UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

DIGESTIBILIDADE APARENTE, PELA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*), DE ALIMENTOS EXTRUSADOS

IGO GOMES GUIMARÃES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

DIGESTIBILIDADE APARENTE, PELA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*), DE ALIMENTOS EXTRUSADOS

IGO GOMES GUIMARÃES
Zootecnista

ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ EDIVALDO PEZZATO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia

BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2006

A DEUS, pela existência, saúde e dom da sabedoria;

Aos meus pais, Naiza e Nivaldo, e irmãos, pelo amor, oportunidade, compreensão, incentivo e exemplo de perseverança que de modos diversos me auxiliaram a realizar mais este sonho;

Aos meus avós (*in memorian*) pelo exemplo de força e batalha às intempéries da vida;

A Edma Carvalho de Miranda, mestra e amiga, pela confiança a mim reservada e incentivo nos momentos mais difíceis.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Botucatu que comportou todos os meus anseios durante estes ano de curso e à todos os docentes que contribuíram de forma positiva para minha formação;

Ao professor e amigo Dr. Luiz Edivaldo Pezzato, pela orientação, exemplo de ser humano e profissional e, pela figura paterna a mim concedida;

À professora Dra. Margarida Maria Barros pelo apoio, paciência nos ensinamentos e amizade;

À João Manoel pela parceria científica, sem a qual este trabalho estaria incompleto;

À Valéria Louro Ribeiro pela amizade, compreensão e coleguismo que, apesar da distância, não deixou extinguir a chama de nossa amizade;

Aos amigos de trabalho Giovani Sampaio Gonçalves, Leonardo Tachibana, Dario Rocha Falcon, William Vicente Narvaez e Geisa Karine Kleeman pela amizade, ensinamentos e auxílio na condução deste trabalho;

Às alunas de graduação Maria Julia Santa Rosa, Adriana Menezes e Luana Strieder pela amizade e auxílio na condução desta pesquisa;

À Ana Paula Lima pela longa e prazerosa amizade que me dedica até hoje;

Aos meus amigos de pós-graduação Luciana Rodrigues, Claudia Marie Komyiama, Sabrina Endo Takahashi, pela amizade e coleguismo;

À toda minha família e amigos que torcem, oram e vibram a cada passo que dou em minha vida;

Às funcionárias da Biblioteca, Denise, Cida e Solange, pelo auxílio, disposição e meiguice nas horas de estudo;

À Edma Carvalho de Miranda pelos grandes ensinamentos proporcionados e principalmente à constituição do meu caráter profissional;

Aos amigos Luciana Feliciano, Edgar Virgílio e Evandro pelo apoio, amizade e dedicação;

Aos funcionários do Laboratório de Bromatologia, Renato e Conceição, pela colaboração na realização das análises químico-bromatológicas;

À todas as pessoas que auxiliaram de alguma forma na realização deste sonho e deste trabalho e que passaram por minha vida rapidamente porém deixando sua marca em minha história.

SUMÁRIO

Página

CAPÍTULO - I..... 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... 2

Referências Bibliográficas..... 11

CAPÍTULO – II..... 16

DIGESTIBILIDADE APARENTE DA PROTEÍNA E DOS AMINOÁCIDOS DE ALIMENTOS PROTEÍCOS PELA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) 17

Resumo..... 17

Abstract..... 18

Introdução..... 19

Material e Métodos..... 20

Resultados 24

Discussão..... 25

Referências Bibliográficas..... 32

Tabela 1. Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas-teste e da dieta referência..... 36

Tabela 2. Composição da dieta referência..... 37

Tabela 3. Composição em aminoácidos dos ingredientes-teste e da dieta referência... 38

Tabela 4. Coeficiente de digestibilidade dos aminoácidos e da proteína de ingredientes protéicos de origem vegetal e de origem animal para tilápia do Nilo..... 39

Tabela 5. Valores de aminoácidos digestíveis de alimentos protéicos de origem vegetal e animal para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)..... 40

CAPÍTULO - III..... 41

DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS EXTRUSADOS PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis*

niloticus)..... 42
Resumo..... 42
Abstract..... 43
Introdução..... 44
Material e Métodos..... 45
Resultados..... 48
Discussão..... 50
Referências Bibliográficas..... 56
Tabela 1.Composição da dieta basal ou referência..... 59
Tabela 2. Composição química e conteúdo em aminoácidos dos ingredientes-teste e da dieta referência utilizados no estudo..... 60
Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia de ingredientes energéticos pela tilápia do Nilo..... 61
Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos em ingredientes energéticos pela tilápia do Nilo..... 62
Tabela 5. Valores de aminoácidos digestíveis de ingredientes energéticos para tilápia do Nilo..... 63

CAPÍTULO - IV..... 64
IMPLICAÇÕES..... 65

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A digestibilidade aparente é a medida que expressa a quantidade de nutrientes, supostamente absorvida pelo animal, obtida pela diferença entre a quantidade de nutrientes ingerida e a excretada. Em peixes, a digestibilidade dos alimentos pode ser obtida pelo método direto, medida pela quantidade de fezes excretadas, ou pelo método indireto, utilizando marcador (não digestível) que reflete a variação dos nutrientes excretados nas fezes (Choubert, 1999). Cho (1987) afirmou que a determinação da digestibilidade dos nutrientes de uma matéria-prima é o primeiro cuidado quando se pretende avaliar seu potencial de inclusão numa dieta.

Segundo Maynard & Loosly (1966), a análise química e os testes alimentares são os primeiros itens para se determinar o valor nutritivo de um ingrediente. Entretanto, após a ingestão, sua efetiva assimilação depende da utilização que o organismo animal esteja capacitado a executar.

Assim, Higera (1987) afirmou que o resultado desta assimilação varia em função da espécie, das condições ambientais, da quantidade e da qualidade dos alimentos, da proporção relativa entre os nutrientes e, dos processos tecnológicos a que o alimento tenha sido submetido. De acordo com Hepher (1988), vários são os fatores que podem influenciar a digestibilidade dos alimentos nos peixes, com destaque para: espécie, idade, condições fisiológicas, temperatura da água, salinidade, composição do alimento, quantidade de alimento ingerido e tamanho da partícula.

Atualmente, tem aumentado a preocupação com as tecnologias de processamento empregadas para produzir rações comerciais para a aqüicultura. Esta preocupação tem sido, primariamente, direcionada pela expansão global da aqüicultura, a qual tem resultado no aumento da demanda pelos produtores por rações de alta qualidade e que vá de encontro às exigências específicas dos peixes (Lovell, 1992).

Várias pesquisas revelaram a influência do processamento na digestibilidade de ingredientes e de rações. Henrichfreise & Pfeffer (1992) avaliaram rações contendo 25,0 ou 45,0% de farinha integral de trigo, farinha integral de trigo cozido (sob pressão), amido cru de trigo ou, amido gelatinizado de trigo, concluindo que a concentração de energia digestível foi

mais alta nas rações contendo 25,0% dos ingredientes testados, enquanto que a digestibilidade da proteína dos diferentes tratamentos apresentou-se próxima a 96,0%.

Takeuchi et al. (1994) conduziram pesquisa, com a tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*) e carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), visando avaliar o efeito da extrusão do milho. Estes autores obtiveram coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes para o milho cru e extrusado para a carpa, respectivamente de: proteína bruta (95,2 e 96,5%), extrato etéreo (87,7 e 92,2%), amido (63,0 e 89,9%) e energia bruta (87,8 e 89,3%), e para tilápia híbrida, respectivamente de: proteína bruta (97,9 e 98,4%), extrato etéreo (97,1 e 97,8%), amido (79,1 e 91,7%) e energia bruta (78,6 e 86,8%) e, concluíram que a geleificação do amido de milho melhora de forma significativa o valor nutritivo do milho.

O valor nutritivo do amido geleificado do milho, para a carpa comum, foi avaliado por meio da digestibilidade em diferentes segmentos do trato digestório, por Hernández et al. (1994). Esses autores observaram que embora não existindo diferença significativa para o ganho de peso, a substituição do milho cru pelo milho extrusado melhorou o coeficiente de digestibilidade e a taxa de eficiência protéica da dieta. Nesse mesmo sentido, Venou et al. (2003) avaliaram o efeito da extrusão no milho e no trigo, com o *gilthead sea bream* (*Sparus auratus*). Concluíram que o processamento melhorou significativamente a digestibilidade desses alimentos e, que o milho cru se apresentou com os menores coeficientes de digestibilidade para nutrientes e energia.

Zhu et al. (2001) utilizando rações extrusadas a frio, avaliaram com a truta arco-íris o efeito do diâmetro geométrico médio (DGM) dos ingredientes (0,6 e 3,0 mm) na digestibilidade das rações. Estes autores concluíram que o diâmetro não resultou em diferença significativa na digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta e, ainda, na disponibilidade do fósforo. Booth et al. (2002), com o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*), avaliaram em três rações distintas, os efeitos de três métodos de processamento de rações: peletizacão a frio, peletizacão com injeção de vapor e, extrusão, num experimento fatorial 3x3. Concluíram, que a extrusão melhorou significativamente os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca e da energia; que os valores digestíveis da energia e dos nutrientes foram similares para a peletizacão com vapor e a frio e; que as técnicas de processamento não determinaram diferenças significativas para a digestibilidade da proteína das rações.

Sklan et al. (2004) avaliaram, com a tilápia do Nilo, o efeito da peletizacão e da extrusão na digestibilidade de vários alimentos (farinha de peixe, farinha de subprodutos de abatedouro avícola, glúten de milho, farelo de soja, farelo de canola, milho, farelo de trigo, farelo de girassol, sorgo, cevada e quirera de trigo). Estes autores obtiveram coeficientes de digestibilidade variando de 75,0 a 97,0% para a proteína bruta, de 72,0 a 90,0% para os lipídeos, de 39,0 a 89,0% para a energia, de 32,0 a 80,0% para os carboidratos e, de 75,0 a 90,0% para os aminoácidos. Entretanto, concluíram que ambos os processos (extrusão e peletizacão) resultaram em coeficientes de digestibilidade similares.

Booth et al. (2000) avaliaram, com o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*), os efeitos do DGM da partícula (entre 500 e 1000 µm) e do processamento de rações práticas. Estes autores concluíram que a extrusão melhorou a digestibilidade e a conversão alimentar das rações. Observaram ainda que a adição de vapor melhorou o ganho de peso e a conversão alimentar e, que não houve efeito da moagem ou da interação entre a moagem e a adição de vapor no desempenho dos peixes.

Robaina et al. (1999) avaliaram a digestibilidade, a excreção de amônia pós prandial e, os níveis de metabólitos no plasma do *European sea bass* (*Dicentrarchus labrax*) alimentados com rações peletizadas ou extrusadas, com ou sem glúten de trigo. Estes autores concluíram que a extrusão diminuiu a excreção de amônia pelos peixes e, que entretanto, não melhorou a digestibilidade dos nutrientes das rações.

Cheng & Hardy (2003a) avaliaram, com a truta arco-íris, os efeitos da extrusão na digestibilidade aparente do farelo de soja, cevada, glúten de milho e, do trigo integral. Concluíram que a extrusão melhorou significativamente a digestibilidade da matéria seca, da energia e da gordura e; que a mesma reduziu a digestibilidade da proteína e, a disponibilidade do fósforo, cobre, ferro e zinco. Cheng & Hardy (2003a) encontraram, respectivamente, para o farelo de soja, cevada, glúten de milho e, trigo integral, respectivamente, coeficientes de digestibilidade de 98,1; 94,3; 75,4 e 90,2% para a proteína bruta, 78,4; 67,2; 86,0 e 71,1% para a matéria seca, 81,9; 69,9; 88,9 e 77,1% para a energia bruta.

Alonso et al. (2001) estudaram, em ratos, os efeitos do processamento na disponibilidade de minerais da ervilha e do feijão comum. Observaram que a extrusão reduziu os fatores antinutricionais presentes e aumentou a disponibilidade do cálcio, magnésio, cobre e do fósforo dessas leguminosas. Nesse mesmo sentido, Davis & Arnold (1995) determinaram,

com o *Penaeus vannamei*, os coeficientes de digestibilidade da energia de cereais submetidos a duas condições de extrusão (a seco e úmida), concluindo que a extrusão aumentou a energia digestível dos cereais e, que a escolha das condições de extrusão dependem das características do alimento. Estes autores encontraram valores de energia digestível para o trigo integral, fubá de milho, farelo de arroz e amido, respectivamente, de 3857, 3917, 3093 e 3785 kcal/kg com o processo de extrusão a seco; 3571, 3037, 3914 e 3370 kcal/kg com a extrusão úmida e; 3811, 3617, 4173 e 2821 kcal/kg para os alimentos não submetidos ao processo de extrusão.

Cheng & Hardy (2003) avaliaram os efeitos, pela truta arco-íris, da suplementação de fitase e do processamento (extrusão e peletizacão) na digestibilidade dos nutrientes da soja integral. Concluíram que a extrusão melhorou a digestibilidade da proteína e diminuiu a disponibilidade de enxofre, magnésio e fósforo e, que a suplementação com 400 UF/kg de soja aumentou significativamente a disponibilidade dos minerais. Com essa mesma espécie, Akimoto et al. (1992) determinaram a ação do processamento (extrusão e peletizacão) em rações compostas por farinha de peixe ou farinha de peixe seca à baixa temperatura e tratada com enzimas. Concluíram que a extrusão melhorou a digestibilidade do amido e da energia das rações e, não observaram diferenças na digestibilidade da proteína e dos lipídios.

Jeong et al. (1991) avaliaram, com o *red sea bream*, o efeito do processamento em alimentos ricos em carboidratos, e concluíram que a extrusão melhorou a digestibilidade do amido da batata e do centeio, com efeito positivo no crescimento e na eficiência alimentar dos peixes. Nesse sentido, Schwertner et al. (2003) determinaram o desempenho de juvenis de truta arco-íris alimentados com rações submetidas a quatro processamentos (expansão, extrusão, peletizacão a vapor e, peletizacão com condicionador). Embora tenham encontrado semelhantes desempenhos dos peixes, concluíram que os métodos de processamento modificam significativamente as características físicas dos alimentos, cujos coeficientes de digestibilidade para a matéria seca variaram entre 71,0 e 89,0%.

Sorensen et al. (2002) não encontraram diferenças na digestibilidade da proteína, aminoácidos e energia, pela truta arco-íris, de rações extrusadas sob diferentes temperaturas (100, 125 e 150°C). Watanabe et al. (2001) estudaram o efeito do processamento da ração no tempo de trânsito da digesta e, no padrão de aminoácidos livres no plasma, com o *yelowtail* (*Seriola quinqueradiata*), concluindo que o conteúdo de digesta foi maior no estômago dos

peixes alimentados com as rações extrusadas, em relação àqueles que receberam péletes úmidos e, que o processamento pode tornar indisponível parte da metionina suplementada na ração.

Pezzato et al. (2002) determinaram, para a tilápia do Nilo, os coeficientes de digestibilidade aparente de 17 alimentos. Concluíram que dentre os alimentos energéticos o milho, milho extrusado, trigo e a quirera de arroz apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade; dentre os alimentos protéicos destacaram-se o glúten-60, farelo de glúten de milho e o farelo de canola e; que dentre os alimentos de origem animal se destacaram a farinha de subprodutos de abatedouro avícola e a farinha de peixe.

El-Saidy e Gaber (2003) avaliaram, com a tilápia do Nilo, a mistura (partes iguais de 25,0%) de farelo se soja, farelo de algodão, farelo de girassol e farelo de linhaça. Estes autores concluíram que esta mistura substituiu 75,0% da farinha de peixe da ração, sem que houvesse diferença na digestibilidade da proteína da ração. Gomes et al. (1995) substituíram, em rações para a truta arco-íris, a proteína da farinha de peixe por proteínas de origem vegetal, e concluíram que as proteínas da farinha de peixe apresentaram maior coeficiente de digestibilidade. Nesse mesmo sentido, Hossain et al. (2003) avaliaram, com a tilápia do Nilo, a inclusão na ração (níveis de até 38,8%) de sementes de sesbania (*Sesbania aculeata*), observando que níveis maiores que 9,7% de sesbania nas rações resultaram em pior digestibilidade para a matéria seca, lipídios e energia.

Allan et al. (1999) ao avaliarem, com o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*), diferentes métodos para determinação do coeficiente de digestibilidade dos nutrientes, constataram que foi prática a coleta de fezes por sedimentação (após 18 horas). Estes autores concluíram ainda que a digestibilidade da dieta se mostrou similar à soma dos coeficientes de digestibilidade de cada ingrediente que compunham a dieta. Resultados semelhantes foram obtidos em água salgada, com o salmão (*Oncorhynchus tshawytscha*) por Hajen et al. (1993), quando concluíram que o sistema *Guelph* de coleta de fezes, e o marcador externo Cr_2O_3 foram úteis para a determinação do coeficiente de digestibilidade. Estes mesmos autores concluíram, ainda, que as fezes devem ser colhidas rapidamente da coluna de coleta, de modo a minimizar a lixiviação dos nutrientes.

McGoogan & Reigh (1996) estudaram, com o *red drum* (*Sciaenops ocellatus*), a digestibilidade aparente da farinha de sangue, milho, farelo de algodão, sorgo, farinha de carne

e ossos, farinha de peixe, quirera de arroz, farelo de soja e do trigo. Concluíram que esta espécie digere eficientemente a proteína da ração (74,0 a 100,0%); que os alimentos com mais que 60,0% de proteína e menos que 2,0% de fibra bruta, apresentaram os mais altos coeficientes de digestibilidade e; que a digestibilidade da matéria seca e da energia foi influenciada positivamente pelo teor de proteína e de lipídeos e, negativamente pelo conteúdo de fibra bruta.

Gaylord e Gatlin (1996) avaliando, com *red drum* (*Sciaenops ocellatus*), a digestibilidade de vários alimentos, encontraram baixos coeficientes de digestibilidade para a proteína da farinha de abatedouro de aves; para o extrato etéreo e energia dos alimentos de origem vegetal e; que a disponibilidade de fósforo no trigo foi maior (79,0%), e na farinha de abatedouro de aves a menor (27,0%).

Fontainhas-Fernades et al. (1999) determinaram, com a tilápia do Nilo, a digestibilidade da soja integral, farelo de soja e, da semente de ervilha. Estes autores observaram que a extrusão, por desativar os fatores antinutricionais, aumentou significativamente a digestibilidade da proteína destes alimentos. Segundo Fontainhas-Fernades et al. (1999), o trigo micronizado apresenta melhor digestibilidade que o triticale, também micronizado.

Cheng et al. (2003) estudaram, com a truta arco-íris, os efeitos da suplementação de lisina em rações a base de alimentos de origem vegetal e concluíram que as rações contendo proteína vegetal apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade para a proteína bruta, quando comparados às rações com farinha de peixe.

A soja e seus co-produtos se apresentam como sucedâneo protéico às rações dos peixes tropicais, em função de suas características nutritivas, balanço em aminoácidos e conteúdo energético. No entanto, a soja pode conter fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina, os quais podem ser inativados pelo calor. Neste sentido, Olivatelles et al. (1994) avaliaram, em truta arco-íris, o efeito do tratamento térmico (extrusão e micronização) da soja. Concluíram que a inclusão na ração de 20,0% da soja integral extrusada ou micronizada, resultou em melhora significativa na digestibilidade da proteína.

Watanabe & Pongmaneera (1993) avaliaram, com a truta arco-íris, o farelo de soja como fonte de proteína em rações extrusadas. Obtiveram coeficientes de digestibilidade de 91,0% para a proteína, 54,0% para o amido e, 80,0% para a energia bruta e, concluíram que a

soja pode substituir em 50,0% a farinha de peixe da ração, sem prejuízos ao desempenho e a utilização da proteína dietária.

Laining et al. (2003) determinaram, com o *humpback grouper* (*Cromileptes altivelis*), a digestibilidade de nutrientes de vários alimentos de origem vegetal e animal. Estes autores obtiveram para matéria seca e proteína bruta, respectivamente, os seguintes coeficientes de digestibilidade: farinha da cabeça de camarão (58,5 e 78,0%), farelo de soja (54,8 e 67,2%), farelo de torta de palma (45,3 e 80,5%), farinha de sangue seca em estufa (48,1 e 55,2%), farinha de sangue fermentada com ácido fórmico (67,9 e 87,5%), farinha de sangue fermentada com ácido propiônico (61,7 e 84,2%), farinha de sardinha (87,2 e 92,5%), farinha de peixe (59,1 e 82,4%) e, quirera de arroz (22,2 e 59,5%).

Lupastch et al. (1997) determinaram, com o *gilthead seabream* (*Sparus auratus*), os valores digestíveis da farinha de peixe, farinha de abatedouro de frangos, farinha de carne, farinha de sangue, farinha de lula, farelo de soja e, do farelo de trigo. Estes autores obtiveram médias de digestibilidade de 79,0 a 90,0% para a proteína bruta, 83,0 a 95,0% para lipídeos, 72,0 a 88,0% para energia e, de 49,0 a 77,0% para os carboidratos. Lupastch et al. (1997) encontraram, ainda, valores digestíveis dos aminoácidos superiores aos da proteína bruta e, diferença significativa entre a digestibilidade individual dos aminoácidos.

Sugiura et al. (1998) determinaram em diferentes alimentos, com os salmonídeos (truta arco-íris e salmão), a digestibilidade da proteína e a disponibilidade de minerais (Ca, P, Mg, Zn, Na, Fe, Cu, Se e Mn). Estes autores obtiveram alto coeficiente de digestibilidade para proteína e alta disponibilidade de potássio (maior que 80,0%) em todos alimentos avaliados; que a disponibilidade aparente de minerais não possuiu correlação com a ingestão destes na dieta e; que a disponibilidade dos minerais variou entre os alimentos estudados.

Degani (2002) determinou, com híbridos de esturjão, o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína e da energia de três alimentos protéicos (farinha de peixe, farelo de soja e farinha de abatedouro de aves). Estes autores obtiveram valores de, respectivamente, 81,0% e 13,0 kj/g para a farinha de peixe, 81,9% e 12,1 kj/g para o farelo de soja e, para a farinha de abatedouro de frango 64,6% e 10,2 kj/g para o CDa da proteína e energia digestível.

No sentido de avaliar a utilização de carboidratos por juvenis de *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*), Stone et al. (2003b) determinaram a digestibilidade e a utilização do amido e produtos de sua degradação (dextrina, amilose, glicose) do trigo e da ervilha. Estes autores

concluíram que a digestibilidade do amido, matéria seca e da energia foram afetados pelo grau de geleificação e, pelo nível de inclusão na ração do amido de trigo e; que quanto maior o grau de geleificação, maior a sua digestibilidade, sendo reduzida quando o nível de inclusão ultrapassou a 30,0%.

Stone et al. (2003a) determinaram, com o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*), os efeitos da interação entre o cozimento e o tipo de amido na digestibilidade da matéria seca, da energia e proteína da ração. Estes autores concluíram que esses fatores tiveram influência nos valores digestíveis da energia e matéria seca das rações e; observaram que o tipo de amido, o a sua interação não tiveram efeito significativo na digestibilidade da proteína.

Maina et al. (2002) determinaram a digestibilidade e o valor nutritivo de alguns alimentos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Estes autores obtiveram coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e valores de energia digestível, respectivamente, de 90,0% e 3624 kcal/kg para uma farinha de peixe local; 90,0% e 4003 kcal/kg para farinha de peixe chilena; 86,0% e 1400 kcal/kg para o farelo de girassol alta fibra; 89,0% e 2200 kcal/kg para o farelo de girassol baixa fibra e; 75,0% e 1787 kcal/kg para a quirera de trigo.

Cheng et al. (2004) determinaram, com a truta arco-íris, a digestibilidade de subprodutos da indústria da cevada (levedura seca de cervejaria, grão de cevada seco à alta e baixa temperatura e, do concentrado protéico do grão de cevada) e, de subprodutos de origem animal (farinha integral de poedeiras, farinha de vísceras de aves, farinha de penas e, plasma suíno *spray-dried*). Estes autores concluíram que a digestibilidade da proteína do concentrado protéico de cevada foi alto para esta espécie quando comparado com os demais subprodutos da cevada e; que dentre os subprodutos de origem animal, o plasma suíno *spray-dried* foi o que apresentou melhor coeficiente de digestibilidade.

Bureau et al. (1999) determinaram a digestibilidade de subprodutos de origem animal submetidos a diferentes processamentos, com a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Estes autores, obtiveram coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e da energia, respectivamente: de 87,0 a 91,0% e 77,0 a 87,0% para a farinha de abatedouro de aves; de 81,0 a 87,0% e 76,0 a 80,0% para a farinha de penas; de 82,0 a 99,0% e 79,0 a 99,0% para a farinha de sangue e; de 83,0 a 89,0% e 68,0 a 83,0% para a farinha de carne e ossos. Estes autores observaram, ainda, que a secagem por *spray-dry* da farinha de sangue tornou-a mais digestível.

Ulloa & Verreth (2002) determinaram, em alevinos de tilápia aureus (*Oreochromis aureus*), a digestibilidade de rações contendo diferentes níveis de subproduto da indústria do café (borra de café fermentado). Observaram que as rações contendo 0,0 e 6,0% de inclusão de borra de café apresentaram coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da matéria seca similares ao controle e; que a inclusão de níveis maiores que 6,0% diminuíram a digestibilidade da proteína e da matéria seca, com exceção dos carboidratos.

Nessa dissertação apresentam-se duas pesquisas que se encontram nos capítulos II e III, realizadas com o objetivo de determinar os valores digestíveis dos principais alimentos utilizados pela indústria de alimentos para peixes tropicais no Brasil. A primeira pesquisa apresenta os valores digestíveis da proteína e aminoácidos de oito alimentos protéicos extrusados. A segunda, os valores digestíveis da matéria seca, proteína, aminoácidos e da energia de cinco alimentos energéticos extrusados.

O Capitulo - II, intitulado **"Digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos de alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)"** se apresenta de acordo com as normas para publicação da revista ***Aquaculture***. Esta pesquisa teve por objetivo específico avaliar a digestibilidade dos aminoácidos e da proteína de oito alimentos protéicos de origem animal e vegetal pela tilápia do Nilo.

O Capítulo - III, intitulado **"Digestibilidade dos nutrientes de alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)"**, está de acordo com as normas para publicação na revista ***Aquaculture Nutrition***. O objetivo específico desta pesquisa foi determinar o valor nutricional, pela tilápia do Nilo, de cinco alimentos energéticos.

Referências Bibliográficas

AKIMOTO, A.; TAKEUCHI, T.; SATOH, S.; WATANABE, T. Effect of extrusion processing on nutritional-value of brown fish-meal diets for rainbow-trout. *Nippon Suisan Nagakkaishi*, v.58, n.8, p.1477-1482, 1992.

ALLAN, G.L.; ROWLAND, S.J.; PARKINSON, S.; STONE, D.A.J.; JANTRAROTAI, W. Nutrient digestibility for juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus*: development of methods. *Aquaculture*, v.170, n.2, p.131-145, 1999.

ALLEN DAVIS, D.; ARNOLD, C.R. Effects of two extrusion processing conditions on the digestibility of four cereal grains for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, v.133, p.287-294, 1995.

ALONSO, R.; RUBIO, L.A.; MUZQUIZ, M.; MARZO, F. The effect of extrusion cooking on mineral bioavalibility in pea and kidney bean seed meals. *Anim. Feed Scienc. and Technol*. v.94, p.1-13, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis. Washington, 1995.

BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L.; EVANS, A.J.; GLEESON, V.P. Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch Bidyanus bidyanus. *Aquaculture Research*. v.33, n.14, p.1163-1173, 2002.

BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L.; FRANCES, J.; PARKINSON, S. Effects of grinding, steam conditioning and extrusion of a practical diet on digestibility and weight gain of silver perch, *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture*, v.182, p. 287-299, 2000.

BUREAU, D.P.; HARRIS, A.M.; CHO, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. v.180, p.345-358, 1999.

CHENG Z.J.J.; HARDY, R.W. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. v.218, n.1-4, p.501-514, 2003b.

CHENG, Z.J., HARDY, R.W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, v.9, p.77-83, 2003a.

CHENG, Z.J.; HARDY, R.W.; HUIGE, N.J. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). *Aquaculture Research*. v.35, p.1-9, 2004.

CHENG, Z.J.; HARDY, R.W.; USRY, J.L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients. *Aquaculture*. v.215, n.1-4, p.255-265, 2003.

CHO, C.Y. La energia en la nutrición de los peces. In: *Nutrición en Acuicultura II* . Ed. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta, Madrid-España. p.197-237. 1987.

CHOUBERT, G. Nutrient digestibility in fish: Methodological aspects. *Cybium*. v.23, n.1, p.113-125, 1999.

DEGANI, C. Availability of protein and energy from three protein sources in hybrid sturgeon *Acipenser guldenstadti* x *A. bester*. *Aquaculture Research*. v.35, p.725-727, 2002.

EL-SAIDY, DMSD & GABER, M.M.A. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research*, v.34, n.13, p.1119-1127, 2003.

FONTAINHAS-FERNANDES, A.; GOMES, E.; REIS-HENRIQUES, M.A.; COIMBRA, J. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of Nile tilapia: digestibility and growth performance. *Aquaculture International*. v.7, n1, p. 57-67, 1999.

GAYLORD, T.G.; GATLIN, D.M. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*. v.139, v.3-4, p.303-314, 1996.

GOMES, E.F.; REMA, P.; KAUSHIK, S.J. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*. v.130, p.177-186, 1995.

HAJEN, W.E.; BEAMES, R.M.; HIGGS, D.A.; DOSANJH, B.S. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus Tshawytscha*) in sea-water. 1. Validation of technique. *Aquaculture*, v.112, n.4, p.321-332, 1993.

HENRICHFREISE, B. & PFEFFER, E. Wheat and wheat starch as potential sources of digestible energy for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* v.67, p.143-147, 1992.

HEPHER, B. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge University Press, New York, 388p. 1988.

HERNANDEZ, M.; TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. Effect of gelatinized corn meal as a carbohydrate source on growth-performance, intestinal evacuation, and starch digestion in common carp. *Fisheries Science*, v.60, n.5, p.579-582, 1994.

HIGUERA, M. de la. Diseños e métodos experimentales de evaluación de dietas. In: MONTEROS, J.A.E. de los, LABARTA, M. (ed.). *Nutrición en Acuicultura II*. Madrid: Comis Asesora de Ivestigación Científica y Técnica, p.291-318, 1987.

HOSSAIN, M.A.; FOCKEN, U.; BECKER, K. Antinutritive effects of galctomannan-rich endosperm of Sesbania (*Sesbania aculeata*) seeds on growth and feed utilization in tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, v.34, n.13, p.1171-1179, 2003.

JEONG, K.S.; TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. Improvement of nutritional quality of carbohydrate ingredients by extrusion process in diets of red-sea bream. *Nippon Suisan Nagakkaishi*. v.57, n.8, p.1543-1549, 1991.

LAINING, A.; RACHMANSYAHA; AHMADA, T.; WILLIAMSB, K. Apparent digestibility of selected feed ingredients for humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture*. v.218, p.529–538, 2003.

LOVELL, R.T. Nutrition and feeding of channel catfish. In: Allan, G.L., Dall, W. Eds. , Proc. Aquaculture Nutrition Workshop, Salamander Bay, 1991. NSW Fisheries, Brackish Water Fish Culture Research Station, Australia, p.3-8, 1992.

LOVELL, T. Nutrition and feeding of fish. Academic Press, London, 1988.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G. WM.; SKLAN, D.; PFEFFER, E. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their predictability in compound diets for gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture Nutrition*. v.3, p.81–89, 1997.

MAINA, J.G.; BEAMES, R.M.; HIGGS, D.; MBUGUA, P.N.; IWAMA, G.; KISIA, S.M. Digestibility and feed value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*. v.33, p.853-862, 2002.

MAYNARD, L.A.; LOOSLY, J.K. Nutrição Animal. Rio de Janeiro: Mcgraw Hill, 550p. 1966.

MCGOOGAN, B.B.; REIGH, R.C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture*. v.141, n.3-4, p.233-244, 1996.

OLIVATELES, A.; GOUVEIA, A.J.; GOMES, E.; REMA, P. The effect of different processing treatments on soybean-meal utilization by rainbow-trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. v.124, n.1-4, p.343-349, 1994.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W.M.; PEZZATO, A.C. Digestibilidade de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. de Zootec*. v.31, n.4, p.1595-1604, 2002.

ROBAINA, L.; CORRAZE, G.; AGUIRRE, P.; BLANC, D.; MELCION, J.P.; KAUSHIK, S. Digestibility, postprandial ammonia excretion and selected plasma metabolites in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets with or without wheat gluten. *Aquaculture*, v.179, p.45-56, 1999.

SCHWERTNER, M.A.; LIU, K.K.M.; BARROWS, F.T.; HARDY, R.W.; DONG, F.M. Performance of post-juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed diets manufactured by different processing techniques. *Journal Of The World Aquaculture Society*. v.34, n.2, p.162-174, 2003.

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

SORENSEN, M.; LJOKJEL, K.; STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K.D.; SKREDE, A. Apparent digestibility of protein, amino acids and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a fish meal based diet extruded at different temperatures. *Aquaculture*. v.211, n.1-4, p.215-225, 2002.

STECH, M.R.; CARNEIRO, D.J. Utilização do farelo de soja e da soja integral na alimentação do pacu (*Piractus mesopotamicus*). III Digestibilidade da fração protéica. In: Aqüicultura Brasil'98. Recife. Resumos, p.16, 1998.

STONE, D.A.J.; ALLAN, G.L.; ANDERSON, A.J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). II. Digestibility and utilization of starch and its breakdown products. *Aquaculture Research*. v.34, p.109-121, 2003b.

STONE, D.A.J.; ALLAN, G.L.; PARKINSON, S.; FRANCES, J. Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). II. Effects of cooking on

digestibility of a practical diet containing different starch products. *Aquaculture Research*. v.34, n.3, p.195-204, 2003a.

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

TAKEUCHI, T.T.; HERNÁNDEZ, M.; WATANABE, T. Nutritive value of gelatinized corn meal as a carbohydrate source to grass carp and hibrid tilápia. *Fisheries Science*. v.50, n.5, p.573-577, 1994.

ULLOA R., J.B.; VERRETH, J.A.J. Growth, feed utilization and nutrient digestibility in tilapia figerlings (*Oreochromis aureus* Steindachner) fed diets containing bacteria-treated coffee pulp. *Aquaculture Research*. v.33, p.189-195, 2002.

VENOU, B.; ALEXIS. M.N.; FOUNTOULAKI, E.; NENGAS, I.; APOSTOLOPOULOU, M.; CASTRITSI-CATHARIOU, I. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (Sparus aurata) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. *Aquaculture*. v.225, n.1-4, p.207-223, 2003.

WATANABE, T.; PONGMANEERAT, J. Potential of soybean-meal as a protein-source in extruded pellets for rainbow-trout. *Nippon Suisan Nagakkaishi*. v.59, n.8, p.1415-1423, 1993.

WATANABE, T.; AKIMOTO, A.; AOKI, H.; SHIMENO, S. Effects of physical properties of diets on evacuation time of digesta and plasma free amino acid patterns in yellowtail. *Fisheries Science*. v.67, n.3, p.456-460, 2001.

ZHU, S.; CHEN, S.; HARDY, R.W.; BARROWS, F.T. Digestibility, growth and excretion response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Waulbaum) to feeds of different ingredient particle sizes. *Aquaculture Research*. v.32, p.885-893, 2001.

Digestibilidade aparente da proteína e dos aminoácidos de alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

RESUMO

São escassos os valores de digestibilidade de aminoácidos dos alimentos para a tilápia do Nilo, apesar de ser uma das espécies mais cultivadas mundialmente. Desta forma, determinou-se, com a tilápia do Nilo, os coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos e da proteína de oito alimentos protéicos: farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras de aves e, farinha de penas, farelo de soja, farelo de algodão–28, farelo de algodão-38 e, glúten de milho-60. Os alimentos foram incorporados a uma dieta prática referência na relação 7:3 (70,0% de dieta referência e 30,0% do alimento teste). Entre os alimentos de origem animal, a farinha de vísceras (89,73%) e a farinha de peixe (88,60%) apresentaram os maiores valores de digestibilidade aparente da proteína (DaP), enquanto a farinha de carne e ossos (78,44%) e a farinha de penas (78,52%) apresentaram os menores valores de DAP. Entre os alimentos de origem vegetal, o glúten de milho-60 (91,39%) e o farelo de soja (92,44%) apresentaram os maiores valores de DAP, enquanto o farelo de algodão-28, o menor valor (78,59%). A digestibilidade média aparente dos aminoácidos do farelo de soja, glúten de milho, farelo de algodão-28, farelo de algodão-38, farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras e farinha de penas, foi respectivamente, 92,33; 89,56; 73,45; 80,71; 88,89; 84,44; 91,24 e 79,71%, o qual se mostrou similar ao valor obtido para a digestibilidade da proteína.

Palavras-chave: valor nutritivo, nutrição de peixes, avaliação de alimentos.

Apparent amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ABSTRACT

Instead Nile tilapia is one of the most cultured fish species in the world, amino acid availability values of feed ingredients are scarce for this specie. Thus, apparent amino acid availability coefficients and protein digestibility of four animal products (fish meal, meat and bone meal, poultry by-product and feather meal) and four plant protein-rich products (soybean meal, cottonseed meal 28, cottonseed meal 38 and corn gluten meal) were determined for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ingredients were incorporated to a practical reference diet at a 7:3 ratio (70% of reference diet and 30% of test ingredient). Chromic oxide was used as external digestibility marker. Among animal products poultry by-product meal (89.73%) and fish meal (88.60%) presented the highest apparent protein digestibility (APD) while meat and bone meal (78.44%) and feather meal (78.52%) presented the lowest APD. Among plant protein-rich products corn gluten meal (91.39%) and soybean meal (92.44%) presented the highest APD values while cottonseed meal 28 presented the lowest APD (78.59%). Average apparent amino acid availability of feed ingredients were similar to protein digestibility with 92.33%, 89.56%, 73.45%, 80.71%, 88.89%, 84.44%, 91.24% e 79.71% values for soybean meal, corn gluten meal, cottonseed meal 28 and 38, fish meal, meat and bone meal, poultry by-product meal and feather meal, respectively.

Key words – nutritional value, fish nutrition, feed evaluation.

Introdução

A proteína é o primeiro nutriente limitante quando da formulação de dietas para peixes, visto o alto custo que os produtos ricos neste nutriente atingem no mercado de alimentos destinados à nutrição animal. Entretanto, os peixes não possuem exigência de proteína *per si*, mas sim de aminoácidos. Segundo o NRC (1993) a exigência em aminoácidos pela tilápia se apresenta estabelecida. Entretanto, Furuya et al. (2004) propuseram a utilização das exigências nutricionais baseadas no conceito de proteína ideal quando na formulação de dietas para peixes.

Para máxima produtividade animal, a primeira preocupação dos nutricionistas é a necessidade de se entender a capacidade de absorção dos α-aminoácidos pelo organismo, de forma que as dietas sejam balanceadas para suprir adequadamente os aminoácidos, uma vez que as células necessitam de contínuo suprimento de aminoácidos para atender sua demanda metabólica (Matthews, 2000).

Uma grande variedade de fontes protéicas se encontra disponível para a indústria de alimentos para a aqüicultura e muitas pesquisas têm sido publicadas visando a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente da proteína destes alimentos para a tilápia (Pezzato et al, 2002; Furuya et al., 2001; Meurer et al, 2003; Fontaínhas-Fernandes et al., 1999). No entanto, poucos estudos têm sido conduzidos em relação à disponibilidade de aminoácidos destes produtos para a tilápia, enquanto dados são encontrados na literatura para outras espécies como *Hybrid striped bass* (*Morone chrysops x M. saxatilis*) , *yellowtail* (*Seriola quinqueradiata*), *Rockfish* (*Sebastes schlegeli*), *South african abalone* (*Haliotis midae* L.), salmão (*Salmo salar*), carpa (*Carassius auratus gibelio*), *largemouth bass* (*Micropterus salmoides*) e, bagre-do-canal (*Ichytaluru punctatus*) (Gaylord et al., 2004; Portz & Cyrino, 2004; Sales & Britz, 2003; Masumoto et al., 1996; Allan et al., 2000; Lee, 2002; De Silva et al., 2000; Xie et al., 2001; Anderson et al., 1995; Cheng & Hardy, 2002; Wilson et al., 1981).

Entretanto, a maioria destes estudos tem sido conduzida utilizando dietas referência (purificadas) submetidas ao processo de peletização, enquanto a indústria de rações utiliza o processo de extrusão para a produção destas dietas. Estudos têm demonstrado o efeito do processo de extrusão do alimento na digestibilidade e no desempenho dos peixes, uma vez que

o processamento pode influenciar a utilização das frações nutritivas (Cheftel, 1986; Vens-Cappell, 1984; Hilton et al., 1981; Booth et al., 2002; Cheng & Hardy, 2003; Jeong et al., 1991; Booth et al., 2000).

Baseado no exposto, o estudo teve como objetivo determinar a digestibilidade aparente da proteína e a disponibilidade de aminoácidos de oito alimentos protéicos, submetidos ao processo de extrusão, comumente utilizados na formulação de dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

2. Material e Métodos

2.1. *Confecção das dietas*

A dieta referência (Tabela 2) foi formulada de forma a atender as exigências nutricionais da tilápia do Nilo (NRC, 1993). O óxido de crômio-III foi usado como marcador externo na concentração de 0,1% da dieta de acordo com Bremer Neto et al. (2005). Os ingredientes-teste e o suplemento vitamínico e mineral foram obtidos da indústria de alimentos para animais *Mogiana Alimentos Ltda*.

Os ingredientes-teste avaliados no presente estudo foram: o farelo de soja, glúten de milho-60, farelo de algodão-28, farelo de algodão-38, farinha de carne e ossos, farinha de peixe, farinha de vísceras de aves e, farinha de penas hidrolisada. Todos os ingredientes foram moídos de forma a se apresentarem com diâmetro inferior a 500µm. Após, foram incorporados à dieta referência numa relação 7:3 (70,0% da dieta referência e 30,0% do ingrediente-teste).

A composição química e o conteúdo em aminoácidos dos ingredientes-teste e da dieta referência encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1 e 3. As dietas foram mecanicamente homogeneizadas e água foi adicionada (25,0% do peso natural) em misturador automático (*Ação Científica*). As dietas foram submetidas ao processo de extrusão em equipamento de rosca simples (*Extrutec*), com capacidade para processar 20 $kg.h^{-1}$ de ração, de forma a se obterem péletes com aproximadamente 5,0 mm de diâmetro. Após resfriamento, as dietas foram secas em estufa com recirculação forçada de ar a 55,0 ºC durante 12 horas e armazenadas em freezer a –18,0 ºC até a utilização.

2.2. *Sistema experimental e peixes*

A pesquisa foi conduzida na Unesp - Universidade Estadual Paulista, no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (*AquaNutri*) do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Câmpus de Botucatu, São Paulo, Brasil.

Para alimentação, os peixes foram alojados em dez aquários circulares e, utilizaram-se cinco aquários para a coleta de fezes. Esses aquários de alimentação possuem formato cilíndrico e são confeccionados em fibra de vidro, com 250 litros de volume/cada. O aquário de coleta de fezes apresenta fundo cônico, para favorecer a decantação das fezes que se depositam num recipiente com capacidade para 300 ml, facilitando a sua coleta. Tanto os aquários de alimentação, quanto os de coleta de fezes estão ligados a um sistema de recirculação contínua de água, com filtro físico e biológico e, temperatura da água mantida por meio de termostato eletrônico e digital a 27,0±0,5°C.

No sentido de monitorar a qualidade da água dos aquários, o teor de oxigênio dissolvido (mg/L) e o pH foram avaliados semanalmente, respectivamente, por meio de oxímetro e peagômetro digitais. Durante o período experimental os parâmetros de qualidade de água do sistema mantiveram-se constantes e de acordo com a faixa de conforto para a espécie: temperatura de 26,2 a 27,5°C, teor de oxigênio dissolvido entre 7,4 a 8,2 mg/L e, pH de 6,5 a 7,3.

Os peixes, com peso médio de 86,46±8,31 gramas foram alojados numa densidade de vinte peixes por unidade, em gaiolas de formato circular (80,0 cm de diâmetro e 60,0 cm de altura), confeccionadas em tela plástica (malha de 1,5 cm entre-nós). Foram adquiridos 1000 alevinos de tilápia do Nilo provenientes da piscicultura *Aquabel*, dos quais 400 peixes foram selecionados e distribuídos em três aquários de 250L/cada. Estes peixes receberam ração de crescimento produzida nesse laboratório até atingirem tamanho ideal para serem transferidos para as gaiolas. Neste momento foram selecionados 180 peixes de tamanho uniforme e distribuídos em nove gaiolas onde permaneceram até atingirem peso médio de 100,0 g.

2.3. *Procedimento experimental*

Durante o período matutino, os peixes foram alimentados a cada duas horas e, no período vespertino a alimentação foi intensificada a cada hora. Esta freqüência alimentar foi aplicada a um dos grupos (cinco das gaiolas) em dias subseqüentes, do qual foi obtida a amostra de fezes. Ao segundo grupo de quatro gaiolas, foi adotado apenas o manejo de alimentação e, somente no próximo período de 24 horas foi utilizado para coleta de fezes, correspondendo, para cada grupo, um descanso de 24 horas.

No final de cada tarde (18:00 horas), as gaiolas eram transferidas aos aquários de coleta de fezes, onde permaneceram até a manhã do dia seguinte, sendo, então, a gaiola devolvida ao respectivo aquário de alimentação. As fezes de cada aquário de coleta foram secas em estufa a 55,0ºC, moídas em micro moinho e após, conservadas a -20,0°C. Foi coletado um volume representativo de fezes para obtenção de quatro repetições por tratamento. Esse manejo, onde os peixes se alimentam num sistema independente do utilizado para a coleta de fezes, evita a contaminação do material colhido com sua respectiva ração, conforme metodologia proposta por Pezzato et al. (2002). Foi, ainda, efetuado um processo de limpeza de todo o sistema, 15 minutos após a última refeição, preparando desta forma os aquários para nova coleta (dia seguinte).

2.4. *Análises químicas*

As análises químico-bromatológicas e a determinação dos aminoácidos dos diferentes alimentos, rações e fezes foram realizadas pelo "Laboratório de Alta Tecnologia – Labtec - *Mogiana Alimentos S.A.*", segundo padrões da AOAC (1995). A determinação da concentração de óxido de crômio-III, das rações e das fezes, foi realizada no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da UNESP – Câmpus de Botucatu, segundo metodologia proposta por Bremer Neto et al. (2005) e a análise de energia foi realizada em bomba calorimétrica (*Parr Instrument, Moline-IL*) no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química e Bioquímica da UNESP – Câmpus de Botucatu.

2.5. *Cálculo do coeficiente de digestibilidade aparente*

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDa) foi calculado com base na seguinte fórmula:

$$Da_{(n)} = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_{3r}}{\%Cr_2O_{3f}}\right) \times \left(\frac{\%N_f}{\%N_r}\right)\right]$$

onde:

Da(n) = Digestibilidade aparente;

Cr_2O_3r = % de óxido de crômio-III na ração;

Cr_2O_3f = % de óxido de crômio-III nas fezes;

N r = Nutrientes na ração;

Nf= Nutriente nas fezes.

O coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes de cada alimento foi calculado de acordo com a equação apresentada abaixo, proposta por Forster (1999):

$$CDAN_{ing.} = \frac{\left[(a+b) \times CDAN_{teste} - a \times CDAN_{ref.}\right]}{b}$$

onde:

$CDAN_{ing.}$ = coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente no alimento;

$CDAN_{teste}$= coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente da dieta-teste;

$CDAN_{refer.}$= coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente da dieta referência;

a = contribuição de nutrientes da dieta referência ao conteúdo de nutrientes da dieta-teste;

b = contribuição de nutrientes do ingrediente-teste ao conteúdo de nutrientes da dieta-teste;

a + *b* = nível do nutriente da dieta-teste.

2.6. *Análise estatística*

O experimento consistiu de oito tratamentos (fontes protéicas) e quatro repetições arranjados num delineamento em blocos ao acaso. De forma a facilitar a comparação entre os

alimentos, estes foram didaticamente divididos em dois grupos: protéicos de origem animal e protéicos de origem vegetal, visto as características peculiares a estes dois grupos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando observada diferença significativa entre tratamentos foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey. Os dados foram analisados utilizando o programa computacional SAS 8.12 (*Statistical Analysis Software*).

3. Resultados

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDa) da proteína e dos aminoácidos, dos diferentes alimentos, encontram-se na Tabela 4. Foram observadas diferenças significativas entre os alimentos, quanto a digestibilidade da proteína e a disponibilidade dos diferentes aminoácidos.

Entre os alimentos protéicos de origem vegetal, o farelo de soja foi o alimento que apresentou maior coeficiente de digestibilidade aparente ($P<0,05$) para os aminoácidos (CDaAA) arginina, lisina, triptofano e valina. Entretanto, para os demais aminoácidos essenciais não foi observada diferença entre o farelo de soja e o glúten de milho. Os menores valores de CDaAA foram para o farelo de algodão-28 e farelo de algodão-38, respectivamente. Não foi observada diferença significativa entre os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (CDaPB) do farelo de soja e do glúten de milho. Entretanto o primeiro apresentou tendência de melhor CDaPB, enquanto o farelo de algodão-28 apresentou o pior CDaPB entre os alimentos de origem vegetal utilizados.

Para os alimentos protéicos de origem animal, a farinha de vísceras de aves foi o que apresentou maior CDa ($P<0,05$) para os aminoácidos histidina e fenilalanina. Entretanto, para os demais aminoácidos não foi observada diferença entre este alimento e a farinha de peixe, apesar da farinha de vísceras de aves ter mostrado tendência de maiores valores.

Entre os alimentos protéicos de origem animal, a farinha de penas e a farinha de carne e ossos foram aqueles que revelaram os menores valores de CDaAA. Os maiores CDaPB foram apresentados pela farinha de vísceras de aves e pela farinha de peixe, enquanto os menores CDaPB foram para a farinha de penas de aves e farinha de carne e ossos.

Pode-se observar (Tabela 4) que todos os alimentos protéicos (vegetal e animal), exceto os farelos de algodão 28 e 38, apresentaram CDa maiores que 70,0%. Os aminoácidos que se apresentaram com CDa menores que 70,0%, nesses alimentos, foram a treonina, valina, ácido aspártico, glicina e a prolina para o farelo de algodão-28 e, a lisina para o farelo de algodão-38.

Na Tabela 5 encontram-se os valores de aminoácidos digestíveis dos ingredientes-teste utilizados nesta pesquisa. Pode-se observar que entre os alimentos de origem vegetal o farelo de algodão-38 apresentou menor conteúdo de metionina digestível quando comparado aos demais alimentos. Já o farelo de soja apresentou maior conteúdo em lisina digestível em relação aos demais alimentos protéico de origem vegetal.

Entre os alimentos protéicos de origem animal os valores de triptofano digestível foram menores para todos ingredientes quando comparado aos demais aminoácidos, entretanto a farinha de carne e ossos destacou-se como alimento que possuiu menor conteúdo em triptofano digestível. A farinha de vísceras de frango apresentou o maior conteúdo em lisina digestível quando comparado aos demais alimentos avaliados.

De forma geral, o CDa da metionina foi maior que a média do CDaAAs. Entretanto, com exceção do que foi observado para a farinha de carne, a treonina possuiu CDa menor que a média dos aminoácidos.

4. Discussão

Dentre os alimentos protéicos de origem vegetal, o farelo de soja e o glúten de milho-60 apresentaram os maiores valores de digestibilidade aparente da proteína (DaPB).

A digestibilidade da proteína do farelo de soja foi de 92,0%. Este valor foi similar aos descritos por Furuya et al. (2001) e Pezzato et al. (2002) e, maiores que os obtidos, também com a tilápia do Nilo, por Köprücü & Özdemir (2005). Resultados similares foram, ainda, encontrados por Sugiura et al. (1998) em pesquisas realizadas com a truta arco-íris e o salmão *coho*. Entretanto, valores elevados de DaPB foram observados por Sales & Britz (2003) com o *South african abalone*, por Portz & Cyrino (2004) com *largemouth bass* e, por De Silva et al. (2000) com *Murray cod*.

A DaPB do glúten de milho-60, obtida no presente estudo, foi de 91,39%. Este resultado foi similar ao observado por Köprücü & Özdemir (2005) e por Watanabe et al. (1996). Por outro lado, Pezzato et al. (2002) em pesquisa que avaliou, com a tilápia do Nilo, utilizando rações não extrusadas, obtiveram valores de DAPB superiores aos desta pesquisa.

Há cinco subprodutos do processamento do algodão disponíveis para a indústria de alimentação animal no Brasil. Destes cinco alimentos resultantes da extração de óleo, apenas três são utilizados pela indústria de alimentos para a aqüicultura, os quais diferenciam-se pelo conteúdo de proteína e fibra.

Os resultados observados (Tabela 4) para o farelo de algodão-28 foram similares àqueles obtidos, com o bagre africano, por Fagbenro (1998) e, maiores que àqueles obtidos por Pezzato et al. (2002), também com tilápia do Nilo. Entretanto, Xie et al. (2001) avaliando diferentes subprodutos de oleaginosas com a carpa comum, obtiveram valores de digestibilidade da proteína bruta superiores ao do presente estudo.

Pode-se observar, ainda, na Tabela 4, que o farelo de algodão-38 apresentou melhor valor de digestibilidade da proteína bruta, em relação ao farelo de algodão-28. Isto pode ser devido ao menor conteúdo em fibra bruta presente no farelo de algodão-38, resultando em reduzida velocidade de trânsito do alimento pelo sistema digestório e, conseqüente melhora na utilização das frações nutritivas.

Entre os alimentos protéicos de origem vegetal, foram observadas diferenças para a digestibilidade aparente de alguns aminoácidos (DaAA). O farelo de soja, glúten de milho-60 e o farelo de algodão-28 foram os alimentos em que a treonina foi o aminoácido limitante que apresentou a menor Da. Estes resultados corroboram com àqueles obtidos, em pesquisa com a tilápia do Nilo, por Furuya et al. (2001). Entretanto, estes se mostraram diferentes daqueles obtidos, com essa mesma espécie, por Köprücü & Özdemir (2005). Tais diferenças podem ser atribuídas ao processamento ao qual o alimento foi submetido, pois segundo Higera (1987) a extrusão se destaca entre os fatores que podem influenciar a digestibilidade pela melhora na disponibilidade da energia. Deve-se destacar, ainda, que a temperatura de extrusão pode afetar a biodisponibilidade de alguns aminoácidos, resultado da complexação dos aminoácidos com os açúcares do alimento (Cheftel, 1986).

Pode-se observar (Tabela 4) que o farelo de soja apresentou baixo conteúdo em metionina. Entretanto, todos os alimentos vegetais, com exceção do farelo de algodão-38, revelaram alto CDa para a metionina.

O farelo de soja e o glúten de milho-60 apresentaram valores de digestibilidade aparente de aminoácidos superiores aos valores obtidos por Köprücü & Özdemir (2005) e, similares àqueles observados por Furuya et al. (2001) para o farelo de soja. Entretanto, quando comparados com estudos conduzidos com outras espécies de peixes, os resultados da presente pesquisa mostraram-se contraditórios, resultado do processamento à que foram submetidos durante a confecção das dietas experimentais. Durante a extrusão, altas temperaturas são empregadas, o que resulta na inativação dos fatores antinutricionais presentes nestes ingredientes (Cheftel, 1986; Scott et al., 1982). Tais diferenças podem ser, ainda, explicadas pelas diferenças anatômicas, morfológicas e fisiológicas existentes entre as espécies. Nesse sentido, Masumoto et al. (1996) afirmou que as diferenças nos CDa dos nutrientes, encontradas entre farelos de glúten de milho-60, são decorrentes da diferença de pH empregadas durante a extração dos extratos protéicos do milho.

Observou-se (Tabela 4) diferença acentuada entre a composição química e a digestibilidade das frações nutritivas dos dois farelos de algodão utilizados no estudo. Pode-se observar que, com exceção para a leucina, lisina, fenilalanina, metionina, alanina e a tirosina, o farelo de algodão-38 apresentou maiores valores de CDa dos aminoácidos que o farelo de algodão-28.

Durante a obtenção do farelo de algodão, segundo Cheng & Hardy (2002), o método de extração e o solvente utilizado para retirada do óleo da torta podem influenciar em sua digestibilidade. Nesse processo, alguns solventes como a acetona, possuem maior capacidade de extração do gossipol, o que melhora a digestibilidade dos nutrientes presentes. Ogunji (2004) salientou, ainda, que durante o processamento mecânico o gossipol é liberado e reage com o grupo amino da lisina, deixando-a indisponível. A diminuição do valor biológico de uma dieta que contenha farelo de algodão, resulta da combinação aparente de bases Schiff's entre o grupo carbonil do gossipol e o grupamento amino de aminoácidos, resultando em fator de toxicidade e efeito cumulativo de gossipol (Conkerton & Frampton, 1959). Deste modo, as diferentes formas de processamento dos farelos explicam a mais alta disponibilidade de alguns

aminoácidos do farelo de algodão-28 em relação ao farelo de algodão-38, apesar do menor conteúdo em fibra deste último.

O CDAPB dos alimentos de origem animal variaram de 78,44 a 89,73%. Entre estes, a farinha de peixe e a farinha de vísceras de aves apresentaram maiores CDAPB que a farinha de penas e a farinha de carne e ossos. A digestibilidade da proteína da farinha de peixe foi de 88,60%. Este valor foi similar aos obtidos, também com a tilápia do Nilo, por Fontaínhas-Fernandes et al. (1999) e, por Lee (2002) com o *rockfish* (*Sebastes schlegeli*). Entretanto, estes valores (Tabela 4) mostraram-se menores daqueles reportados por Furuya et al. (2000) e Köprücü & Özdemir (2005) com a tilápia do Nilo e, por Wilson et al. (1981) com o bagre do canal. Entretanto, os valores obtidos no presente estudo foram superiores àqueles apresentados por Pezzato et al. (2002), também com a tilápia do Nilo.

Observou-se (Tabela 4) grande variabilidade (81,15 a 96,13%) para a disponibilidade individual de aminoácidos da farinha de peixe. Tal diferença se mostra discordante da encontrada por Köprücü & Özdemir (2005), quando obtiveram valores mais próximos de disponibilidade individual de aminoácidos (89,6 a 94,0%). Diferenças ainda maiores de disponibilidades dos diferentes aminoácidos da farinha de peixe (73,52 a 91,61%) foram apresentadas por Furuya et al. (2000), trabalhando com tilápia do Nilo.

Essas diferenças podem ser atribuídas às características das farinhas de peixe utilizadas nesses estudos, visto que a farinha de peixe utilizada neste trabalho foi obtida a partir dos resíduos de filetamento, com grande percentagem de ossos e tecidos conectivos. Entretanto, os valores de digestibilidade de aminoácidos e proteína apresentados pela farinha de peixe (Tabela 4) foram semelhantes aos obtidos, com o *rockfish*, por Lee (2002).

As diferenças nos valores de DaPB e AA observados por Köprücü & Özdemir (2005), Furuya et al. (2000), Lee (2002) e Pezzato et al. (2002) podem ser conseqüência, ainda, dos diferentes métodos de processamento para obtenção das farinhas de peixe, do tempo de armazenamento do produto, da quantidade de gordura extraída e, da qualidade do material bruto utilizado. Segundo Masumoto et al. (1996), Anderson et al. (1995) e Davidek et al. (1990), tais fatores podem indisponibilizar aminoácidos essenciais, pela formação de ligações cruzadas entre aminoácidos, as quais podem não ser hidrolisadas pelas enzimas digestivas; ou ainda, pela oxidação de alguns aminoácidos e, da reação de oxidação dos lipídeos com aminoácidos.

A farinha de vísceras de aves apresentou os melhores valores de digestibilidade da proteína e dos aminoácidos (Tabela 4). Deve-se ressaltar que a farinha de vísceras de aves e a farinha de peixes apresentaram semelhantes valores de digestibilidade aparente dos aminoácidos da proteína. A farinha de vísceras de aves apresentou digestibilidade da proteína de 89,73% e, disponibilidade dos aminoácidos entre 86,22 e 97,29%.

Estes resultados foram superiores aos apresentados, com a tilápia do Nilo, por Meurer et al. (2003) e Hanley (1987). Entretanto, estes se mostraram semelhantes aos encontrados, também com a tilápia do Nilo, por Pezzato et al. (2002). Estudos com outras espécies de peixes como *Hybrid striped bass* (Gaylord et al., 2004), *red drum* (*Sciaenops ocellatus*) (Gaylord & Gatlin III, 1996) e *largemouth bass* (Portz & Cyrino, 2004) revelaram valores inferiores de DaPB da farinha de vísceras, quando comparados aos do presente estudo.

Segundo o NRC (1993), o CDaPB dos subprodutos de abatedouro de aves são inferiores àqueles apresentados para a farinha de peixe. Embora os resultados de DaPB obtidos neste estudo, tenham se mostrado similar ao da farinha de peixe, pesquisas conduzidas com salmão e truta arco-íris (Sugiura et al., 1998) e, tilápia do Nilo (Pezzato et al., 2002) demonstraram que dependendo da qualidade da farinha de vísceras de aves, esta pode apresentar resultados superiores aos da farinha de peixe.

A farinha de vísceras apresentou (Tabela 4) disponibilidade média dos aminoácidos superior a 90,0%, com exceção da leucina, treonina, valina, glicina, prolina e da tirosina, demonstrando a qualidade deste alimento para a elaboração de dietas para a tilápia. Entretanto, este alimento pode conter elevados teores de lipídeos (15 a 20%) e, de minerais (média de 16%) o que pode proporcionar pior desempenho ao peixe.

Abdel-Warith et al. (2001) desenvolveram estudo, com o bagre africano (*Clarias gariepinus*), no sentido de substituir a farinha de peixe pela farinha de vísceras de aves. Estes autores observaram a ocorrência de fígado gordo com 100,0% de substituição e, concluíram que a farinha de peixes pode ser substituída em até 40,0% sem comprometer o desempenho. Entretanto, El-Sayed (1998) observou que, para a tilápia do Nilo, a farinha de vísceras de aves pode substituir totalmente a farinha de peixe da ração.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, o CDa da proteína da farinha de carne e ossos foi de 78,44%. A farinha de carne e ossos, semelhante à farinha de penas, apresentou os piores resultados de CDa, se comparado aos demais alimentos.

Este resultado concorda com àqueles apresentados para a tilápia do Nilo por Pezzato et al. (2002), para o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*) por Allan et al. (2000), *red drum* (*Sciaenops ocellatus*) (Gaylord & Gatlin, 1996), *Murray cod* (*Maccullochella peelii peelii* M.) e *shortfin eel* (*Anguilla australis* R.) (De Silva et al., 2000), os quais variaram de 71,5 a 78,9%. Entretanto, estudos conduzidos por Lee (2002) com o *rockfish* (*Sebastes schlegeli*) e por Watanabe et al. (1996) com a tilápia do Nilo, apresentaram CDaPB de 91,0 e 96,2%, respectivamente. Estas diferenças podem estar relacionadas com a farinha empregada nesses estudos, visto estas apresentarem diferentes níveis de proteína e cinzas totais. Segundo o NRC (1993), a proteína dos ossos e tecidos conectivos presentes na farinha de carne e ossos não é tão bem digerida como a proteína dos músculos.

A farinha de carne e ossos (Tabela 4) apresentou Da média dos aminoácidos de 84,44%. Os aminoácidos isoleucina, ácido aspártico e serina apresentaram os menores valores de Da (abaixo de 80,0%). A Da dos aminoácidos isoleucina, lisina e serina apresentou-se inferior a dos demais alimentos de origem animal. Mesma tendência foi observada por Allan et al. (2000) para a disponibilidade da lisina com o *silver perch*. Segundo Carpenter & Booth (1973), isto se deve à menor disponibilidade da lisina, possível resultado do excesso de aquecimento no processamento, reduzindo a digestibilidade da proteína das farinhas de origem animal ou, pela baixa digestibilidade da proteína nos fragmentos de ossos (NRC, 1993).

A farinha de penas é originada do processo de hidrólise das penas de aves sob alta pressão e temperatura, cuja digestibilidade é baixa para várias espécies animais. Visto o atual mercado de aves e bovinos ter banido o uso de ingredientes de origem animal na formulação de dietas para estas espécies, têm se procurado alternativas para estes subprodutos. Uma das soluções seria a utilização em dietas para organismos aquáticos.

Desta forma, a presente pesquisa determinou o valor nutritivo da farinha de penas, a qual apresentou (Tabela 4) CDaPB de 78,52%. Esse valor de digestibilidade foi um dos mais baixos, quando comparado aos demais alimentos de origem animal.

Este resultado foi similar aos valores reportados com o salmão *coho* (*Oncorhynchus kisutch*) (Sugiura et al., 1998) e com o *rockfish* (Lee, 2002) e, inferiores àqueles observados com a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Sugiura et al., 1998) e com o *silver perch* (Allan et al., 2000). Já Pezzato et al. (2002) observaram valores de CDaPB, para a farinha de penas, menores com a tilápia do Nilo (29,12%). Estas diferenças podem estar relacionadas ao

processamento a que foi submetido o produto bruto (penas), o qual pode melhorar a disponibilidade de alguns aminoácidos e a digestibilidade da proteína. Segundo Moritz & Latshaw (2001) a alta pressão no processo de hidrólise da farinha de penas, por tempo prolongado, diminui a digestibilidade da proteína.

Conforme observado na Tabela 4, a farinha de penas apresentou menores valores de digestibilidade para os aminoácidos histidina, fenilalanina, treonina, valina, cistina, glicina, prolina e tirosina. Estes resultados foram similares aos observados, com o *rockfish*, por Lee (2002), o qual não observou diferença significativa entre os ingredientes que avaliou.

A farinha de penas não processada possui grande quantidade de cistina e baixa de metionina, ambos apresentando baixa digestibilidade. O processo de hidrólise intensa provoca a conversão de cistina em lantionina e, aumenta a digestibilidade deste aminoácido (Moritz & Latshaw, 2001). Na presente pesquisa a cistina apresentou uma das menores digestibilidades, o que sinaliza que este produto sofreu indevido processamento.

Não foi observada baixa digestibilidade da metionina, no presente estudo, corroborando com os resultados obtidos por Allan et al. (2000) e Lee (2002), indicando que *silver perch* e *rockfish* são capazes de melhor utilizar este ingrediente, por terem disponibilizado a metionina, de forma mais eficiente.

Estudos de digestibilidade têm sido conduzidos com várias espécies de peixes, disponibilizando valores de nutrientes digestíveis para a formulação de rações balanceadas. Entretanto, os coeficientes de digestibilidade aparente de alguns alimentos se apresentam com alta variabilidade. Segundo Cho & Bureau (2001), estas diferenças devem ser resultantes das diferenças nos métodos de coleta de fezes, erros experimentais inerentes a cada estudo, diferenças no processamento e na composição química dos ingredientes e, pelas diferenças biológicas e ambientais envolvidas nas pesquisas.

Concluiu-se que entre os alimentos de origem vegetal, o glúten de milho-60 e o farelo de soja apresentaram os maiores valores de DaPB, enquanto o farelo de algodão-28 o menor; a digestibilidade média aparente dos aminoácidos do farelo de soja, glúten de milho, farelo de algodão-28, farelo de algodão-38, farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras e da farinha de penas se mostrou similar ao valor obtido para a digestibilidade da proteína e; que a digestibilidade da proteína pode ser utilizada para estimar a digestibilidade média dos aminoácidos do alimento.

5. Referências Bibliográficas

Abdel-Warith, A.A., Russel, P.M., Davies, S.J. 2001. Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture nutrition 32, 296-305.

Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M.A., Stone, D.A.J., Rowland, S.J., Frances, J., Warner-Smith, R., 1999. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. Aquaculture 186, 293-310.

Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M., McNiven, M.A., et al., 1995. Availability of amino acids from various fish meals fed to atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 138, 291-301.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), 1995. Official methods of analysis. Washington.

Booth, M.A., Allan, G.L., Evans, A.J., Gleeson, V.P., 2002. Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. Aquaculture 33, 1163-1173.

Booth, M.A., Allan, G.L., Warner-Smith, R., 2000. Effects of grinding, steam conditioning and extrusion of a practical diet on digestibility and weight gain of silver perch, *Bidyanus bidyanus*. Aquaculture 182, 287-299.

Carpenter, K.J., Booth, V.H., 1973. Damage to lysine in food processing: its measurement and its significance. Nutr. Abstr. Rev. 43, 424-451.

Cheftel, J.C., 1986. Nutritional effects of extrusion-cooking. Food chemistry 20, 263-283.

Cheng, Z.J. & Hardy, R.W., 2002. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 212, 361-372.

Cheng, Z.J. & Hardy, R.W., 2003. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture nutrition 9, 77-83.

Cho, C.Y. & Bureau, D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture 32, 349-360.

Conkerton, E.J. & Frampton, V.H. 1959. Reaction of gossypol with free α-amino groups of lysine in proteins. Arch. Biochem. Biophys. 81, 130-134.

Davidek, J., Velisek, J., Pokorny, J., 1990. Proteins, peptides and amino acids. In: Chemical Changes During Food Processing (ed. by Davidek, J., Velisek, J., Pokorny, J.), Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1-51.

El-Sayed, 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, feeds. Aquaculture Research 29, 275-280.

Fagbenro, O.A., 1998. Apparent digestibility of various oilseed cakes/meals in African catfish diets. Aquaculture international 6, 317-322.

Fontaínhas-Fernandes, A., Gomes, E., Reis-Henrique, M.A, Coimbra, J., 1999. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of Nile tilapia: digestibility and growth performace. Aquaculture international 7, 57-67.

Forster, I., 1999. A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. Aquaculture Nutrition. Short Communication 5, 143-145.

Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Pezzato, A.C., Barros, M.M., de Miranda, E.C., 2001. Coeficiente de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). RBZ 33(4), 1143-1149.

Furuya, W.M.; Pezzato, L.E.; Barros, M.M.; Pezzato, A.C.; Furuya, V.R.B.; Miranda, E.C., 2004. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquac. Research 35, 1110-1116.

Gaylord, T.G. & Gatlin III, D.M., 1995. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops Ocellatus*). Aquaculture 139, 303-314.

Gaylord, T.G., Rawles, S.D., Gatlin III, D.M., 2004. Amino acid availability from animal, blended, and plant feedstuffs for hybrid striped bass (*Morone chrysops* X *M. saxatilis*). Aquaculture nutrition 10, 345-352.

Graner, C.A.F. Determinação de crômio pelo método colorimétrico da s-difenilcarbazida. Botucatu: Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas. 102p. 1972 (Tese de Doutorado).

Hanley, F., 1987. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture 66, 163-179.

Higuera, M. de la., 1987. Diseños e métodos experimentales de evaluación de dietas. In: Monteros, J.A.E. de los, Labarta, M. (ed.). Nutrición en Acuicultura II. Madrid: Comis Asesora de Ivestigación Científica y Técnica, 291-318.

Hilton, J.W., Cho, C.Y., Slinger, S.J., 1981. Effect of extrusion and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological, response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 25, 185-194.

Jeong, K.S.; Takeuchi, T.; Watanabe, T., 1991. Improvement of nutritional quality of carbohydrate ingredients by extrusion process in diets of red-sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 57, 1543-1549.

Koprucu, K. & Ozdemir, Y., 2004. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture article in press.

Lee, S.M., 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 207, 79-95.

Masumoto, T., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosakawa, H., Shimeno, S., 1996. Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Aquaculture 146, 109-119.

Matthews, J.C., 2000. Amino acid and peptide transport systems. In: Farm Animal Metabolism and Nutrition (D'Mello, J.P.F.) CAB International.

Meurer, F., Hayashi, C., Boscolo, W.R., 2003. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). RBZ 32(6), 1801-1809.

Moritz, J.S. & Latshaw, J.D., 2001. Indicators of nutritional value of hydrolyzed feather meal. Poultry Science 80, 79-86.

NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Wassington, DC, 114 pp.

Ogunji, J.O., 2004. Alternative protein sources in diets for farmed. Nutrition abstracts and reviews: series B 74(9), 23-32.

Pezzato, L.E., de Miranda, E.C., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., Pezzato, A.C., 2002. Apparent digestibility of feedstuffs by Nile tilápia (*Oreochromis niloticus*). RBZ 31(4), 1595-1604.

Portz, L. & Cyrino, J.E., 2004. Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *micropterus salmoides* (lacepéde, 1802). Aquaculture 35, 312-320.

Sales, J. & Britz, P.J., 2003. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.). Aquacuture nutrition 9, 55-64.

Scott, M.L., Nesheim, M.C., Young, R.J., 1982. Feedstuffs for poultry. In: Nutrition of the chicken (ed. by Scott, M.L., Nesheim, M.C., Young, R.J.). Scott and Associates, New York, USA, 431-549.

Silva, S.S., Gunasekera, R.M., Gooley, G., 2000. Digestibility and amino acid availability of three protein-rich ingredient-incorporated diets by Murray cod *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell) and the Australian shortfin ell *Anguilla australis* (Richardson). Aquaculture 31, 195-205.

Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K., Hardy, R.W., 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture 159, 177-202.

Vens-Cappell, B., 1984. The effects of extrusion and pelleting of feed for Trout on the digestibility of protein, amino acids and energy and on feed conversion. Aquaculture engineering 3, 71-89.

Watanabe, T., Takeuchi, T., Satoh, S., Kiron, V., 1996. Digestible crude protein contents of various feedstuffs determined with four freshwater fish species. Fish. Sci. 62, 278-282.

Wilson, R.P., Robinson, E.H., and Poe, W.E., 1981. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for channel catfish. J. Nutr., 111, 923-929.

Xie, S., Zhu, X., Cui, Y., Yang, Y., 2001. Utilization of several plant proteins by gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). J. Appl. Ichthyol. 17, 70-76.

Tabela 1. Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas-teste e da dieta referência [a].

Alimentos	International feed number	PB (%)	EE (%)	EB kcal/kg	Ca (%)	P (%)	FB (%)	MM (%)
Farelo de soja	5-04-612	51,21	1,48	3990	0,27	0,62	7,12	7,44
Glúten de milho-60	5-28-242	70,07	9,48	4926	0,02	0,31	0,83	1,70
Farelo de algodão-28	5-01-619	33,37	1,77	4183	0,16	0,79	19,68	5,72
Farelo de algodão-38	5-01-619	37,52	3,28	4177	0,20	0,90	16,37	5,93
Farinha de peixe		57,41	8,61	3200	8,19	3,15	-	33,77
Farinha de carne e ossos	5-09-322	47,30	8,90	3133	13,20	6,18	-	41,34
Farinha de vísceras	5-03-798	62,79	17,12	4864	3,46	2,06	-	18,30
Farinha de penas	5-03-795	86,53	8,13	5574	0,22	0,16	-	2,75
Dieta referência		36,77	4,02	4235	2,27	1,21	4,02	11,12

[a] Composição com base na matéria seca.

Tabela 2. Composição da dieta referência

Ingredientes	g/100g da dieta
Farelo de soja	57,50
Farinha de peixe	5,50
Quirera de arroz	27,40
Farelo de trigo	2,00
Óleo de soja	0,50
Suplemento vitamínico[a]	0,10
Suplemento mineral[b]	0,30
Ácido ascórbico	0,08
Óxido de crômio III	0,10
L-Lisina	0,70
DL-Metionina	0,45
L-Treonina	0,40
Fosfato bicálcico	3,00
Calcário	1,85
Cloreto de sódio	0,10
BHT[c]	0,02

[a] Suplemento vitamínico, níveis de garantia por kg da dieta: vitamina A, 16060 UI; vitamina D_3, 4510 UI; vitamina E, 250 UI; vitamina K, 30 mg; vitamina B_1, 32 mg; vitamina B_2, 32 mg; pantotenato de cálcio, 80 mg; niacina, 170 mg; biotina, 10 mg; ácido fólico, 10 mg; vitamina B_{12}, 32 μg; vitamina B_6, 32 mg.

[b] Suplemento mineral, níveis de garantia por kg da dieta: Na_2SeO_3, 0,7 mg; MnO, 50 mg; ZnO, 150 mg; $FeSO_4$, 150 mg; $CuSO_4$, 20 mg; $CoSO_4$, 0,5 mg; I_2Ca, 1 mg.

[c] antioxidante Butil hidroxitolueno

Tabela 3. Composição em aminoácidos dos ingredientes-teste e da dieta referência

Aminoácidos	FS[a]	GM60[b]	FA28[c]	FA38[d]	FP[e]	FCO[f]	FVF[g]	FPH[h]	DR[i]
Essenciais									
Arginina	3,22	1,89	0,92	3,83	3,45	3,21	4,55	5,71	2,36
Histidina	1,19	1,11	0,54	1,05	1,01	0,64	1,25	0,49	0,89
Isoleucina	2,29	2,40	1,17	2,30	2,26	1,08	2,63	3,91	1,70
Leucina	3,67	9,71	4,72	2,30	3,56	2,30	4,58	6,63	2,73
Lisina	3,97	2,12	1,03	2,21	4,57	2,59	5,01	2,94	3,37
Fenilalanina	2,33	3,31	1,61	1,09	2,02	1,92	2,50	3,84	1,31
Metionina	0,53	1,06	0,51	0,20	1,47	0,46	1,34	0,47	0,60
Treonina	1,69	1,75	0,85	1,14	2,13	1,20	2,46	3,87	1,67
Triptofano	0,50	0,34	0,30	0,43	0,37	0,18	0,51	0,44	0,41
Valina	2,46	2,86	1,39	1,91	2,82	1,80	3,29	5,58	1,93
Não essenciais									
Alanina	2,00	7,36	3,58	1,98	3,80	5,67	6,06	4,88	2,19
Ácido aspártico	5,11	3,24	1,57	3,23	4,50	2,88	5,20	5,31	3,71
Cistina	0,72	0,99	0,50	0,18	0,56	0,38	1,27	4,45	0,54
Glicina	1,94	1,51	0,74	1,56	3,73	7,96	7,76	6,83	1,63
Ácido glutâmico	8,73	12,70	6,17	7,79	7,18	5,10	8,75	8,93	6,45
Prolina	2,45	5,43	1,21	1,50	2,40	4,69	4,83	8,44	1,84
Tirosina	1,17	2,21	1,07	0,68	1,22	0,49	1,54	1,12	0,72
Serina	2,08	2,59	1,26	1,43	1,94	1,50	2,68	9,95	1,49

[a] Farelo de soja;
[b] Glúten de milho 60;
[c] Farelo de algodão 28;
[d] Farelo de algodão 38;
[e] Farinha de peixe;
[f] Farinha de carne e ossos;
[g] Farinha de vísceras de frango;
[h] Farinha de penas hidrolisada;
[i] Dieta referência.

Tabela 4. Coeficiente de digestibilidade dos aminoácidos e da proteína de ingredientes protéicos de origem vegetal e de origem animal pela tilápia do Nilo

	Ingredientes de origem vegetal				Ingredientes de origem animal			
Aminoácido	Farelo de soja	Glúten de milho 60	Farelo de algodão 28	Farelo de algodão 38	Farinha de peixe	Farinha de carne e ossos	Farinha de vísceras	Farinha de penas
Essencial								
Arginina	94,57±0,62^{a}	90,16±1,73^{b}	47,99±2,46^{c}	89,55±1,27^{b}	91,15±2,50^{A}	87,38±1,36^{AB}	91,43±2,02^{A}	85,39±1,58^{B}
Histidina	94,36±1,90^{a}	91,06±1,15^{a}	62,77±2,14^{c}	81,74±1,97^{b}	88,33±1,68^{B}	84,96±1,89^{C}	96,66±1,98^{A}	77,86±1,06^{D}
Isoleucina	91,42±1,85^{a}	89,16±1,71^{ab}	80,63±1,36^{c}	86,02±2,72^{b}	92,13±1,81^{A}	77,42±1,65^{B}	90,94±2,65^{A}	81,70±1,90^{B}
Leucina	91,53±1,60^{a}	92,92±0,57^{a}	86,77±1,36^{b}	80,68±2,34^{c}	86,99±0,96^{A}	82,27±1,63^{B}	88,30±2,27^{A}	79,76±1,04^{B}
Lisina	96,64±1,66^{a}	91,23±2,22^{b}	74,24±1,75^{c}	69,03±1,50^{d}	95,32±1,05^{A}	83,09±1,45^{B}	95,84±1,64^{A}	86,16±2,01^{B}
Fenilalanina	94,28±1,61^{a}	91,69±0,95^{a}	80,08±2,57^{b}	70,23±1,96^{c}	90,47±1,36^{B}	84,44±1,16^{C}	95,24±1,71^{A}	77,78±2,06^{D}
Metionina	93,45±2,58^{a}	95,92±1,06^{a}	94,26±1,31^{a}	81,47±3,27^{b}	92,73±2,11^{B}	95,09±2,23^{AB}	97,28±1,89^{A}	95,44±1,92^{AB}
Treonina	87,07±2,50^{a}	85,58±0,69^{a}	52,71±1,20^{c}	74,28±1,75^{b}	85,75±1,50^{A}	79,33±1,84^{B}	86,22±1,38^{A}	74,47±1,92^{C}
Triptofano	97,82±1,33^{a}	90,22±0,37^{b}	78,73±1,46^{d}	87,68±1,75^{c}	93,35±0,71^{A}	81,12±1,70^{B}	93,17±1,45^{A}	78,24±2,52^{B}
Valina	89,82±2,08^{a}	84,84±0,93^{b}	63,08±1,62^{d}	80,83±1,71^{c}	81,15±0,74^{A}	81,61±1,76^{A}	81,35±1,38^{A}	74,36±1,62^{B}
Não essencal								
Alanina	84,24±2,19^{b}	90,36±1,49^{a}	81,71±1,83^{b}	73,60±1,80^{c}	85,45±0,85^{B}	85,96±1,39^{B}	91,48±2,27^{A}	82,62±1,33^{B}
Ácido aspártico	94,88±1,42^{a}	87,07±2,13^{b}	67,26±2,04^{d}	83,50±0,48^{c}	82,50±0,79^{B}	75,22±1,15^{C}	90,67±2,04^{A}	73,83±1,70^{C}
Cistina	89,30±1,61^{a}	84,67±0,77^{b}	82,94±1,31^{b}	87,87±1,03^{a}	96,13±1,43^{AB}	93,28±2,41^{B}	97,29±1,28^{A}	81,71±1,60^{C}
Glicina	88,38±0,81^{a}	80,53±0,73^{b}	52,21±1,15^{d}	76,68±1,58^{c}	91,09±0,90^{B}	95,04±1,30^{A}	89,49±2,06^{B}	78,02±1,14^{C}
Ácido glutâmico	96,23±1,25^{a}	94,45±0,67^{a}	85,29±1,87^{c}	89,54±0,34^{b}	89,52±1,47^{A}	81,99±2,49^{B}	91,64±1,80^{A}	78,45±2,48^{B}
Prolina	89,60±1,70^{b}	93,92±1,55^{a}	57,78±2,01^{d}	77,42±1,95^{c}	85,70±1,52^{A}	89,50±1,99^{A}	87,21±2,09^{A}	77,66±1,65^{B}
Tirosina	97,77±0,36^{a}	87,63±1,48^{b}	94,58±3,34^{a}	83,65±1,92^{b}	85,66±1,70^{A}	86,26±2,19^{A}	86,83±0,79^{A}	68,08±1,94^{B}
Serina	90,68±1,33^{a}	90,76±0,87^{a}	79,22±1,79^{b}	79,12±1,69^{b}	86,64±1,68^{AB}	76,05±1,49^{C}	91,39±2,47^{A}	83,20±5,76^{B}
Média	92,33	89,56	73,45	80,71	88,89	84,44	91,24	79,71
Proteína bruta	92,44±1,42^{a}	91,39±0,59^{a}	78,59±2,11^{c}	81,78±1,22^{b}	88,60±2,44^{A}	78,44±1,40^{B}	89,73±1,65^{A}	78,52±1,51^{B}

Médias na mesma linha com a mesma letra não são estatisticamente diferentes (P<0,05). Letras maiúsculas são para comparação entre ingredientes de origem animal e letras minúsculas para os ingredientes de origem vegetal.

Tabela 5. Valores de aminoácidos digestíveis de alimentos protéicos de origem vegetal e animal para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Aminoácidos	FS[a]	GM60[b]	FA28[c]	FA38[d]	FP[e]	FCO[f]	FVF[g]	FPH[h]
Essenciais								
Arginina	3,04	1,70	0,44	3,43	3,14	2,80	4,16	4,87
Histidina	1,12	1,01	0,34	0,86	0,89	0,54	1,21	0,38
Isoleucina	2,09	2,14	0,94	1,98	2,08	0,84	2,39	3,19
Leucina	3,36	9,02	4,09	1,85	3,10	1,89	4,04	5,29
Lisina	3,83	1,93	0,76	1,52	4,36	2,15	4,80	2,53
Fenilalanina	2,19	3,03	1,29	0,76	1,83	1,62	2,38	2,99
Metionina	0,49	1,02	0,48	0,16	1,36	0,44	1,30	0,44
Treonina	1,47	1,50	0,45	0,85	1,83	0,95	2,12	2,88
Triptofano	0,49	0,31	0,24	0,38	0,34	0,15	0,47	0,34
Valina	2,21	2,43	0,88	1,54	2,29	1,47	2,68	4,15
Não essenciais								
Alanina	1,68	6,65	2,92	1,46	3,25	4,87	5,54	4,03
Ácido aspártico	4,85	2,82	1,05	2,70	3,71	2,17	4,71	3,92
Cistina	0,64	0,84	0,41	0,16	0,54	0,35	1,23	3,64
Glicina	1,71	1,22	0,39	1,19	3,40	7,56	6,94	5,33
Ácido glutâmico	8,40	11,99	5,26	6,97	6,43	4,18	8,02	7,00
Prolina	2,19	5,10	0,70	1,16	2,06	4,20	4,21	6,55
Tirosina	1,14	1,94	1,01	0,59	1,04	0,42	1,34	0,76
Serina	1,88	2,35	0,99	1,13	1,68	1,14	2,45	8,28

[a] Farelo de soja;
[b] Glúten de milho 60;
[c] Farelo de algodão 28;
[d] Farelo de algodão 38;
[e] Farinha de peixe;
[f] Farinha de carne e ossos;
[g] Farinha de vísceras de frango;
[h] Farinha de penas hidrolisada.

Digestibilidade dos nutrientes de alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Resumo

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDa) da proteína, energia, matéria seca e, a dos aminoácidos foi avaliada para cinco alimentos energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz, farelo de arroz e sorgo) com a tilápia do Nilo. O óxido de crômio-III foi utilizado como marcado inerte das rações. Apresentaram, os maiores CDa da energia e da matéria seca, respectivamente, a quirera de arroz (95,34 e 96,45%), sorgo (82,37 e 87,29%), milho (67,34 e 82,21%), farelo de arroz (57,58 e 55,59%) e, o farelo de trigo (48,94 e 45,88%). Os maiores valores de digestibilidade da proteína foram obtidos para o milho (72,86%) e, o valor mais baixo para o sorgo (56,77%), enquanto a quirera de arroz, farelo de trigo e o farelo de arroz apresentaram valores entre 63,01 e 66,88%. A digestibilidade média dos aminoácidos foi maior para o milho (70,05%). Os menores coeficientes de digestibilidade para a metionina e cistina foram apresentadas pelo farelo de trigo e farelo de arroz, respectivamente. A quirera de arroz mostrou-se o melhor alimento energético para a tilápia do Nilo.

Palavras-chave: valores digestíveis, milho, farelo de trigo, quirera de arroz, farelo de arroz e sorgo

Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Abstract

Apparent digestibility coefficients (ADC) of protein, energy and dry matter, and apparent amino acid digestibility (AAAD) were evaluated for five cereal grain products/by-products (corn, wheat middlings, rice grain, rice bran and sorghum) in compounded diets for Nile tilapia. It was used chromic oxide as inert external marker. The digestibility values of energy and dry matter for ingredients, in increasing order were rice grain (95.34 and 96.45%), sorghum (82.37 and 87.29%), corn (67.34 and 82.21%), rice bran (57.58 and 55.59%) and wheat middlings (48.94 and 45.88%). Protein digestibility values were higher for corn (72.86%) and the lowest value were observed for sorghum (56.77%), while rice grain, wheat middlings and rice bran presented values ranging from 63.01% to 66.88%. Average amino acid digestibility values were higher for corn (70.05%) and lowest methionine and cystine digestibility were recorded for wheat middlings and rice grain, respectively. Therefore, rice grain appears to be the best ingredient for use in diets for Nile tilapia since it presented higher values of nutrient digestibility when compared to the others energetic sources. Moreover the use of this information should aid more precisely and economic diet formulation for Nile tilapia.

Key words: digestible values, corn, wheat middlings, rice grain, rice bran and sorghum

1. Introdução

A tilápia do Nilo é a espécie mais cultivada no Brasil alcançando em 2003 um total de produção de 40.000 toneladas (Furuya et al., 2001) e, com os incentivos governamentais para o aumento na produção aqüícola, estima-se o crescimento anual de 10,0% na produção de tilápias cultivadas. Visto que a alimentação compõe aproximadamente 70,0% dos custos operacionais totais de produção desta espécie, os aqüicultores têm procurado minimizar o custo das rações e melhorar a qualidade destas.

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDa) estima a disponibilidade dos nutrientes nos alimentos e pode ser utilizado na escolha de alimentos que melhorem o valor nutritivo e o custo das rações (Fagbenro, 1999). Desta forma, grupos de pesquisa trabalham, com diferentes espécies de peixes, no sentido de obterem valores de nutrientes digestíveis para a indústria de alimentos.

Diversos autores têm publicado dados de digestibilidade de nutrientes para diferentes espécies de peixes, incluindo a tilápia (Hanley, 1987; Rawles & Gatlin III, 2000; Gaylord & Gatlin III, 1996; Allan et al., 2000; Pezzato et al., 2002; Lee, 2002). Os valores digestíveis dos nutrientes e da energia dos alimentos variam em função do tempo de trânsito gastrintestinal da ingesta, da qualidade do alimento e do processamento a que foi submetida a dieta (NRC, 1993).

Os efeitos da extrusão na digestibilidade dos alimentos e da ração têm sido priorizados (Vens-Cappell, 1984; Cheng & Hardy, 2003; Booth et al., 2002). Rawles & Gatlin III (2000) determinaram, com o *Sunshine bass* (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*), a digestibilidade aparente da proteína, energia, lipídeo, carboidratos e matéria orgânica de dez alimentos extrusados.

Mostram-se escassos os estudos relacionados ao efeito da extrusão na digestibilidade dos alimentos e rações para a tilápia do Nilo. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a digestibilidade dos nutrientes e, a disponibilidade de aminoácidos, de cinco alimentos energéticos extrusados, para essa espécie.

2. Materiais e Métodos

2.1. *Confecção das dietas*

A dieta referência (Tabela 1) foi formulada de forma a atender as exigências nutricionais da tilápia do Nilo (NRC, 1993). O óxido de crômio-III foi usado como marcador externo na concentração de 0,1% da ração, de acordo com Bremer Neto et al. (2005). Os alimentos-teste e o suplemento vitamínico e mineral foram obtidos da indústria de alimentos para animais *Mogiana Alimentos Ltda*.

Os alimentos avaliados no presente estudo foram o milho, farelo de trigo, quirera de arroz, farelo de arroz e o sorgo. Todos os ingredientes foram moídos de forma a se apresentarem com diâmetro inferior a 500µm. Após, foram incorporados à dieta referência numa relação 6:4 (60,0% da dieta referência e 40,0% do alimento-teste).

A composição química e em aminoácidos dos alimentos-teste e, da dieta referência, encontram-se na Tabela 2 e 3, respectivamente. As dietas foram mecanicamente homogeneizadas e água foi adicionada (25,0% do peso natural) em misturador automático (Ação Científica). Após, foram submetidos à extrusão (extrusora de rosca simples - *Extrutec*) com capacidade para processar 20 $kg.h^{-1}$ de ração, de forma a se obterem péletes com aproximadamente 5,0mm de diâmetro. As dietas foram secas em estufa com recirculação forçada de ar à 55,0ºC / 12 horas e armazenadas em freezer a –18,0ºC.

2.2. *Sistema experimental e peixes*

A pesquisa foi conduzida na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (*AquaNutri*) do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Câmpus de Botucatu, SP.

Para alimentação dos peixes foram utilizados seis aquários circulares e, três para coleta de fezes. Esses aquários, com 250 litros de volume/cada, apresentam formato cilíndrico e são confeccionados em fibra de vidro. O aquário de coleta apresenta fundo cônico para favorecer decantação das fezes, as quais se depositam num recipiente com capacidade para 300 ml.

Tanto os aquários de alimentação, quanto os de coleta de fezes estão ligados a um sistema de recirculação contínua de água, com filtro físico e biológico e, temperatura da água mantida por meio de termostato eletrônico e digital a 27,0±0,5°C.

No sentido de monitorar a qualidade da água dos aquários, o teor de oxigênio dissolvido (mg/L) e o pH foram avaliados semanalmente, respectivamente, por meio de oxímetro e peagômetro digitais. Durante o período experimental os parâmetros de qualidade de água do sistema mantiveram-se constantes e, de acordo com a faixa de conforto para a espécie: temperatura de 26,5 a 27,5°C, teor de oxigênio dissolvido entre 7,2 a 8,1 mg/L e, pH de 6,4 a 7,1.

Os peixes, com peso médio de 150,0±16,5 gramas foram alojados numa densidade de 15 peixes por unidade, em gaiolas de formato circular (80,0 cm de diâmetro e 60,0 cm de altura), confeccionadas em tela plástica (malha de 1,5 cm entre-nós).

2.3. *Procedimento experimental*

Durante o período matutino, os peixes foram alimentados a cada duas horas e, no período vespertino a alimentação foi intensificada a cada hora. Esta freqüência alimentar foi aplicada a um dos grupos (três das gaiolas) em dias subseqüentes, do qual foi obtida a amostra de fezes. Ao segundo grupo de três gaiolas adotou-se apenas o manejo de alimentação e, no próximo período de 24 horas este foi utilizado para coleta de fezes.

No final de cada tarde (18:00 horas), as gaiolas foram transferidas aos aquários de coleta de fezes, onde permaneceram até a manhã do dia seguinte, sendo, então, a gaiola devolvida ao respectivo aquário de alimentação. As fezes de cada um dos aquários de coleta foram secas em estufa a 55,0ºC, moídas em micro moinho e após, conservadas a -20,0°C. Foi coletado um volume representativo de fezes para obtenção de quatro repetições por tratamento.

Esse manejo, onde os peixes se alimentam num sistema independente do utilizado para a coleta de fezes, evita a contaminação do material colhido com sua respectiva ração, conforme metodologia proposta por Pezzato et al. (2002). Foi, ainda, efetuado um processo de

limpeza de todo o sistema, 15 minutos após a última refeição, preparando desta forma os aquários para nova coleta (dia seguinte).

2.4. *Análises químicas*

As análises químico-bromatológicas e a determinação dos aminoácidos dos diferentes alimentos, rações e fezes foram realizadas pelo "Laboratório de Alta Tecnologia – Labtec - *Mogiana Alimentos S.A.*", segundo padrões do AOAC (1995). A determinação da concentração de óxido de crômio-III, das rações e das fezes, foi realizada no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da UNESP – Câmpus de Botucatu, segundo metodologia proposta por Bremer Neto et al. (2005) e, a análise de energia foi realizada em bomba calorimétrica (*Parr Instrument, Moline-IL*) no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química e Bioquímica da UNESP – Câmpus de Botucatu.

2.5. *Cálculo do coeficiente de digestibilidade aparente*

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDa) foi calculado com base na seguinte fórmula:

$$Da_{(n)} = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_{3r}}{\%Cr_2O_{3f}} \right) \times \left(\frac{\%N_f}{\%N_r} \right) \right]$$

onde:

Da(n) = Digestibilidade aparente;

Cr_2O_3r = % de óxido de crômio na ração;

Cr_2O_3f = % de óxido de crômio nas fezes;

Nr = Nutrientes na ração;

Nf = Nutriente nas fezes.

O coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes de cada alimento foi calculado de acordo com a equação apresentada abaixo, proposta por Kleiber (1961) como recomendada por Forster (1999):

$$CDAN_{ing.} = \frac{\left[(a+b) \times CDAN_{teste} - a \times CDAN_{ref.}\right]}{b}$$

onde:

$CDAN_{ing.}$ = coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente no ingrediente;

$CDAN_{teste}$= coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente da dieta-teste;

$CDAN_{refer.}$= coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente da dieta referência;

a = contribuição de nutrientes da dieta referência ao conteúdo de nutrientes da dieta-teste;

b = contribuição de nutrientes do ingrediente-teste ao conteúdo de nutrientes da dieta-teste;

a + *b* = nível do nutriente da dieta-teste.

2.6. *Análise estatística*

O experimento consistiu de cinco tratamentos (alimentos energéticos) e quatro repetições arranjados num delineamento em blocos ao acaso onde o tempo foi considerado como bloco. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando observada diferença significativa entre tratamentos foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey. Os dados foram analisados utilizando o programa computacional SAS 8.12 (Statistical Analysis Software).

3. Resultados

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia bruta estão apresentados na Tabela 3. Entre os alimentos estudados, àqueles que apresentaram melhores valores de digestibilidade da matéria seca e energia bruta foram, em ordem decrescente, a quirera de arroz, sorgo, milho, farelo de arroz e o farelo de trigo. Entretanto, o CDa da proteína foi maior para o milho, enquanto o sorgo apresentou o menor valor de digestibilidade da proteína. A quirera de arroz, o farelo de trigo e o farelo de arroz apresentaram semelhantes valores de digestibilidade da fração proteína bruta.

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDa) dos aminoácidos dos alimentos energéticos, utilizados no estudo, está apresentada na Tabela 4. O CDa dos aminoácidos foi variável entre os ingredientes e dentro de cada ingrediente.

A digestibilidade média dos aminoácidos essenciais do farelo de trigo e do milho foi, respectivamente, de 59,29 e 68,21%. Conforme pode ser observado, a digestibilidade média de todos os aminoácidos foi baixa, apresentando-se entre 59,50 e 70,05% para o farelo de arroz e o milho, respectivamente.

Com exceção do milho, o CDa da arginina foi alto para todos os alimentos estudados (Tabela 3). O aminoácido histidina apresentou maiores valores de digestibilidade aparente (Da) somente para o milho e a quirera de arroz, enquanto a leucina mostrou-se mais digestível para o milho e o sorgo.

A quirera de arroz apresentou os maiores valores de Da dos aminoácidos, embora não tenha diferido do farelo de trigo. O farelo de arroz apresentou maior digestibilidade para a tirosina (94,09%). Destaca-se, ainda, a alta digestibilidade do ácido glutâmico no farelo de trigo e no milho, e da prolina apenas para o milho. O milho apresentou, ainda, o maior valor de digestibilidade para a valina, alanina, metionina e serina, embora estes valores tenham se mostrado inferiores a 80,0%.

O sorgo apresentou maior digestibilidade ($P<0,05$) do aminoácido isoleucina, se comparado aos demais alimentos. Já o farelo de trigo apresentou maior digestibilidade da glicina, enquanto o farelo de arroz a maior digestibilidade para a tirosina. O aminoácido metionina apresentou menor digestibilidade no farelo de trigo (16,43%), seguido do farelo de arroz (29,61%), enquanto a cistina apresentou baixa digestibilidade para a quirera de arroz (29,52%).

Os valores de aminoácidos digestíveis dos alimentos energéticos, utilizados no estudo, estão apresentados na Tabela 5.

Entre os alimentos energéticos utilizados no estudo o conteúdo de metionina e triptofano digestível dos alimentos foram os mais baixos entre os aminoácidos, entretanto o farelo de trigo e o farelo de arroz apresentaram o menor conteúdo em metionina digestível quando comparado a todos os aminoácidos em todos os alimentos. O farelo de arroz foi o alimento que apresentou o maior valor de lisina digestível entre os alimentos. Ressalta-se

ainda o maior conteúdo de arginina e leucina digestível dos alimentos quando comparado aos demais aminoácidos essenciais.

4. Discussão

Os coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos (CDaAA) dos alimentos energéticos utilizados no presente estudo (Tabela 4) foram inferiores aos relatados por Furuya et al. (2001), Wilson et al. (1981) e, Allan et al. (2000). Estas diferenças podem estar relacionadas às diferenças anatômicas e fisiológicas do sistema digestório das espécies (Masumoto et al., 1996) e, ao processamento empregado para a confecção das dietas (Cheftel, 1986; Higera, 1987).

As diferenças entre os CDa dos aminoácidos apresentadas por esses autores e esta pesquisa (Tabela 3) podem ser atribuídas às diferentes equações utilizadas para a determinação da digestibilidade dos alimentos, visto que, no presente estudo empregou-se a fórmula proposta por Kleiber (1961), enquanto os demais autores aplicaram a equação proposta por Cho & Slinger (1979). Segundo Forster (1999), estas duas equações podem resultar em diferentes resultados, especialmente se a contribuição em nutrientes do ingrediente-teste diferir significativamente da dieta referência, destacando-se que o presente estudo utilizou alimentos com baixo conteúdo protéico (aminoácidos). Deve-se considerar, ainda, que cuidados devem ser tomados quando da comparação de valores de digestibilidade aparente, visto que, diferenças nos métodos de coleta de fezes podem influenciar os resultados obtidos (Allan et al., 2000).

O aminoácido glicina apresentou (Tabela 4) menor digestibilidade para o milho. Embora Wilson et al. (1981), em pesquisa com o bagre do canal (*Ichytallurus punctatus*), tenham obtido valores de CDa superiores aos dessa pesquisa, estes autores observaram que entre os alimentos que estudaram, o milho também apresentou baixa disponibilidade da glicina. Entretanto, Furuya et al. (2001) obtiveram, com a tilápia do Nilo, maior valor de disponibilidade da glicina para o milho. Os CDa dos aminoácidos histidina, leucina, lisina, treonina, alanina, ácido aspártico, ácido glutâmico, tirosina e a serina, para o milho foram similares aos encontrados por Wilson et al. (1981), os quais observaram para a arginina e

fenilalanina, CDa inferiores aos da presente pesquisa, embora a isoleucina, metionina e a prolina tenha se mostrado superior.

A quirera de arroz apresentou (Tabela 4) valores mais baixos de digestibilidade média dos aminoácidos (62,23%) que os 82,2% obtidos por Wilson et al. (1981). Observa-se, ainda, que a quirera de arroz apresentou o mais baixo CDA para a cistina.

Conforme apresentado na Tabela 3, a arginina apresentou o maior CDa entre os aminoácidos para o sorgo. Estes resultados foram similares aos obtidos por Allan et al. (2000) com o *silver perch* (*Bidyanus bidyanus*) e, Freire (2004) com a tilápia do Nilo. Dentre os aminoácidos que apresentaram digestibilidade abaixo da média (histidina, lisina, treonina, valina, alanina, ácido aspártico, cistina e glicina), a lisina apresentou a pior digestibilidade para o sorgo. Estes resultados são contrários aos observados por Allan et al. (2000) e Freire (2004), os quais obtiveram valores superiores para a digestibilidade da lisina.

Essa menor digestibilidade apresentada pelo sorgo (Tabela 3) pode ser explicada pela ação seqüestradora do tanino frente aos aminoácidos, principalmente a prolina (Mueller-Harvey e McAllen, 1992). Embora as rações tenham sido submetidas ao processo de extrusão (alta temperatura), este processo não inativa totalmente o tanino presente neste ingrediente. Deve-se ressaltar, ainda, que grandes perdas de lisina e danos nutricionais podem ocorrer, pela reação de Maillard quando cereais ou misturas são extrusadas à baixa umidade, especialmente na presença de açúcares redutores, o que pode levar a condensação do grupamento amino dos resíduos de lisina com grupos carboxilas dos açúcares (Cheftel, 1986).

O farelo de trigo e o farelo de arroz apresentaram a menor digestibilidade da metionina, inferior aos demais aminoácidos de todos os alimentos (Tabela 3). A digestibilidade média dos aminoácidos foi similar entre o farelo de trigo e o farelo de arroz. Resultados semelhantes foram obtidos por Wilson et al. (1981), embora com valores mais altos de digestibilidade. Segundo Furuya et al. (2001) o CDa da proteína e dos aminoácidos podem ser menores no farelo de trigo, pelos elevados teores de fibra bruta e polissacarídeos não-amiláceos presentes, os quais reduzem o tempo de trânsito da digesta e o contato entre a enzima e seu substrato.

Quando comparado aos demais alimentos, o farelo de arroz apresentou a menor digestibilidade para a prolina e, a maior foi para a tirosina. Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Wilson et al. (1981), com o bagre do canal, os quais mostraram a baixa

digestibilidade dos aminoácidos deste ingrediente. Isto pode ser devido ao elevado nível de fibra e, ao alto teor de gordura deste alimento, o qual pode levar à oxidação alguns dos aminoácidos durante a extrusão.

Segundo Furuya et al. (2001), Wilson et al. (1981), Gaylord et al. (2004) e Sales & Britz, (2003), há alta correlação entre a digestibilidade média dos aminoácidos e a digestibilidade da proteína do alimento. Entretanto, estes mesmos autores recomendaram a utilização da digestibilidade individual dos aminoácidos, visto a variação que ocorre entre a digestibilidade de diferentes aminoácidos dentro de um determinado ingrediente. Estas observações corroboram com os resultados obtidos no presente estudo (Tabela 3), onde alta variabilidade foi observada na digestibilidade individual dos aminoácidos de cada alimento.

A determinação do coeficiente de digestibilidade da fração aminoacídica dos alimentos, apresenta-se como ferramenta primordial para a formulação de dietas balanceadas. Visto a grande quantidade de alimentos energéticos utilizados pelas indústrias de rações, estes alimentos acabam contribuindo significativamente ao aporte de aminoácidos da ração. Assim, é fundamental a determinação da digestibilidade dos aminoácidos que compõem a proteína dos alimentos, sob processamento similar ao que ocorre na prática.

A digestibilidade total ou da matéria seca de um alimento ou de uma dieta, mostra o quanto da dieta ou do alimento foi digerido (De Silva, 1995). Pode-se observar que a digestibilidade aparente da matéria seca dos alimentos energéticos (Tabela 4) foi alta e parece estar correlacionada ao nível de fibra do alimento. Os CDas da matéria seca do milho (82,21%), do sorgo (87,29%) e, da quirera de arroz (96,45%) obtidos neste estudo, mostraram-se superiores aos observados por Boscolo et al. (2002), McGoogan & Reigh (1996), Rawles & Gatlin III (2000), Fagbenro (1999), Pezzato et al. (2002) e Allan et al. (2000).

Nesta pesquisa, a quirera de arroz mostrou-se com o melhor CDa da matéria seca (96,45%). Embora poucos estudos tenham determinado a digestibilidade deste alimento, o mesmo tem sido incorporado nas formulações das rações, visto seu alto conteúdo em amido (principalmente amilopectina), o qual facilita o processo de extrusão e melhora a qualidade do pélete obtido.

O farelo de trigo apresentou (Tabela 4) a pior digestibilidade da matéria seca ($P<0,05$). Valores semelhantes aos deste estudo foram obtidos por Fagbenro (1999), trabalhando com carpa comum. Entretanto, os CDa da matéria seca encontrados com a tilápia do Nilo (Boscolo

et al., 2002; Pezzato et al., 2002) e, com o *sunshine bass* (Rawles & Gatlin III) foram maiores que os apresentados neste estudo. Os valores publicados por McGoogan & Reigh (1996), com o *red drum* e, por Maina et al. (2002) com a tilápia do Nilo, foram menores que os encontrados neste estudo. Já para o farelo de arroz a literatura apresenta menores valores de digestibilidade da matéria seca (Laining et al., 2003; McGoogan & Reigh, 1996; Fagbenro, 1999), com exceção dos valores similares obtidos por Pezzato et al. (2002) e, o mais alto coeficiente observado por Rawles & Gatlin III (2000). Este último autor salientou que os maiores coeficientes de digestibilidade obtidos para o farelo de arroz foram resultado da qualidade excepcional do produto que avaliou, o qual continha maiores teores de proteína e lipídeos que o convencional.

A baixa digestibilidade de alguns alimentos de origem vegetal pode estar relacionada com a quantidade e composição química dos carboidratos que estes contêm. Entretanto, peixes herbívoros e onívoros parecem utilizar o amido de forma mais eficiente que os carnívoros (McGoogan & Reigh, 1996). Shiau (1997) afirmou que a tilápia utiliza carboidratos complexos (amido) mais eficientemente que nas formas mais simples (mono e dissacarídeos). Assim, a maior digestibilidade da matéria seca observada neste estudo pode estar relacionada à maior digestibilidade do amido, em conseqüência do processo de extrusão, como descrito por Takeuchi et al. (1994). Este fato foi também observado por Cheng & Hardy (2003), trabalhando com a truta arco-íris, no qual constataram aumento de quase 100,0% na digestibilidade da matéria seca, nos alimentos energéticos submetidos à extrusão.

Diferente dos resultados de digestibilidade da matéria seca e da energia de todos os alimentos avaliados nesta pesquisa, parece pouco provável que haja alguma relação entre a digestibilidade da proteína e o nível de fibra do alimento, visto o alto coeficiente de digestibilidade da proteína apresentado pelo farelo de trigo e pelo farelo de arroz. Estes valores não se mostraram diferentes do obtido para a quirera de arroz, cujo conteúdo em fibra bruta era o mais baixo entre os alimentos avaliados (Tabela 4).

Pode-se observar que o sorgo apresentou o pior CDa da proteína (56,77%), confirmando os CDa obtidos, também com a tilápia do Nilo por Pezzato et al. (2002) e Freire (2004) e, por Allan et al. (2000), com o *silver perch*. Entretanto, em pesquisa realizada com diferentes alimentos energéticos, Fagbenro (1999) não encontrou diferença significativa entre

os CDas da proteína, embora tenha destacado a observação de leve tendência a piores resultados para o sorgo.

As diferenças encontradas entre os CDa para a proteína, pelos autores, nos diferentes estudos, podem ser conseqüência de diversos fatores, como o sistema de coleta de fezes, o processamento do alimento e, o delineamento estatístico utilizado. Desta forma, as razões pela baixa disponibilidade dos aminoácidos, encontradas no presente estudo (Tabela 3) podem relacionar-se diretamente com os CDa da proteína, visto a alta correlação encontrada entre a média da disponibilidade dos aminoácidos e a digestibilidade da proteína. Tal correlação foi apresentada como significativa por Furuya et al. (2001), Wilson et al. (1981), Gaylord et al. (2004) e Sales & Britz (2003).

O processo de extrusão melhorou os CDa dos alimentos, principalmente do milho, quirera de arroz e do sorgo, visto os mais altos coeficientes de digestibilidade da matéria seca e da energia observados neste estudo, se comparado ao estudo conduzido por Pezzato et al. (2002) com a tilápia do Nilo, quando empregaram dietas peletizadas. Segundo Botting (1991), durante a extrusão, sob alta temperatura e pressão, o amido e alguns componentes fibrosos são fracionados, expandidos e geleificados. Além disso, vários complexos protéicos podem ser desnaturados e plasteinizados, o que torna a fração protéica mais susceptível a ação dos processos digestórios. Por outro lado, o menor coeficiente de digestibilidade da energia, observado nesta pesquisa para o milho, pode estar relacionado ao fato deste alimento apresentar quantidade significativa de carboidratos indigestíveis, como a lignina, pentosanas e a celulose, os quais, segundo Hepher (1988), são resistentes às modificações benéficas da extrusão.

Estudos são escassos em relação à utilização da fração aminoacídica dos alimentos energéticos para peixes. Visto a diferença entre espécies e os métodos de processamento dos alimentos empregados nas pesquisas, estudos são necessários para avaliar o efeito do processamento na disponibilidade dos aminoácidos em alimentos que apresentem alto teor de carboidratos (principalmente amido).

Os carboidratos apresentam-se como a fonte de energia mais barata para os peixes e, o fato da tilápia do Nilo utilizar eficientemente estes compostos (Wilson, 1994; Shiau, 1997), faz com que sua utilização como nutriente poupador de proteína, possa reduzir os custos nas formulações de rações. Pela alta variabilidade entre a disponibilidade dos aminoácidos

essenciais e não essenciais, recomenda-se a determinação da digestibilidade individual dos aminoácidos em alimentos energéticos.

No presente estudo, pode-se concluir que a quirera de arroz, o sorgo e o milho são os melhores alimentos energéticos para a tilápia do Nilo; que a energia é mais disponível para a quirera de arroz e o sorgo, sendo moderadamente disponível para o milho e o farelo de arroz e; que dentre os alimentos avaliados, o farelo de trigo apresenta menor valor de energia disponível.

5. Referências Bibliográficas

Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M.A., Stone, D.A.J., Rowland, S.J., Frances, J., Warner-Smith, R. (2000). Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, **186**, 293-310.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) (1995). Official methods of analysis. Washington.

Booth, M.A., Allan, G.L., Evans, A.J., Gleeson, V.P. (2002). Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture*, **33**, 1163-1173.

Boscolo, W.R., Hayashi, C., Meurer, F. (2002) Apparent digestibility of the energy and nutrients of conventional and alternatives foods for Nile tilápia. *Braz. Jour. Anim. Sci.*, **31**, No. 2, 539-545.

Botting, C.C. (1991) Extrusion technology in aquaculture feed processing. In: *Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop* (Akiyama, D.M. & Tan, R.K.H.), pp. 129-137, Thailand and Indonesia, 19-25 September 1991. American Soybean Association, Singapore, Republic of Singapore.

Bremer Neto, H., Graner, C.A.F., Pezzato, L.E., Padovani, C.R. (2005) The spectrophotometric method on the routine of 1,5-diphenylcarbazide was adjusted on chromium determination in feces, after its utilization as a biological marker as chromium (III) oxide. *Ciência Rural*, **25**, No. 3, 691-697.

Cheftel, J.C. (1986) Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food chemistry*, **20**, 263-283.

Cheng, Z.J. & Hardy, R.W. (2003) Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture nutrition*, **9**, 77-83.

Cho, C.Y. & Slinger, S.J. (1979) Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: *Finfish nutrition and fishfeed technology.* (Halver, J.E. & Tiews, K. ed.), pp. 239-247. Heinemann, Berlin, Germany.

De Silva, S.S. & Anderson, T.A. (1995) Fish nutrition in aquaculture. Chapman & Hall, London, UK.

Fagbenro, O. (1999) Apparent digestibility of various cereal grain by-products in common carp diets (*Short Communication*). *Aquac.Internat.*, **7**, 277-281.

Forster, I. (1999) A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. *Aquaculture Nutrition* (*Short Communication*), **5**, 143-145.

Freire, E.S. (2004) Substituição do milho pelo sorgo em rações suplementadas com fitase para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Doctorate thesis, Botucatu, São Paulo, Brazil.

Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Pezzato, A.C., Barros, M.M., de Miranda, E.C. (2001) Digestibility coefficients and digestible amino acids values of some ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Braz. Jour. Anim. Sci,* **33**, No. 4, 1143-1149.

Gaylord, T.G. & Gatlin III, D.M. (1996) Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops Ocellatus*). *Aquaculture,* **139**, 303-314.

Gaylord, T.G., Rawles, S.D., Gatlin III, D.M. (2004) Amino acid availability from animal, blended, and plant feedstuffs for hybrid striped bass (*Morone chrysops* X *M. saxatilis*). *Aquaculture nutrition*, **10**, 345-352.

Hanley, F. (1987) The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, **66**, 163-179.

Hepher, B. (1988) Nutrition of Pond Fishes. Cambridge University Press, New York, USA.

Higuera, M. de la. (1987) Diseños e métodos experimentales de evaluación de dietas. In: *Nutrición en Acuicultura II* (Monteros, J.A.E. de los, Labarta, M. ed.), pp 291-318. Madrid: Comis Asesora de Ivestigación Científica y Técnica.

Kleiber, M. (1961) The fire of life: an introduction to animal energetics. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, USA.

Laining, A., Rachmansyah, Ahmad, T., Williams, K. (2003) Apparent digestibility of selected feed ingredients for humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture*, **218**, 529-538.

Lee, S.M. (2002) Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, **207**, 79-95.

Maina, J.G., Beames, R.M., Higgs, D., Mbugua, P.N., Iwama, G., Kisia, S.M. (2002) Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquac.Research*, **33**, 853-862.

Masumoto, T., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosakawa, H., Shimeno, S. (1996) Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, **146**, 109-119.

McGoogan, B.B. & Reigh, R.C. (1996) Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture*, **141**, 233-244.

Mueller-Harvey, I. & McAllan, A.B. (1992) Tannins their biochemistry and nutritional properties. *Adv. Plant Cell Biochem, Biotechnol.*, **1**, 151-217.

NRC (National Research Council) (1993) *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Wassington, DC, 114 pp.

Pezzato, L.E., Miranda, E.C., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., Pezzato, A.C. (2002) Apparent digestibility of feedstuffs by Nile tilápia (*Oreochromis niloticus*). *Braz. Jour. Anim. Sci,* **31**, No. 4, 1595-1604.

Rawles, S.D. & Gatlin III, D.M. (2000) Nutrient digestibility of common feedstuffs in extruded diets for sunshine bass *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. *J. World Aquac. Soc.*, **31**, No. 4, 570-579.

Sales, J. & Britz, P.J. (2003) Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.). *Aquacuture nutrition*, **9**, 55-64.

Shiau, S.Y. (1997) Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, **151**, 79-96.

Takeuchi, T.T.; Hernández, M.; Watanabe, T. (1994) Nutritive value of gelatinized corn meal as a carbohydrate source to grass carp and hibrid tilápia. *Fish. Scie.*, **50**, No. 5, 573-577.

Vens-Cappell, B. (1984) The effects of extrusion and pelleting of feed for Trout on the digestibility of protein, amino acids and energy and on feed conversion. *Aquaculture engineering*, **3**, 71-89.

Wilson, R.P. (1994) Review: utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, **124**, 67-80.

Wilson, R.P., Robinson, E.H., and Poe, W.E. (1981) Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for channel catfish. *J. Nutr.*, **111**, 923-929.

Tabela 1.Composição da dieta basal ou referência

Ingredientes	g/100g da dieta
Farelo de soja	57,50
Farinha de peixe	5,50
Quirera de arroz	27,40
Farelo de trigo	2,00
Óleo de soja	0,50
Suplemento vitamínico[a]	0,10
Suplemento mineral[b]	0,30
Ácido ascórbico	0,08
Óxido de crômio III	0,10
L-Lisina	0,70
DL-Metionina	0,45
L-Treonina	0,40
Fosfato bicálcico	3,00
Calcário	1,85
Cloreto de sódio	0,10
BHT	0,02

[a] Suplemento vitamínico, níveis de garantia por kg da dieta: vitamina A, 16060 UI; vitamina D_3, 4510 UI; vitamina E, 250 UI; vitamina K, 30 mg; vitamina B_1, 32 mg; vitamina B_2, 32 mg; pantotenato de cálcio, 80 mg; niacina, 170 mg; biotina, 10 mg; ácido fólico, 10 mg; vitamina B_{12}, 32 µg; vitamina B_6, 32 mg.

[b] Suplemento mineral, níveis de garantia por kg da dieta: Na_2SeO_3, 0,7 mg; MnO, 50 mg; ZnO, 150 mg; $FeSO_4$, 150 mg; $CuSO_4$, 20 mg; $CoSO_4$, 0,5 mg; I_2Ca, 1 mg.

[c] antioxidante Butil hidroxitolueno

Tabela 2. Composição química e conteúdo em aminoácidos dos ingredientes-teste e da dieta referência utilizados no estudo (média de duas amostras)[a]

Item	Milho	Quirera de arroz	Sorgo	Farelo de trigo	Farelo de arroz	Dieta referência
International Feed Number	4-02-935		4-04-444	4-05-205	4-03-928	
Matéria seca (%)	89,35	90,72	91,55	91,58	91,74	96,77
Proteína bruta (%)	7,21	8,21	7,76	14,47	12,80	36,77
Energia bruta (kcal.kg^{-1})	4028	3712	3941	3969	4098	4235
Extrato etéreo (%)	4,24	8,26	3,25	3,61	16,80	4,02
Fibra bruta (%)	2,00	0,75	1,96	8,89	12,00	4,02
Cinzas (%)	1,20	0,78	2,18	4,73	9,81	11,12
Ca (%)	0,03	0,03	0,16	0,16	0,09	2,27
P (%)	0,23	0,16	0,23	1,01	1,71	1,21
Aminoácidos						
Essenciais						
Arginina (%)	0,30	0,56	0,28	0,91	0,92	2,36
Histidina (%)	0,20	0,17	0,19	0,35	0,32	0,89
Isoleucina (%)	0,24	0,31	0,23	0,45	0,41	1,70
Leucina (%)	0,77	0,60	0,77	0,84	0,81	2,73
Lisina (%)	0,21	0,27	0,21	0,62	0,64	3,37
Fenilalanina (%)	0,38	0,44	0,37	0,63	0,58	1,31
Metionina (%)	0,09	0,11	0,10	0,09	0,08	0,61
Treonina (%)	0,26	0,28	0,26	0,48	0,49	1,67
Triptofano (%)	0,05	0,06	0,06	0,15	0,10	0,41
Valina (%)	0,33	0,45	0,33	0,67	0,65	1,93
Não-essenciais						
Alanina (%)	0,49	0,42	0,49	0,71	0,77	2,19
Àcido aspártico (%)	0,47	0,72	0,47	1,07	1,19	3,71
Cistina (%)	0,08	0,07	0,09	0,16	0,14	0,54
Glicina (%)	0,28	0,36	0,28	0,78	0,67	1,63
Ácido glutâmico (%)	1,28	1,44	1,34	2,88	1,81	6,45
Prolina (%)	0,70	0,47	0,68	0,76	0,47	1,84
Tirosina (%)	0,12	0,15	0,12	0,28	0,25	0,73
Serina (%)	0,32	0,38	0,32	0,60	0,54	1,49

[a] % da material natural.

Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia de ingredientes energéticos pela tilápia do Nilo (%, *n* = 4 aquários)

Nutriente	Milho	Quirera de arroz	Sorgo	Farelo de trigo	Farelo de arroz
Matéria seca	82,21 ±2,21[c]	96,45 ±0,22[a]	87,29 ±1,67[b]	45,88 ±2,20[e]	55,59 ±1,77[d]
Proteína bruta	72,86 ±1,59[a]	63,01 ±1,64[b]	56,77 ±2,50[c]	66,04 ±1,22[b]	66,88 ±1,74[b]
Energia bruta	67,34 ±2,51[c]	95,34 ±2,37[a]	82,37 ±1,59[b]	48,94 ±2,24[e]	57,58 ±2,12[d]

Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P<0,05$).

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos em ingredientes energéticos, pela tilápia do Nilo (%, *n* = 3 aquários).

Aminoácido	Milho	Quirera de arroz	Sorgo	Farelo de trigo	Farelo de arroz
Essencial					
Arginina	54,93±1,77[d]	97,10±1,68[a]	91,52±1,89[b]	85,10±1,74[c]	85,47±2,43[c]
Histidina	83,60±1,28[a]	85,42±1,23[ab]	51,41±2,24[d]	68,53±2,07[c]	76,67±2,31[b]
Isoleucina	67,47±1,55[b]	45,29±2,01[d]	79,38±2,25[a]	64,44±1,65[b]	57,56±1,99[c]
Leucina	83,24±1,37[a]	55,39±3,17[b]	82,28±3,31[a]	58,07±1,67[b]	52,82±1,60[b]
Lisina	65,56±1,81[a]	45,18±1,05[c]	44,33±2,17[c]	55,82±1,81[b]	68,37±2,36[a]
Fenilalanina	54,98±2,71[b]	65,08±2,59[a]	70,27±1,16[a]	57,19±1,45[b]	47,96±2,31[c]
Metionina	76,31±1,82[a]	70,56±1,10[b]	71,57±1,90[b]	16,43±1,34[d]	29,61±1,35[c]
Treonina	56,69±1,43[a]	37,36±1,66[c]	50,40±2,00[b]	58,49±1,43[a]	48,88±1,24[b]
Triptofano	72,89±2,00[bc]	81,42±2,02[a]	71,99±2,25[c]	79,17±1,29[ab]	76,80±3,29[abc]
Valina	66,44±2,03[a]	48,82±1,57[c]	47,62±1,98[c]	60,97±2,16[b]	50,84±0,07[c]
Média AAE	68,21	67,08	66,08	59,29	59,50
Não-essencial					
Alanina	78,23±2,63[a]	67,08±1,49[b]	51,50±2,34[d]	59,29±2,28[c]	57,51±2,10[cd]
Ácido aspártico	78,93±1,98[a]	75,07±2,03[ab]	53,28±2,13[d]	59,05±1,77[c]	72,58±2,10[b]
Cistina	59,47±2,33[a]	29,52±1,54[c]	54,45±1,10[a]	57,98±1,50[a]	35,64±1,41[b]
Glicina	38,80±1,46[d]	46,01±1,10[c]	54,89±1,52[b]	65,95±1,45[a]	48,81±0,68[c]
Ácido glutâmico	92,93±1,28[a]	73,72±1,14[c]	71,87±2,06[c]	81,30±3,42[b]	71,49±1,88[c]
Prolina	87,57±1,80[a]	64,57±1,04[c]	75,88±2,31[b]	72,93±1,80[b]	38,16±2,26[d]
Tirosina	68,36±1,54[bc]	72,66±1,39[b]	66,02±3,06[c]	57,28±2,21[d]	94,09±1,33[a]
Serina	74,58±0,75[a]	62,85±2,90[b]	65,02±1,85[b]	59,74±1,81[c]	57,68±2,19[c]
Média AANE	72,36	61,44	61,61	64,19	59,50
Média AA	70,05	62,23	64,09	62,10	59,50

Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P<0,05$).

Tabela 5. Valores de aminoácidos digestíveis de ingredientes energéticos para tilápia do Nilo.

Aminoácido	Milho	Quirera de arroz	Sorgo	Farelo de trigo	Farelo de arroz
Essencial					
Arginina	0,16	0,54	0,25	0,77	0,78
Histidina	0,17	0,14	0,10	0,24	0,24
Isoleucina	0,16	0,14	0,18	0,29	0,23
Leucina	0,64	0,33	0,63	0,49	0,43
Lisina	0,14	0,12	0,09	0,35	0,44
Fenilalanina	0,21	0,28	0,26	0,36	0,28
Metionina	0,07	0,08	0,07	0,01	0,02
Treonina	0,15	0,10	0,13	0,28	0,24
Triptofano	0,03	0,05	0,04	0,12	0,07
Valina	0,22	0,22	0,16	0,41	0,33
Σ AAE	1,95	2,00	1,91	3,32	3,06
Não-essencial					
Alanina	0,38	0,28	0,25	0,42	0,44
Ácido aspártico	0,37	0,54	0,25	0,63	0,86
Cistina	0,05	0,02	0,05	0,09	0,05
Glicina	0,11	0,16	0,15	0,51	0,33
Ácido glutâmico	1,19	1,06	0,96	2,34	1,29
Prolina	0,61	0,30	0,51	0,55	0,18
Tirosina	0,08	0,11	0,08	0,16	0,23
Serina	0,24	0,24	0,21	0,36	0,31
Σ AANE	3,03	2,71	2,46	5,06	3,69
Σ AA	4,98	4,71	4,37	8,38	6,75

IMPLICAÇÕES

A intensificação da piscicultura tem suscitado melhora na qualidade das rações empregadas no cultivo de peixes, de forma que estes animais possam expressar todo seu potencial genético de produção. Aliado a isto, deve-se ressaltar ainda, a preocupação com a emissão de efluentes e conseqüente eutrofização dos corpos aquáticos.

Assim, o conhecimento do valor nutritivo dos alimentos e a influência do processamento das dietas são pré-requisitos para que se possa formular rações que melhor atendam as necessidades nutricionais dos peixes.

Desta forma, a presente pesquisa teve como implicações principais:

a) conhecer o valor nutritivo dos alimentos comumente utilizados nas formulações de rações para tilápia do Nilo, submetidos ao processo de extrusão e a influência de fatores antinutricionais presentes nestes alimentos sobre a utilização dos nutrientes;

b) disponibilizar dados de aminoácidos digestíveis, de forma que possam ser utilizados na matriz de formulação da indústria de rações para organismos aquáticos, melhorando a qualidade das rações presentes no mercado;

c) conhecer as propriedades nutricionais dos alimentos, facilitando a escolha de ingredientes mais digestíveis, contribuindo para a redução da emissão de nutrientes para o meio ambiente com, conseqüente, redução do impacto ambiental da aqüicultura.