

Fatores antinutricionais e coeficientes de digestibilidade aparente da proteína de produtos de soja para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*)

Marcia Regina Stech¹, Dalton José Carneiro^{1*} e Maria Regina Barbieri de Carvalho²

¹Departamento de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: daltonjc@caunesp.unesp.br

RESUMO. Este estudo teve como objetivo determinar as atividades dos inibidores de tripsina, hemaglutinante e teores de taninos no farelo de soja e na soja crua e processada, e avaliar o coeficiente de digestibilidade aparente da fração proteica para juvenis de pacu. Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína da soja crua, extrusada, tostada e macerada foram determinadas usando óxido de cromo (0,5%) como marcador. Foi elaborada dieta de referência com 26% de proteína bruta e 4.352 kcal kg⁻¹, e a cada alimento avaliado foram substituídas 30% da dieta-teste. As fezes foram coletadas por pressão abdominal. Todos os produtos analisados apresentaram fatores antinutricionais, mas foi observada menor atividade de inibidor de tripsina no farelo de soja. Sojas que receberam tratamento térmico apresentaram os melhores coeficientes de digestibilidade e menores valores de atividade hemaglutinante do que a soja crua. Não foram observados efeitos dos inibidores de tripsina e taninos sobre o coeficiente de digestibilidade da proteína, mas foi observada relação negativa entre os teores de hemaglutinina com a digestibilidade da proteína bruta. Para a alimentação do pacu recomenda-se a utilização do farelo de soja e da soja processada por extrusão ou tostada.

Palavras-chave: hemaglutinina, inibidor tripsina, processamento da soja, tanino.

ABSTRACT. Anti-nutritional factors and protein apparent digestibility coefficients of soybeans sources to pacu (*Piaractus mesopotamicus*). This study aimed to determine the activities of trypsin inhibitors, hemagglutinant and tannin levels in soybean meal and in raw and processed soy, as well evaluate the protein apparent digestibility coefficient for pacu juveniles. The apparent coefficients of raw, extruded, toasted and milled soy were determined using chromium oxide (0.5%) as marker. A reference diet was created with 26% crude protein and 4,352 kcal kg⁻¹, with each feed containing 30% of the test diet. Feces were collected by abdominal pressure. All analyzed products presented anti-nutritional factors, but the lowest trypsin inhibitor activity was observed in soybean meal. Soy that received thermal treatment presented better digestibility coefficients and lower hemagglutinating activity values than raw soy. No effects of trypsin and tannin inhibitor were observed on the protein digestibility coefficient, but a negative relationship was observed between hemagglutinin levels and protein digestibility coefficient. The use of soybean meal and extruded or toasted soy is recommended for pacu feeding.

Key words: hemmaglutinin, trypsin inhibitor, soybean process, tannin.

Introdução

O pacu, *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887 apud ABIMORAD; CARNEIRO, 2004), pertencente à subfamília Serrasalminae, é conhecido como pacu-guaçu ou pacu-caranha e, segundo o Ibama (2007), é a quarta espécie de peixe mais produzida no Brasil. Suas características de precocidade, rusticidade, carne saborosa e de alto valor comercial, além do ótimo crescimento e adaptação à alimentação artificial, propiciam o sucesso da criação em sistemas de cultivo intensivo.

É um peixe de hábito alimentar onívoro, especificamente frugívoro-herbívoro, do tipo podador e de caráter oportunista. Apesar de ser um dos peixes de água doce mais estudado no Brasil, não se conhece o efeito de fatores antinutricionais encontrados em ingredientes comumente utilizados em rações sobre a digestibilidade dos nutrientes para esta espécie de peixe.

O farelo de soja é um dos principais ingredientes de rações utilizados em dietas para organismos aquáticos, o qual tem sido indicado para substituir a farinha de peixe (CHOU et al., 2004;

HERNÁNDEZ et al., 2007; PHUMEE et al., 2010; MURRAY et al., 2010) e a farinha de vísceras (MEURER et al., 2008) por ser um produto disponível, de boa composição em nutrientes (STOREBAKKEN et al., 2000) e por diminuir os custos de produção da ração (HERNÁNDEZ et al., 2007).

No entanto, o valor nutricional da soja é limitado pela presença de diversos fatores antinutricionais como os inibidores das proteases tripsina e quimotripsina, as hemaglutininas (lectinas), os compostos fenólicos (taninos), que afetam a digestão e fisiologia dos animais.

Os inibidores de tripsina da soja, que podem representar até 2% do conteúdo proteico, impedem a completa utilização de suas proteínas pelo organismo dos monogástricos, paralisando a ação da tripsina, responsável pela digestão das proteínas. A presença destes no trato intestinal de monogástricos leva ao aumento na produção de enzimas pelo pâncreas e a hipertrofia deste órgão (SILVA; SILVA, 2000) e eles têm sido relacionado à diminuição da digestibilidade da proteína em peixes (FRANCIS et al., 2001).

Os efeitos prejudiciais das hemaglutininas à fisiologia dos monogástricos são relatados como retardo do desenvolvimento, diminuição da digestibilidade de carboidratos, alteração na atividade das enzimas intestinais e hepáticas e diminuição de insulina no sangue (HEUGTEN, 2001). Silva e Silva (2000) escreveram que os efeitos antinutricionais podem ser pela habilidade destas substâncias em ligar-se a sítios receptores específicos na superfície das células intestinais, acarretando interferência não-específica na absorção de nutrientes. Buttle et al. (2001) indicaram que as hemaglutininas da soja reagem com as células intestinais do salmão do Atlântico e truta arco-íris e causam o rompimento das células epiteliais das microvilosidades do intestino.

Os taninos formam complexos com proteínas e com enzimas digestivas, o que interfere na sua utilização nutricional, alterações de paladar (SILVA; SILVA, 1999) e ainda podendo ocasionar lesões no trato intestinal (ORTIZ et al., 1994).

Diversos pesquisadores avaliaram diferentes tratamentos térmicos para melhorar a qualidade nutricional da soja crua, amenizando a ação dos fatores antinutricionais (CAFÉ et al., 2000; PERES et al., 2003; BARROWS et al., 2007). Contudo, ainda não se chegou a uma normatização técnica, pois de acordo com Sgarbieri e Whitaker (1982), o controle deste tratamento apresenta alguns complicadores: as atividades hemaglutinante e antitriptica apresentam grande diferença quanto à

estabilidade ao calor. As leguminosas, dadas às suas diferenças estruturais e químicas, apresentam diferentes respostas a este tratamento térmico.

Ensaio de digestibilidade são utilizados para avaliar o nível de aproveitamento do ingrediente pelos animais. Há vários estudos de digestibilidade de soja crua e farelo de soja para várias espécies de peixes (JONES; SILVA, 1997; GLENCROSS et al., 2005; HERNÁNDEZ et al., 2007; GAYLORD et al., 2008; DONG et al., 2009) e até mesmo para o pacu (ABIMORAD; CARNEIRO, 2004). No entanto, os autores não avaliaram a relação dos fatores antinutricionais sobre a qualidade da proteína.

Este estudo foi realizado com o objetivo de determinar as atividades dos inibidores de tripsina e hemaglutinante e teores de taninos presentes no farelo de soja e nas sojas integrais crua, macerada, tostada e extrusada, e avaliar suas implicações sobre a qualidade da fração proteica destes produtos para o pacu, por meio de ensaio de digestibilidade.

Material e métodos

A soja integral crua utilizada foi produzida na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal-Unesp. A soja integral macerada foi processada utilizando-se a mesma soja integral crua, deixando-a imersa em água, na proporção de 1 kg:4 litros, durante 12h e a secagem em estufa de circulação forçada por 12h a 50°C. Foram adquiridas as sojas integrais tostada e a extrusada e o farelo de soja encontrados no comércio brasileiro. A soja integral tostada foi processada por 40 min. a 120°C (tostador Yok-Tortuga). A soja integral extrusada, produzida pela Nutrimix de Monte Alto, Estado de São Paulo, foi processada sem injeção de vapor. O farelo de soja foi adquirido da Cooperativa Agrícola Regional de Orlândia – Carol.

Todos os ingredientes foram analisados quanto aos teores de umidade, proteína bruta, extrato etéreo, cinzas, fibra bruta e energia bruta, conforme metodologia descrita na Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000) em triplicata.

Para a análise dos fatores antinutricionais, o farelo de soja e as sojas integral crua, macerada, tostada e extrusada foram finamente moídas (“mesh” 60) em moinho de faca e desengorduradas a frio com sucessivas lavagens em éter de petróleo. Após, foram realizadas análises da atividade dos inibidores de tripsina (KAKADE et al., 1969), da atividade hemaglutinante (JUNQUEIRA; SGARBIERI, 1981), dos teores de taninos (TAN et al., 1983) da atividade ureática (ANFAR, 2005) e da solubilidade da proteína (ARABA; DALE, 1990). Estas duas

últimas análises foram realizadas por se tratarem de procedimentos utilizados nas indústrias como controle de qualidade dos processos de inativação dos fatores antinutricionais. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Para o ensaio de digestibilidade, foram utilizadas cinco dietas-teste contendo os ingredientes a ser estudados, na proporção de 30%, a dieta referência em 69,5% (Tabela 1) e ainda 0,5% de óxido de cromo (Cr_2O_3). Cada dieta experimental foi fornecida para os peixes, distribuídos em três caixas de cimento amianto (500 L) com nove peixes cada (biomassa inicial de 1,7 kg), com circulação contínua e temperatura da água de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ($n=15$). Diariamente, os animais foram alimentados 1h antes de cada uma das duas coletas de fezes e novamente após a última. As coletas foram realizadas por meio de pressão abdominal, da nadadeira ventral até o ânus, duas vezes ao dia, durante seis dias. Sempre que manejados, os pacus passavam por um tratamento preventivo à base de sal (2 g NaCl L^{-1}). A ração de referência foi fornecida a todos os peixes, pelo período de 15 dias antes do período experimental.

Os teores de proteína bruta das rações e das fezes dos peixes foram analisados pelo método de micro-kjeldahl. A determinação do teor de indicador nas fezes seguiu o método de digestão ácida descrito por Furukawa e Tsukahara (1966). O coeficiente de digestibilidade e a proteína digestível foram estimados, segundo Nose (1966). Estas análises foram realizadas em duplicata.

Os dados das análises bromatológicas, fatores antinutricionais, de controle de qualidade e digestibilidade foram analisados estatisticamente utilizando-se delineamento inteiramente casualizado, e as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), realizado pelo programa ESTAT.

Tabela 1. Composição da dieta de referência.

Ingredientes	%
Farelo de soja	10,0
Farelo de trigo	27,0
Farelo de arroz	10,0
Milho	16,3
Levedura	20,7
Farinha de peixe	15,0
Mistura mineral e vitamínica*	1,0
Nutrientes	
Proteína bruta	26,0
Fibra bruta	3,0
Matéria mineral	5,7
Extrativos não-nitrogenados	48,3
Lipídeos	5,6
Energia bruta (kcal kg^{-1})	4352,7

*Composição por kg (vit. A: 176000UI; vit. D3: 40000UI; vit E: 500 mg; vit. K3: 100 mg; vit. B1: 36 mg; vit. B2: 200 mg; vit. B6: 50 mg; vit. B12: 560 meg; niacina: 700 mg; biotina: 3 mg; ac. pantotênico: 500 mg; ác. Fólico: 30 mg; colina: 20 mg; Fe: 1.100 mg; Cu: 300 mg; Mn: 1.800 mg; Zn: 1.200 mg; I: 24 mg; metionina: 20 g; Se: 3 mg; Ca: 176 g; P: 68 g; Na: 23 g; Cl: 36 g; antifúngico: 200 mg; BHT: 1 g; veículo energético e proteico (qsp): 1 kg).

Resultados e discussão

Os resultados das análises bromatológicas dos produtos estudados estão apresentados na Tabela 2 e são coerentes com os encontrados na literatura (CARVALHO; STECH, 1997; CAFÉ et al., 2000; FURUYA et al., 2004; PHUMEE et al., 2010). Os resultados dos valores das sojas crua e macerada, diferiram ($p < 0,05$) somente no teor de matéria seca, mostrando que a maceração não influenciou nos outros itens analisados.

Em relação ao teor de proteína bruta, não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) entre os produtos analisados. Para as sojas extrusada e tostada, foram observados maiores níveis médios de extrato etéreo, seguidas pelas sojas crua e macerada ($p < 0,05$). O farelo de soja por ser um subproduto da extração de óleo apresentou teor mais baixo desse nutriente. O baixo valor da fibra bruta encontrada na soja extrusada se deve ao fato de que o processo de extrusão quebra as ligações entre a fibra e a proteína; portanto, quando a soja extrusada é analisada, possivelmente a proteína residual, que é considerada como fibra bruta pelo método de análise utilizado não está presente (SGARBIERI, 1996).

Observou-se grande variação na porcentagem de minerais: de 3,89%, para a soja macerada, a 6,75% para o farelo de soja. Em relação ao teor de fibra bruta, constatou-se o maior valor médio para o farelo de soja (13,76%), e para a soja extrusada observou-se a menor concentração (3,17%). Os valores médios de extrativo não-nitrogenado (ENN) variaram de 24,13% (soja extrusada) a 33,66% (farelo de soja).

Os resultados médios observados para as análises dos fatores antinutricionais, de solubilidade e de atividade ureática estão apresentados na Tabela 3. Todos os alimentos apresentaram diferenças significativas entre si ($p < 0,05$).

A solubilidade da proteína foi maior para a soja crua e caiu drasticamente na soja tostada, indicando que o tratamento foi extremamente severo, com possível desnaturação das proteínas. A atividade ureática observada variou desde zero (farelo de soja) a 1,05 unidades de pH (soja crua). A soja tostada apresentou maior atividade de inibidores de tripsina do que as demais. Isto pode ocorrer em consequência da maior estabilidade dos inibidores frente ao tratamento térmico com baixo teor de umidade (CARVALHO; SGARBIERI, 1997). A estabilidade ao calor dos inibidores de tripsina, dentro de uma mesma espécie de leguminosa, foi mostrada por Sgarbieri e Whitaker (1982). Carvalho e Stech (1997) observaram diferenças na quantidade de inibidores em diferentes cultivares de soja. Isto indica ser possível encontrar soja tostada com valores superiores de inibidores aos avaliados em soja crua. O processo de extrusão mostrou-se pouco eficiente na inativação dos inibidores de tripsina.

Tabela 2. Médias da composição centesimal e energia bruta do farelo de soja e das sojas integrais.

Produto	Matéria seca (%)	Proteína bruta (%)	Lípidios (%)	Minerais (%)	Fibra bruta (%)	ENN ¹ (%)	Energia bruta (kcal kg ⁻¹)
Farelo de soja	88,87±0,23 ^c	44,72±1,34 ^a	1,14±0,02 ^c	6,75±0,48 ^a	13,76±1,51 ^a	33,66±0,67 ^a	4166,25±29 ^c
Soja extrusada	90,94±0,34 ^b	42,52±0,09 ^a	24,14±0,59 ^a	6,04±0,34 ^{ab}	3,17±0,04 ^c	24,13±0,30 ^c	4810,57±73 ^b
Soja Tostada	94,27±0,56 ^a	39,60±0,90 ^a	23,17±0,08 ^a	4,33±0,08 ^c	6,48±0,56 ^{bc}	26,48±0,34 ^b	5329,67±72 ^a
Soja Crua	91,33±0,24 ^b	42,05±2,53 ^a	17,61±1,53 ^b	4,67±0,57 ^{bc}	7,51±1,63 ^b	28,16±0,63 ^b	4884,12±30 ^b
Soja Macerada	93,21±0,33 ^a	42,18±0,65 ^a	17,35±0,65 ^b	3,89±0,05 ^c	7,55±0,11 ^b	29,03±0,11 ^b	4986,25±20 ^b

¹ENN, extrativos não-nitrogenados = 100 – (proteína + lípidios + minerais + fibra). Nas colunas, médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Tabela 3. Médias obtidas para a atividade ureática, solubilidade, atividade dos inibidores, taninos e atividade hemaglutinante, do farelo de soja e das sojas integrais.

Produto	Atividade ureática ¹	Solubilidade da proteína ²	Atividade dos inibidores ³	Taninos ⁴	Atividade hemaglutinante ⁵
Farelo de soja	0,00±0,00 ^d	69,16±0,96 ^b	18,88±0,35 ^d	8,22±0,63 ^a	256±0,0 ^b
Soja extrusada	0,20±0,00 ^c	67,92±1,36 ^b	32,53±0,35 ^c	2,48±0,30 ^{cd}	8±0,0 ^d
Soja Tostada	0,20±0,00 ^c	35,99±0,16 ^c	42,32±0,62 ^c	1,49±0,06 ^d	32±0,0 ^c
Soja Crua	1,05±0,07 ^a	72,22±0,17 ^a	35,75±0,35 ^b	3,27±0,03 ^{bc}	1024±0,0 ^a
Soja Macerada	0,85±0,07 ^b	67,56±0,31 ^b	31,32±0,44 ^c	3,93±0,03 ^b	1024±0,0 ^a

¹Δ de pH. ²porcentagem. ³UTI mg⁻¹ de amostra desengordurada. ⁴mg de catequina g⁻¹ de amostra desengordurada. ⁵título hemaglutinante mg⁻¹ de amostra desengordurada. Nas colunas, médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05).

O farelo de soja, apesar de atividade ureática igual a zero, apresentou inibidores ativos, demonstrando que o uso da atividade da urease como método para avaliar a atividade residual dos inibidores da tripsina, é válido somente sob determinadas condições, como seria com baixa umidade no produto e tratamento térmico prolongado sob temperatura não muito alta (ANTUNES; SGARBIERI, 1980).

Considerando a recomendação da ANFAR (2005), o produto para ser comercializado, deve possuir solubilidade superior a 70% e atividade ureática inferior a 0,05 unidades de pH. No entanto, a perda de solubilidade de uma proteína pode ser resultado de mudanças na estrutura covalente e isto pode não apresentar, necessariamente, alterações drásticas de conformação (SGARBIERI, 1996). Desta forma, esse critério parece não ser o mais adequado para ser utilizado como um parâmetro da qualidade da proteína a ser ingerida. Também Marsman et al. (1993) concluíram que a atividade ureática não se mostrou adequada para a avaliação de produtos extrusados, pois o índice de solubilidade do nitrogênio em hidróxido de potássio foi maior até mesmo quando as condições de extrusão foram extremas.

Nas análises efetuadas, os valores médios de taninos tiveram a variação de 8,22 a 1,49 mg de catequina g⁻¹ de amostra desengordurada para o farelo de soja e soja tostada, respectivamente, mostrando que os processos de tostagem e de extrusão são mais eficientes para a eliminação deste fator antinutricional. A maior quantidade de taninos presentes no farelo de soja pode ocorrer pela inclusão de cascas e resíduos da pré-limpeza da soja, como denota a sua porcentagem de fibra bruta.

As sojas crua e macerada apresentaram maiores (p < 0,05) valores de atividade hemaglutinante em relação aos demais alimentos, enquanto a extrusada apresentou os menores valores médios. A atividade hemaglutinante, presente na soja tostada (32 UH mg⁻¹ de amostra desengordurada), foi superior à encontrada por Fedalto et al. (1996).

A extrusão foi o processo que proporcionou a menor atividade hemaglutinante e com solubilidade e atividade ureática mais adequados à comercialização. Moreira et al. (1994) observaram variações na solubilidade de 72,68 a 54,85% e atividade ureática de 0,85 a 0,47, para a soja extrusada de partidas diferentes, mostrando a necessidade de se analisar o material antes de utilizá-lo.

Na Tabela 4, são apresentados os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e os teores de proteína digestível determinados para os diferentes tipos de soja. Os coeficientes de digestibilidade da fração proteica das sojas tostada, extrusada e do farelo de soja não apresentaram diferenças entre si (p > 0,05), mas diferiram da soja crua e da soja macerada, as quais também diferiram entre si (p < 0,01). Observou-se que as sojas crua e macerada apresentaram menor teor de proteína digestível, diferindo estatisticamente do farelo de soja e soja extrusada. Dong et al. (2009) também encontraram valores de coeficiente de digestibilidade da proteína superiores a 90%, para farelo de soja, farelo de soja fermentado, concentrado proteico de soja e isolado proteico de soja, em estudo com tilápia.

Durante o ensaio de digestibilidade, foram observados que o pacu não teve problemas de palatabilidade que poderiam ser justificados pela presença de tanino. O pacu, com hábito alimentar onívoro, está habituado a alimentar-se com grande variedade de frutas, folhas e sementes de

leguminosas que provavelmente devem apresentar altos teores de tanino.

Durante a coleta das fezes, também não se observou sangramentos, que poderiam ser um sinal de lesões no trato intestinal em função dos níveis de taninos (ORTIZ et al., 1994). Pinto et al. (2000) e Pinto et al. (2004) observaram efeito do tanino sobre a digestibilidade para tilápia-do-Nilo e verificaram que níveis de até 0,42 e 0,46%, respectivamente, de taninos totais na dieta não afetaram a digestibilidade da matéria seca, proteína. Furuya et al. (2004) também observaram diminuição da digestibilidade do sorgo para a tilápia-do-Nilo em função da presença de taninos. Neste experimento, a quantidade de tanino presente não foi suficiente para causar algum efeito que pudesse comprometer a proteína digestível durante o pouco período de utilização.

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade da fração proteica e teores de proteína digestível do farelo de soja e das sojas integrais para o pacu.

Produto	Coeficiente de digestibilidade (%)	Proteína digestível (%)
Farelo de soja	93,88±0,36 ^a	41,98±1,33 ^a
Soja extrusada	95,23±0,23 ^a	40,49±0,08 ^a
Soja tostada	94,99±0,65 ^a	37,61±0,90 ^{ab}
Soja crua	80,06±1,76 ^c	33,67±2,50 ^b
Soja macerada	82,80±1,42 ^b	34,77±0,65 ^b

Nas colunas, médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Para o pacu, a atividade dos inibidores de tripsina parece ter pouca ou nenhuma influência sobre a digestibilidade da proteína. O mesmo foi observado para carpas (VIOLA et al., 1983), para truta-arco-íris (OLLI; KROGDAHL, 1994), salmão do Atlântico (OLLI et al., 1994) e *Sparus aurata* (VENOU et al., 2006). De outra forma, os danos ocasionados pela ingestão destes inibidores podem aparecer após um período bem mais longo de utilização dos produtos de soja, pois Krogdahl et al. (1994) observaram decréscimo de 23% na digestibilidade da fração proteica de trutas, após terem sido alimentadas por dez dias com rações contendo altos níveis de soja crua.

A hemaglutinina parece estar intimamente ligada à digestibilidade, uma vez que os produtos que continham maior atividade hemaglutinante apresentaram a menor digestibilidade da proteína bruta. Pusztai et al. (1979) apresentaram que as hemaglutininas reagem com as células intestinais “in vivo” e causam o rompimento das microvilosidades das células epiteliais do duodeno e do jejuno. De acordo com os autores, embora prejudicada, a absorção ainda pode ocorrer, provavelmente por meio das células não-alteradas,

levando à absorção anormal de substâncias potencialmente perigosas, como as próprias hemaglutininas ou toxinas de origem bacteriana. Estudos com salmão (BAKKE-McKELLEP et al., 2000; BUREAU et al., 1998; REFSTIE et al., 2000; INGH et al., 1991, 1996) indicam que o uso de altos níveis de farelo de soja nas dietas causam lesões no intestino e alisamento da mucosa, reduzindo a área de absorção.

De acordo com Sgarbieri (1996), as mudanças na conformação das proteínas pela desnaturação são responsáveis pela maior ação das enzimas proteolíticas, por facilitar o acesso a um maior número de ligações peptídicas, aumentando assim o grau de digestibilidade. Isto explica os valores maiores do coeficiente de digestibilidade para os materiais que passaram por um tratamento térmico mais severo. No entanto, pode-se considerar que todos os materiais analisados possuem alto teor de proteína digestível para o pacu e a utilização do farelo de soja e as sojas extrusada e tostada implicam em melhoria na qualidade da dieta.

Conclusão

A utilização de sojas tostada e extrusada ou de farelo de soja deve ser priorizada perante as sojas crua ou macerada, em vista de seus maiores coeficientes de digestibilidade da fração proteica.

Agradecimentos

À Fapesp, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela contribuição financeira a este projeto.

Referências

- ABIMORAD, E.; CARNEIRO, D. J. Fecal collection methods and determination of crude protein and of gross energy digestibility coefficients of feedstuffs for pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004.
- ANFAR-Associação Nacional dos Fabricantes de Rações. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. Métodos Analíticos. São Paulo: Anfar, 2005.
- ANTUNES, P. L.; SGARBIERI, W. C. Effect of heat treatment on the toxicity and nutritive value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2) proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 5, p. 935-938, 1980.
- AOAC-Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of the Analysis of AOAC International**. 17th ed. Whashington, D.C., 2000. v. II.
- ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of over processing soybean meal. **Poultry Science**, v. 69, n. 1, p. 76-83, 1990.

- BAKKE-McKELLEY, A. M.; PRESS, C. M.; BAEVERFJORD, G.; KROGDAHL, A.; LANDSVERK, T. Changes in immune and enzyme histochemical phenotypes of cells in the intestinal mucosa of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., with soybean meal-induced enteritis. **Journal of Fish Diseases**, v. 23, n. 2, p. 115-127, 2000.
- BARROWS, F. T.; STONE, D. A. J.; HARDY, R. W. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 265, n. 1-4, p. 244-252, 2007.
- BUREAU, D. P.; HARRIS, A. M.; CHO, C. Y. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 161, n. 1, p. 27-43, 1998.
- BUTTLE, L. G.; BURRELLS, A. C.; GOOD, J. E.; WILLIAMS, P. D.; SOUTHGATE, P. J.; BURRELLS, C. The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 80, n. 3, p. 237-244, 2001.
- CAFÉ, M. B.; SAKOMURA, N. K.; JUNQUEIRA, O. M.; CARVALHO, M. R. B.; DEL BIANCHI, M. Determinação do valor nutricional das sojas integrais processadas para aves. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 2, n. 1, p. 67-74, 2000.
- CARVALHO, M. R. B.; SGARBIERI, S. C. Heat treatment and inactivation of trypsin-chymotrypsin inhibitors and lectins from beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 219-133, 1997.
- CARVALHO, M. R. B.; STECH, M. R. Avaliação da composição centesimal e das atividades dos fatores antinutricionais em diferentes cultivares de soja. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 24, n. especial, p. 139-145, 1997.
- CHOU, R. L.; HER, B. Y.; SU, M. S.; HWANG, G.; WU, Y. H.; CHEN, H. Y. Substitution fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture**, v. 229, n. 1-4, p. 325-333, 2004.
- DONG, X. H.; GUO, Y. X.; YE, J. D.; SONG, W. D.; HUANG, X. H.; WANG, H. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, p. 1-9, 2009. Disponível em: www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/123206167/PDFSTART. Acesso em: 29 jul. 2010.
- FEDALTO, L. M.; THOMAZ, M. C.; KRONKA, R. N.; KRONKA, S. N. Determinação dos índices de controle de qualidade da soja integral processada pelo calor seco em diferentes tempos de tostagem. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 103-116, 1996.
- FRANCIS, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v. 199, n. 3-4, p. 197-227, 2001.
- FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as index substance in the study digestibility of fish feed. **Bulletin of the Japanese Society of Fisheries**, v. 32, n. 6, p. 502-506, 1966.
- FURUYA, W. M.; SILVA, L. C. R.; NEVES, P. R.; BOTARO, B.; HAYASHI, C.; FURLAN, A. C.; SANTOS, V. G. Coeficientes de digestibilidade aparente da energia e proteína da silagem de sorgo com alto e baixo tanino pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1213-1217, 2004.
- GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T.; RAWLES, S. D. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, n. 6, p. 827-834, 2008.
- GLENCROSS, B.; EVANS, D.; DODS, K.; McCAFFERTY, P.; HAWKINS, W.; MAAS, R.; SIPSAS, S. Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement fecal collection methods. **Aquaculture**, v. 245, n. 1, p. 211-220, 2005.
- HERNÁNDEZ, M. D.; MARTÍNEZ, F. J.; JOVER, M.; GARCÍA, B. G. Effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*) diet. **Aquaculture**, v. 263, n. 1-4, p. 159-167, 2007.
- HEUGTEN, E. Van. Micotoxins and other antinutritional factors in swine feeds. In: LEWIS, A. J.; SOUTHERN, L. L. (Ed.). **Swine Nutrition**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. p. 563-584.
- IBAMA-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística da pesca 2007**. Brasil, grandes regiões e unidades da Federação. Brasília: Ibama, 2007.
- INGH, T. S. G. A. M. Van den; KROGDAHL, A.; OLLI, J. J.; HENDRIKS, H. G. C. J. M.; KONINKX, J. G. J. F. Effects of soybean-containing diets on the proximal and distal intestine in Atlantic salmon (*Salmo salar*): a morphological study. **Aquaculture**, v. 94, n. 4, p. 297-305, 1991.
- INGH, T. S. G. A. M. Van den; OLLI, J. J.; KROGDAHL, A. Alcohol-soluble components in soybeans cause morphological changes in the distal intestine of atlantic salmon, *salmo salar* L. **Journal of Fish Diseases**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 1996.
- JONES, P. L.; SILVA, S. S. Apparent nutrient digestibility of formulated diets by the Australian freshwater crayfish *Cherax destructo* Clark (Decapoda, Parastacidae). **Aquaculture Research**, v. 28, n. 11, p. 881-891, 1997.

- JUNQUEIRA, R. G.; SGARBIERI, V. C. Isolation and general properties of lectins from the bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Rosinha G2). **Journal of Food Biochemistry**, v. 5, n. 3, p. 165-179, 1981.
- KAKADE, M. L.; SIMONS, N.; LIENER, E. An evaluation of natural vs. synthetic substract for measuring the anti tryptic activity of soy bean samples. **Cereal Chemistry**, v. 46, n. 5, p. 518-526, 1969.
- KROGDAHL, A.; LEA, T. B.; OLLI, J. J. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 107A, n. 1, p. 215-219, 1994.
- MARSMAN, G. J. P.; GRUPPEN, H.; POEL, A. F. B. Van der. Effect of extrusion on the in vitro digestibility of toasted and untoasted soybean meal. Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON "ANTINUTRITIONAL FACTORS (ANFs) IN LEGUME SEEDS", 2nd, 1993. Wageningen. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Pers, 1993. p. 461-465.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BARBERO, L. M.; SANTOS, L. D.; BOMBARDELLI, R. A.; COLPINI, L. M. S. Farelo de soja na alimentação de tilápias-do-nilo durante o período de reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 791-794, 2008.
- MOREIRA, I.; ROSTAGNO, H. S.; TEIXEIRA, D.; COSTA, P. M. A.; TAFURI, M. L. Determinação dos coeficientes de digestibilidade, valores energéticos e índices de controle de qualidade do milho e soja integral processados a calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 6, p. 917-929, 1994.
- MURRAY, H. M.; LALL, S. P.; RAJASELVAM, R.; BOUTILIER, L. A.; BLANCHARD, B.; FLIGHT, R. M.; COLOMBO, S.; MOHINDRA, V.; DOUGLAS, S. E. A nutrigenomic analysis of intestinal response to partial soybean meal replacement in diets for juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. **Aquaculture**, v. 298, n. 3-4, p. 282-293, 2010.
- NOSE, T. Resents advances in the study of fish digestion in Japan. In: SYMPOSIUM ON FEEDING TROUT AND SALMON CULTURE, SC II-7. 1966. Belgrade. **Proceedings...** Belgrade: Eifac, 1966. p. 17.
- OLLI, J. J.; KROGDAHL, A. Nutritive value of four soybean products as protein sources in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) reared in fresh water. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science**, v. 44, n. 3, p. 185-192, 1994.
- OLLI, J. J.; HJELMELAND, K.; KROGDAHL, A. Soybean trypsin inhibitors in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): I. Effects on nutrient digestibilities and trypsin in pyloric caeca homogenate and intestinal content. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 109, n. 4, p. 923-928, 1994.
- ORTIZ, L. T.; ALZUETA, C.; TREVIÑO, J.; CASTAÑO, M. Effects of faba bean tannins on the growth and histological structure of the intestinal tract and liver of chicks and rats. **British Poultry Science**, v. 35, n. 5, p. 743-754, 1994.
- PERES, H.; LIM, C.; KLESIUS, P. H. Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v. 225, n. 1-4, p. 67-82, 2003.
- PHUMEE, P.; WEI, W. Y.; RAMACHANDRAN, S.; HASHIM, R. Evaluation of soybean meal in the formulated diets for juvenile *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878). **Aquaculture Nutrition**, p. 1-9, 2010. Disponível em: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/123316011/PDFSTART>. Acesso em: 29 jul. 2010.
- PINTO, L.; PEZZATO, L.; MIRANDA, E.; BARROS, M.; FURUYA, W. Ação do tanino na digestibilidade de dietas pela tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 22, n. 3, p. 677-681, 2000.
- PINTO, L.; PEZZATO, L.; MIRANDA, E.; BARROS, M.; FURUYA, W. Efeito do tanino na digestibilidade dos nutrientes da ração pela tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 2, p. 181-186, 2004.
- PUSZTAI, A.; CLARKE, E. M. W.; KING, T. P.; STEWART, J. C. Nutritional evaluation of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*): chemical composition, lectin content and nutritional value of selected cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 30, n. 9, p. 843-848, 1979.
- REFSTIE, S.; KORSOEN, O. J.; STOREBAKKEN, T.; BAEVERFJORD, G.; LEIN, I.; ROEM, A. J. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 190, n. 1, p. 49-63, 2000.
- SGARBIERI, V. C.; WHITAKER, J. R. Physical, chemical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Advances in Food Research**, v. 28, n. 3, p. 93-166, 1982.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos**. Propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Varela, 1996.
- SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 1999.
- SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. **Revista de Nutrição**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2000.
- STOREBAKKEN, T.; REFSTIE, S.; RUYTER, B. Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. In: DRACKLEY, J. K. (Ed.). **Soy in animal nutrition**. Savoy: Federation of Animal Science Societies, 2000. p. 127-170.

TAN, N. H.; RAHIM, Z. H. A.; KHOR, H. T.; WONG, K. C. Winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) tannin level, phytate content and hemagglutinating activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 916-9177, 1983.

VENOU, B.; ALEXIS, M. N.; FOUNTOULAKI, E.; HARALABOUS, J. Effects of extrusion and inclusion level of soybean meal on diet digestibility, performance and nutrient utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v. 261, n. 1, p. 343-356, 2006.

VIOLA, S.; MOKADY, S.; ARIELI, Y. Effects of soybean

processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture**, v. 32, n. 1-2, p. 27-38, 1983.

Received on November 19, 2008.

Accepted on May 19, 2010.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.