Livestock Production Science**, v.64, p.239-251, 2000. DOI: 10.1016/S0301-6226(99)00146-3.
- CONCEIÇÃO, L.E.C.; OZÓRIO, R.O.A.; SUURD, E.A.; VERRETH, J.A.J. Amino acid profiles and amino acid utilization in larval African catfish (*Clarias gariepinus*): effects of ontogeny and temperature. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.19, p.43-57, 1998. DOI: 10.1023/A:1007738228055.
- CUNIFF, P. (Ed.). **Official methods of analysis of AOAC International**. 16th ed. Gaithersburg: AOAC International, 1995. 2v.
- ELANGOVAN, A.; SHIM, K.F. Growth response of juvenile *Barbodes altus* fed isocaloric diets with variable protein levels. **Aquaculture**, v.158, p.321-329, 1997. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00199-3.
- ESPINAL, C.; MARTÍNEZ, H.; GONZÁLEZ, F. **La cadena piscícola en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005**. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005. 46p. (Documento de trabajo, 106).
- GREEN, J.A.; HARDY, R.W.; BRANNON, E.L. The optimum dietary essential: nonessential amino acid ratio for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), which maximizes nitrogen retention and minimizes nitrogen excretion. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.27, p.109-115, 2002. DOI: 10.1023/B:FISH.0000021877.49848.8f.
- GURURE, R.; ATKINSON, J.; MOCCIA, R.D. Amino acid composition of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.) and the prediction of dietary requirements for essential amino acids. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p.266-272, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00473.x.
- HART, S.D.; BROWN, B.J.; GOULD, N.L.; ROBAR, M.L.; WITT, E.M.; BROWN, P.B. Predicting the optimal dietary essential amino acid profile for growth of juvenile yellow perch with whole body amino acid concentrations. **Aquaculture Nutrition**, v.16, p.248-253, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2009.00659.x.
- KAUSHIK, S.J. Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Spaurus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles. **Aquatic Living Resources**, v.11, p.355-358. 1998. DOI: 10.1016/S0990-7440(98)80007-7.
- LOVELL, T. **Nutrition and feeding of fish**. Boston: Kluwer Academic, 1998. 267p. DOI: 10.1007/978-1-4615-4909-3.
- MACHADO, M.G.S. **Composição em nutrientes e caracterização das proteínas do file do pacu (*Colossoma mitrei*, Berg 1895)**. 1989. 59p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MONTES-GIRAO, P.J.; FRACALOSSO, D.M. Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for jundiá, *Rhamdia quelen*. **Journal of the World**

- Aquaculture Society**, v.37, p.388-396, 2006. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2006.00052.x.
- MURAI, T.; AKYAMA, T.; NOSE, T. Effect of amino acid balance on efficiency in utilization of diet by fingerling carp. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v.50, p.893-897, 1984. DOI: 10.2331/suisan.50.893.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of fish**. Washington: NRC, 1993. 115p.
- OGATA, H.; ARAI, S.; NOSE, T. Growth responses of cherry salmon *Oncorhynchus masou* and amago salmon *O. rhodurus* fry fed purified casein diets supplemented with amino acids. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries Science**, v.49, p.1381-1385, 1983. DOI: 10.2331/suisan.49.1381.
- OZÓRIO, R.O.A.; TURINI, B.G.S.; MÔRO, G.V.; OLIVEIRA, L.S.T.; PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P. Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. **Aquaculture Nutrition**, v.16, p.276-283, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x.
- PERES, H.; OLIVA-TELES, A. Effect of the dietary essential to non-essential amino acid ratio on growth, feed utilization and nitrogen metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, v.256, p.395-402, 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.02.010.
- PERES, H.; OLIVA-TELES, A. The optimum dietary essential amino acid profile for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. **Aquaculture**, v.296, p.81-86, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.04.046.
- PESCA y Acuicultura de Colombia 2010. Bogotá: Corporación Colombia Internacional: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010. (Informe Técnico Regional Cuencas del Orinoco y Amazonas).
- RODEHUTSCORD, M.; BORCHET, F.; GREGUS, Z.; PACK, M.; PFEFFER, E. Availability and utilisation of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) 1. Effect of dietary crude protein level. **Aquaculture**, v.187, p.163-176, 2000. DOI: 10.1016/S0044-8486(99)00388-9.
- TAKESHI, Y.; SHIMA, T.; FURUITA, H.; SJIRAIISHI, M.; SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, F.J.; TABATA, M. Self-selection of diets with different amino acid profiles by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.187, p.375-386, 2000. DOI: 10.1016/S0044-8486(00)00320-3.
- TESSER, M.B.; TERJESEN, B.F.; ZHANG, Y.; PORTELLA, M.C.; DABROWSKI, K. Free- and peptide-based dietary arginine supplementation for the South American fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Nutrition**, v.11, p.443-453, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2005.00373.x.
- TWIBELL, R.G.; GRIFFIN, M.E.; MARTIN, B.; PRICE, J.; BROWN, P.B. Predicting dietary essential amino acid requirements for hybrid striped bass. **Aquaculture Nutrition**, v.9, p.373-381, 2003. DOI: 10.1046/j.1365-2095.2003.00266.x.
- VAN DER MEER, M.B.; VERDEGEM, M.C.J. Comparison of amino acid profiles of feeds and fish as a quick method for selection of feed ingredients: a case study for *Colossoma macropomum* (Cuvier). **Aquaculture Research**, v.27, p.487-495, 1996. DOI: 10.1111/j.1365-2109.1996.tb01278.x.
- VÁSQUEZ-TORRES, W.; ARIAS-CASTELLANOS, J.A. Effect of dietary carbohydrates and lipids on growth in cachama (*Piaractus brachypomus*). **Aquaculture Research**, p.1-9, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2012.03183.x.
- VÁSQUEZ-TORRES, W.; PEREIRA-FILHO, M.; ARIAS-CASTELLANOS, J.A. Estudos para composição de uma dieta referência semipurificada para avaliação de exigências nutricionais em juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.283-292, 2002. DOI: 10.1590/S1516-35982002000200001.
- VÁSQUEZ-TORRES, W.; PEREIRA-FILHO, M.; ARIAS-CASTELLANOS, J.A. Optimum dietary crude protein requirement for juvenile cachama *Piaractus brachypomus*. **Ciência Rural**, v.41, p.2183-2189, 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011001200023.
- WILSON, R.P. Amino acid and proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. (Ed.). **Fish nutrition**. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2002. p.49-179.
- YANG, S.-D.; LIOU, C.-H.; LIU, F.-G. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). **Aquaculture**, v.213, p.363-372, 2002. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00120-5.
- ZHOU, X.-Q.; ZHAO, C.-R.; JIANG, J.; LIU, Y. Dietary lysine requirement of juveniles Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture Nutrition**, v.14, p.381-386, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00535.x.

Recebido em 21 de junho de 2011 e aprovado em 17 de maio de 2013