

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

VANESSA LEWANDOWSKI

Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá
(*Rhamdia voulezi*)

Toledo

2015

VANESSA LEWANDOWSKI

Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá
(*Rhamdia voulezi*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Aldi Feiden

Toledo

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

VANESSA LEWANDOWSKI

Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá
(*Rhamdia voulezi*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Aldi Feiden
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Fábio Bittencourt
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Ricardo Yuji Sado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aprovada em:
Local de defesa: Sala 15

DEDICATÓRIA(S)

Dedico este trabalho à Deus, ao meu pai Euclides, minha mãe Sônia e aos meus irmãos Jackson e Mateus.

AGRADECIMENTO(S)

Nesta página muito especial deste trabalho, gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que iluminou meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais e irmãos que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu namorado Cesar, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Aldi Feiden e aos demais professores do Gemaq, que foram importantes durante a minha graduação, nesse período de pós-graduação e no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas de trabalho Evandro e Jhonis por terem me auxiliado na execução do experimento de dissertação.

Aos demais amigos e colegas do Gemaq, por terem me proporcionado momentos de divertimento e pelo companheirismo nos momentos mais difíceis.

Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá (*Rhamdia voulezi*)

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a digestibilidade de nutrientes da aveia, quirera de arroz e do trigo pelo jundiá (*Rhamdia voulezi*), com e sem suplementação de fitase. Foram utilizados 288 peixes distribuídos em 24 tanques de 500 L com fundo cônico afunilado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, representado por oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram na elaboração de duas dietas referências (referência com e sem fitase), e seis dietas testes (aveia com e sem fitase, quirera de arroz com e sem fitase e trigo com e sem fitase), em esquema fatorial, obtendo-se quatro dietas sem suplementação da enzima e quatro dietas com suplementação. Nas dietas suplementadas, foi utilizado 1500 FTU Kg⁻¹ de fitase. Foram realizadas análises físico-químicas e de minerais (fósforo, cálcio, magnésio, ferro e cobre) dos ingredientes, dietas e fezes e realizou-se leitura de óxido de cromo das dietas e das fezes. Os coeficientes de digestibilidade observados foram submetidos à análise de variância fatorial (P>0,05). Ao constatar efeito significativo foi realizado o teste de Tukey para comparação de médias. A aveia apresentou os menores coeficientes de digestibilidade para a matéria seca e energia em relação aos demais alimentos suplementados ou não com fitase. A suplementação de fitase aumentou o coeficiente de digestibilidade da matéria seca para a quirera de arroz e da energia tanto para esse alimento como para o trigo. A suplementação enzimática apresentou maior influência na disponibilidade dos minerais para a aveia, entretanto, o trigo apresentou os maiores coeficientes de digestibilidade dos mesmos, tanto em relação aos alimentos sem fitase como aos alimentos suplementados com a enzima. A quantidade de 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta melhora os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes principalmente para a aveia e quirera de arroz. Levando em consideração os alimentos suplementados ou não com 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta, a quirera de arroz e o trigo apresentam valores maiores de aproveitamento de seus nutrientes podendo ser utilizados de forma mais eficiente na alimentação do jundiá (*R. voulezi*).

Palavras-chave: Aveia, quirera de arroz, trigo, enzima.

Digestibility of energetic feeds supplemented with phytase for catfish (*Rhamdia voulezi*)

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the digestibility of oat, rice grits, and wheat middling nutrients by silver catfish (*Rhamdia voulezi*), with and without phytase supplementation. We used 288 fish distributed in 24 tanks of 500 L with tapered conical bottom. The experimental design was completely randomized represented by eight treatments and three replications. The treatments consisted of two reference diets (reference with and without phytase) and six test diets (oats with and without phytase, rice grits with and without phytase and wheat middling with and without phytase), factorial design, obtaining four diets without enzyme supplementation and four diets with supplementation. In the supplemented diets we added 1500 FTU kg⁻¹ of phytase. We performed chemical, physical and mineral (phosphorus, calcium, magnesium, iron and copper) analysis of the ingredients, diets and feces, as well as chromium oxide measurement of the diets and feces. The digestibility coefficients observed were submitted to factorial variance analysis ($P>0,05$). When a significant effect was observed, the Tukey's test was performed for mean comparisons. Oat presented the lowest digestibility coefficients for dry matter and energy compared to the other feeds supplemented or not with phytase. Phytase supplementation increased the digestibility coefficient of dry matter for rice grits, and of energy both for this feed and for wheat middling. As for the use of minerals we verified that wheat middling presented the highest digestibility coefficients related to feed without phytase as much as for feed supplemented with the enzyme. The supplementation of phytase in quantity of 1500 FTU kg⁻¹ in the diet improves the nutrients digestibility coefficients mainly for oat and rice grits. Taking into account the feeds with or without supplementation of 1500 FTU kg⁻¹ in the diet, rice grits and wheat middling presented the highest values of its nutrients use and can be used more efficiently for silver catfish (*R. voulezi*) feeding.

Keywords: Oak, broken rice, wheat middling, enzyme

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Aquaculture*. Disponível em <<http://www.elsevier.com/journals/aquaculture/0044-8486/guide-for-authors>>

SUMÁRIO

Capítulo 1. Revisão de Literatura	9
1. Aquicultura	9
2. Espécies Estudada	10
3. Digestibilidade de alimentos em peixes.....	11
4. Ingredientes de origem vegetal na alimentação de peixes	14
4.1 Quirera de Arroz	16
4.2 Aveia	17
4.3 Triguilho	18
5. Ácido Fítico	18
6. Fitase	21
Referências.....	24
Objetivos.....	35
Objetivo Geral.....	35
Objetivos específicos	35
Capítulo 2. Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá (<i>Rhamdia voulezi</i>)	36
1. Introdução	37
2. Material e métodos.....	38
2.1 Animais e delineamento experimental	38
2.2 Dietas experimentais	39
2.3 Procedimento experimental.....	40
2.4 Análises físico-químicas	40
2.4 Análises de minerais.....	40
2.5 Coeficiente de digestibilidade aparente.....	40
2.6 Qualidade da água	41
2.7 Análises estatísticas.....	41
3. Resultados	42
3.1 Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente	42
3.2 Coeficientes de digestibilidade aparente dos minerais.....	45
4. Discussão	47
4.1 Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente	47
4.2 Coeficientes de digestibilidade aparente dos minerais.....	49
5. Conclusão.....	52
Agradecimentos	52
Referências.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dieta referência.....	39
Tabela 2. Composição química dos ingredientes	42
Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia para a aveia, quirera de arroz e trigoilho com e sem suplementação de 1500 FTU Kg ⁻¹ de fitase na dieta para o <i>R. voulezi</i>	43
Tabela 4. Coeficiente de digestibilidade aparente do cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e cobre (Cu) para a aveia, quirera de arroz e trigoilho com e sem suplementação de 1500 FTU Kg ⁻¹ de fitase na dieta para o <i>R. voulezi</i>	45

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de um sistema de coleta de fezes por decantação, método de Guelph modificado.....	13
Figura 2. Estrutura molecular do ácido fítico.....	19
Figura 3. Síntese do ácido fítico, através da formação do IP1 pela ação das enzimas sintetase Ins3P1(A) e mio-inositol-quinase (B) e sua sequente foforilação até a formação, sob ação das enzimas quinase (C) e pentaquifosfato quinase (D) sem a presença de intermediários	20
Figura 4. Esquema de complexos formados pelo ácido fítico com minerais e proteínas.....	21
Figura 5. Coeficientes de digestibilidade dos diferentes alimentos energéticos com e sem suplementação de fitase para o R. voulezi.....	44
Figura 6. Coeficientes de digestibilidade dos minerais para os diferentes alimentos energéticos com e sem suplementação de fitase para o R. voulezi	46

Capítulo 1. Revisão de Literatura

1. Aquicultura

A aquicultura consiste no cultivo de organismos aquáticos, como peixes, moluscos e crustáceos e vem apresentando elevado crescimento nos últimos anos (Oliveira, 2009), devido principalmente ao aumento da demanda, causada pelo crescimento populacional e pela crescente busca por alimentos saudáveis (Crepaldi et al., 2006). O pescado destaca-se em relação à outros alimentos de origem animal por ser rico em proteínas, vitaminas, minerais e apresentam baixo teor de gordura (Sartori e Amancio, 2012). Dessa forma, como a maior parte do planeta é composta por água, a aquicultura torna-se promissora atividade agropecuária para disponibilização de proteína animal de qualidade para o consumo humano (Sindonio et al., 2012).

A maior produção de organismos aquáticos é registrada no continente asiático com total de 55,5 milhões de toneladas em 2011 (FAO, 2013), sendo a China responsável por cerca de 70% desse valor. A América do Sul, que apresenta a maior biodiversidade ictiofaunística do mundo, com cerca de 8000 espécies (Shaefer, 1998), apresentou produção menos expressiva, 2,1 milhões de toneladas (FAO, 2013) para o mesmo período, no qual o Chile foi responsável por 47% da produção, seguido do Brasil com 28,57% representando 0,6 milhões de toneladas.

O Brasil mostra-se como país promissor na produção de organismos aquáticos, podendo ser desenvolvido tanto a aquicultura marinha, bem como continental, uma vez que, possui costa marítima de aproximadamente 8,5 mil km e concentra em torno de 12 a 15% de toda a água doce disponível no planeta (Cyrino et al., 2010). Além da disponibilidade de recursos hídricos, o País possui clima favorável, mão-de-obra abundante e crescente demanda por pescado no mercado interno (Della Flora et al., 2010).

Segundos dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (2013), somente no período entre 2010 e 2011, a produção aquícola continental brasileira aumentou 31,1%, e considerando-se o período de 2009 a 2011, o aumento foi de 51,2%, crescimento maior do que outras atividades agrícolas. A piscicultura continental foi responsável por 86,6% do total produzido em 2011 (MPA, 2013), liderados pela região sul do país, com produção de 153.674,5 toneladas.

Embora a tilápia seja a espécie dominante nos sistemas de cultivo, a criação de peixes nativos vem crescendo significativamente no Brasil, devido ao fato do País possuir diversas espécies com alto potencial de cultivo, como pacu (*Piaractus mesopotamicus*), pintado

(*Pseudoplatistoma corruscans* e *P. fasciatum*), dourado (*Salminus brasiliensis*), jundiá (*Rhamdia quelen*, *Rhamdia* sp. e *Rhamdia voulezi*), entre outros (Boscolo et al., 2011). Porém, as informações referentes a essas espécies quando mantidas em cativeiro são escassas, sendo necessário a realização de estudos com a finalidade de avaliar fatores que proporcionem melhores índices de desempenho zootécnico as mesmas.

2. Espécies Estudada

O jundiá é o nome dado aos peixes pertencentes ao gênero *Rhamdia*, ordem Siluriformes e família Heptapteridae. A classificação do gênero *Rhamdia* apresenta controvérsias (Baldisserotto, 2004), uma vez que, por muito tempo foi inserida na família Pimelodidae. Entretanto, estudos realizados por Lundberg et al. (1991a; 1991b) e Pinna (1998) demonstraram a existência de três grupos distintos, anatômica e geneticamente, dentro da mesma, sendo então subdividida nas famílias Pimelodidae, Pseudopimelodidae e Heptapterinae, sendo esta agora referente ao gênero.

Silfvergrip (1996) afirma que quando pertencia à família Pimelodidae, o gênero *Rhamdia* era composto por cerca de 100 espécies descritas. O autor, ao realizar revisão sistemática do mesmo, baseada em caracteres previamente usados na literatura, definiu apenas 11 espécies válidas, sendo *R. quelen* a espécie-tipo, com 48 sinônimos descritos.

No entanto, pesquisadores acreditam que a classificação de *R. quelen* esteja incorreta, pois esta pode compreender mais de uma espécie (Baldisserotto, 2004), como no caso do *Rhamdia voulezi*. Esta espécie foi considerada como sinonímia de *R. quelen* por Silfvergrip (1996), pois esse autor não examinou o material da bacia do rio Iguaçu, que possui alto grau de endemismo. Dessa forma, Abucarma e Martins-Santos (2001) ao realizarem estudos genéticos observaram diferenças cariotípicas entre os peixes pertencentes à essa bacia, sendo então considerado o jundiá *R. voulezi* como espécie válida e endêmica da bacia do rio Iguaçu.

A produção do jundiá vem crescendo a cada ano e tem despertado grande interesse de pesquisadores e piscicultores, principalmente na região Sul do Brasil, uma vez que eles apresentam características de desempenho zootécnico que possibilitam sua produção em cativeiro (Fracalossi et al., 2002). Dentre elas destacam-se o crescimento acelerado, inclusive nos meses mais frios, fácil adaptação à criação intensiva, rusticidade e facilidade na indução à reprodução (Baldisserotto e Radünz Neto, 2005). Além disso, apresenta carne saborosa, sem espinhas intramusculares e de boa aceitação pelo mercado consumidor (Maffezzolli e Nuñez, 2006).

Entretanto, Freitas et al. (2011) ressaltaram que as etapas de seu processo de produção ainda não estão bem definidas, sendo necessários estudos relacionados à sua reprodução, nutrição, larvicultura, alevinagem, manejo, beneficiamento, entre outros.

3. Digestibilidade de alimentos em peixes

A alimentação tem por finalidade obter e acrescentar elementos necessários para reposição e crescimento dos tecidos do organismo, à partir de substâncias denominadas alimentos (Zavala-Camin, 1996). Ela é considerada fundamental para o entendimento de aspectos básicos da biologia dos peixes, como reprodução, crescimento e adaptação (Santos et al., 2013). Em ambiente natural, os peixes suprem suas exigências nutricionais com alimentos disponíveis no meio e, quando mantidos em cativeiro, suas necessidades precisam ser atendidas pela ração (Gonçalves et al., 2005).

Dessa forma, a nutrição e alimentação artificial são essenciais para o desenvolvimento da piscicultura pois afetam tanto quantitativa como qualitativamente a produção. Segundo Cyrino e Fracalossi (2013), esse fato pode ser observado pelos dados estatísticos da indústria de alimentação e nutrição e de produção aquícola nacional, sendo verificado aumento na produção conforme iniciou-se a comercialização de rações na forma extrusada destinada à criação de peixes, no início dos anos 1990.

Para que a dieta proporcione melhores resultados produtivos, as rações fornecidas aos peixes devem ser fabricadas com grande número de ingredientes, que atendam suas exigências nutricionais e processadas de forma que possibilitem melhor aproveitamento pelos animais (Guimarães et al., 2011). Entretanto, como a alimentação representa até 70% do custo operacional na piscicultura (Guimarães et al., 2008) busca-se a utilização de ingredientes alternativos visando diminuir os custos de operação da atividade (Braga et al., 2010). Segundo os mesmos autores, para utilização de qualquer alimento na dieta, faz-se necessário o conhecimento do valor nutritivo desse produto, bem como suas limitações, para que a sua utilização em dietas não cause comprometimento nas respostas produtivas dos peixes.

Entretanto, o valor nutricional dos alimentos baseia-se não somente na composição química, mas também na quantidade de nutrientes e de energia que o peixe pode absorver e aproveitar (NRC, 2011). Assim sendo, conforme Glencross et al. (2007), no processo de avaliação de alimentos devem ser verificada sua composição química e variabilidade dessa composição, seguido da determinação de digestibilidade, que permite mensurar o quanto dos nutrientes do alimento avaliado está sendo absorvido e digerido pelos peixes (Hanley, 1987).

Além dessas etapas, a avaliação de alimentos pode ser complementada por processos de verificação da palatabilidade, bem como por metodologias que permitam averiguar a utilização ou interferência dos nutrientes desses ingredientes no desempenho zootécnico dos animais, por meio de estudos de dose-resposta (Fracalossi et al., 2013).

Os estudos de digestibilidade podem ser realizados por meio de dois procedimentos básicos, o método direto e o indireto (Lôbo Júnior et al., 2001). Entretanto, os dados obtidos por meio dessas práticas são considerados como valores de digestibilidade aparente e não de digestibilidade verdadeira, uma vez que não consideram a presença de materiais de origem endógena ou metabólica nas fezes (NRC, 2011). Segundo Fabgenro (1998) o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) é uma das formas de estimar a disponibilidade dos nutrientes nos alimentos, pois informa o quanto que o animal supostamente absorve, por meio da diferença entre a quantidade de nutrientes ingerida e excretada (Santos et al., 2010).

No método direto, também chamado de técnica de coleta total, o coeficiente de digestibilidade é obtido pela diferença entre a quantidade total do nutriente no alimento ingerido e a quantidade total presente nas fezes produzidas, consistindo em um balanço de massas, que indica o quanto o peixe digeriu do alimento (Lovell, 1998). No entanto, a utilização desse sistema para peixes é inviabilizado pelo fato de que a obtenção dos valores de quantidade de alimento ingerido e fezes produzidas torna-se mais difícil com essa espécie animal (Austreng, 1978).

Em contrapartida, o método indireto permite a alimentação voluntária do animal e a coleta parcial das fezes (Fracalossi et al., 2013). Para sua execução é necessário a utilização de um marcador inerte na dieta que deve apresentar o mesmo tempo de passagem gastrintestinal do que o alimento estudado, atóxico, que possibilite uma análise precisa e principalmente que não possa ser digerido (Lovell, 1998; NRC, 2011).

Existem diversos marcadores que podem ser utilizados, tanto internos como externos. Os marcadores internos são compostos presentes no próprio alimento que não podem ser digeridos, como fibra bruta, cinzas e celulose (Silva et al., 1990; Morales et al., 1999; Botelho et al., 2012), enquanto que os marcadores externos são elementos adicionados às dietas, como cinza insolúvel e ácido, polietileno, óxido de lantânio e o óxido de cromo III, sendo este o mais empregado (Bremer Neto et al., 2003).

No método indireto, os valores dos coeficientes de digestibilidade aparente são obtidos pela diferença na concentração do marcador e nutriente no alimento e nas fezes, de modo que a coleta total das fezes não se faz necessária, uma vez que utiliza-se somente uma amostra representativa (Bomfim e Lanna, 2004). As formas de coleta de fezes empregados no método

indireto podem ser realizadas com o peixe fora da água, por meio de dissecação (Henken et al., 1985), compressão ou massagem abdominal (Austreng, 1978) e sucção anal (Brown et al., 1985), bem como com o peixe dentro da água como pipetagem direta no fundo do tanque (Alliot et al., 1979), filtragem contínua (Choubert et al., 1979) e decantação (Cho et al., 1985).

O método de coleta de fezes por meio de decantação é um dos mais utilizados em experimentação para diversas espécies de peixes, dentre elas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Boscolo et al., 2002; Signor et al., 2007; Santos et al., 2009), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) (Oliveira et al., 1997; Cantelmo et al., 1999; Fabregat et al., 2008), jundiá (*R. quelen*; *R. voulezi*) (Oliveira Filho e Fracalossi, 2006) e surubim (*Pseudoplatystoma* sp) (Teixeira et al., 2010).

Um método bastante utilizado na coleta de fezes por decantação é através do sistema de Guelph modificado, o qual consiste em um tanque com fundo inclinado ou afunilado e com sistema de drenagem comum a uma única coluna de decantação (Figura 1). As principais vantagens da utilização desse sistema são a obtenção de quantidades satisfatórias de fezes, possibilidade de aplicação do método em peixes de qualquer tamanho, bem como a manutenção dos peixes em condições normais e reduzidas de estresse (Cho e Slinger, 1979)

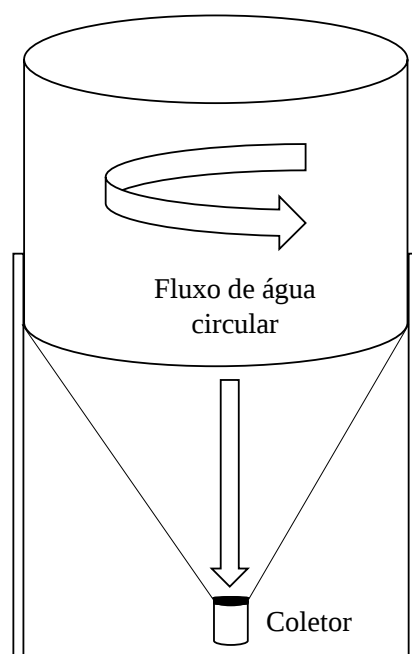


Fig. 1. Esquema de um sistema de coleta de fezes por decantação, método de Guelph modificado

O valor de digestibilidade de um ingrediente teste deve ser calculado através da comparação da digestibilidade aparente de uma dieta referência e de uma dieta teste, a qual contém um percentual da dieta referência e do ingrediente a ser avaliado (Foster, 1999). Quanto

à variação desse percentual, Cho e Slinger (1979) sugeriram o uso de 70% da dieta referência e 30% do ingrediente teste para simular condições práticas de alimentação, tal que as diferenças entre as dietas referência e a dieta teste são totalmente devidas à presença do ingrediente teste e contabilizadas no cálculo da digestibilidade do mesmo.

Segundo Lovell (1998), a digestibilidade de um alimento pelos peixes pode ser afetada por uma série de fatores, como qualidade de água (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido), composição e processamento das dietas (presença de fatores antinutricionais, nível de inclusão do ingrediente teste, grau de moagem, peletização ou extrusão), bem como fatores metodológicos como tempo e método de coleta de fezes, tipo de marcador, tamanho dos peixes, entre outros.

De uma maneira geral, o acesso a informação nutricional dos alimentos é de suma importância no cenário crescente da piscicultura mundial, justificando, assim, os estudos de digestibilidade.

4. Ingredientes de origem vegetal na alimentação de peixes

As rações fabricadas tanto para peixes, como para outros animais, são produzidas à partir da utilização de uma gama de alimentos de forma a atender corretamente suas exigências nutricionais (Calderano et al., 2010). Basicamente, elas são compostas por alimentos classificados como proteicos e energéticos, sendo a relação proteína/energia a base no balanceamento da ração (Pezzato et al., 2009). Os alimentos concentrados proteicos são considerados todos aqueles que apresentam teor de proteína bruta superior a 18%, podendo ser tanto de origem animal quanto vegetal (Rebelo Neto, 2013). As fontes de proteínas de origem animal utilizadas são farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de sangue, farinha de penas e farinha de vísceras de aves, enquanto que os de origem vegetal mais utilizados são farelo de soja, farelo de algodão, glúten de milho (Rebelo Neto, 2013).

Nos últimos anos tem-se buscado maior utilização de ingredientes de origem vegetal, uma vez que possuem custo relativamente inferior, composição e disponibilidade constante quando comparados aos ingredientes de origem animal (Bergamin et al., 2013). Além disso, a utilização de fontes vegetais para a fabricação de rações destinadas a produção aquícola brasileira é favorecida pelo fato do Brasil ser um grande produtor de grãos que segundo a Conab (2015), na safra 2014/2015 a produção de grãos no Brasil deve chegar a 201,55 milhões de toneladas, 4.2% superior quando comparado com a produção obtida na safra 2013/2014,

principalmente de milho e soja, principais ingredientes de origem vegetal utilizado na alimentação animal.

O farelo de soja é a fonte proteica vegetal mais utilizada na substituição das farinhas de origem animal (Veiverberg et al., 2008). É considerado como subproduto do processo de extração de óleo de soja, e apresenta boa disponibilidade no mercado nacional em virtude da alta produção dessa oleaginosa (Meurer et al., 2008). Apresenta elevado nível de proteína (cerca de 42%), com ótimo balanço de aminoácidos e, ainda, quase a totalidade dos ácidos graxos necessários para os peixes de água doce (Fabregat et al., 2011).

Assim como os alimentos proteicos, as fontes energéticas representam um importante papel na composição das dietas dos peixes. Eles disponibilizam carboidratos ao organismo animal que são utilizados como fonte de energia, além de resultarem em uma considerável economia pois esses ingredientes apresentam custo inferior aos alimentos proteicos. Dos alimentos energéticos empregados na alimentação animal destacam-se os grãos milho, sorgo, arroz, trigo, aveia, cevada e seus subprodutos, além de raízes e tubérculos, como mandioca e batata (Goes et al., 2013).

Dentre esses alimentos, o milho é o mais utilizado na alimentação animal, assim como na fabricação de dietas para peixes. Ele é um dos mais importantes cereais produzidos no mundo, sendo considerado alimento energético padrão, rico em energia e pobre em proteína (Goes et al., 2013). Outro alimento energético de destaque é o farelo de trigo, que pode ser considerado alternativa ao milho na alimentação animal, principalmente nos períodos de entressafra do milho (Fedrizi, 2009).

Entretanto, a maior parte dos ingredientes de origem vegetal apresenta variedade de fatores antinutricionais (Francis et al., 2001). O termo fator antinutricional refere-se a componentes presentes na composição de alimentos de origem vegetal que, quando ingeridos, reduzem o aproveitamento dos nutrientes desses alimentos (Benevides et al., 2011). Eles estão presentes nos vegetais de forma natural, com a finalidade de proteção contra o ataque de fungos, bactérias e insetos (Leite et al., 2012). Segundo Francis et al. (2001), podem ser divididos em quatro grupos: 1) fatores que alteram a digestão e utilização de proteínas, taninos, lectinas; 2) fatores que afetam a utilização mineral, como fitatos, pigmentos gossipol, oxalatos, glucosinolatos; 3) antivitaminas; 4) demais substâncias como as micotoxinas, mimosinas, cianogêns, nitratos, alcaloides, agentes fotossintetizantes, fitoestrogênicos e saponinas.

Os efeitos provocados pelos fatores antinutricionais no desempenho produtivo dos peixes dependem do tipo e quantidade da substância contida no ingrediente, da quantidade do alimento na dieta que contém esses fatores, do processamento da ração e da espécie animal em

questão (Pinto et al., 2000). Alguns métodos podem ser empregados com a finalidade de redução dos fatores antinutricionais dos vegetais, como tratamento térmico, imersão em água destilada, germinação e extração com metanol (Ramakrishna et al., 2006; Yasmin et al., 2008). Em relação aos tratamentos térmicos, podem ser citados os processos de cozimento, extrusão e tostagem (Brito et al., 2006). Estudos demonstram que a utilização de tratamento térmico reduz os níveis de alguns desses fatores, como inibidores de proteases, da atividade de hemaglutinina, de polifenóis, taninos e ácido fítico para diferentes vegetais como sementes de abóbora, feijão e, principalmente, para a soja (Cardoso et al., 2007; Del-Vechio et al., 2005; Ramíres-Cárdenas et al., 2008).

Além desses métodos, a adição de enzimas na dieta vem sendo utilizada com o intuito de remoção desses fatores, uma vez que são capazes de removê-los ou destruí-los, auxiliando na digestibilidade, inclusive de alimentos de difícil digestão, como ocorre em algumas espécies quando alimentadas com dietas ricas em carboidratos e proteínas de origem vegetal (Silva et al., 2007). Adicionalmente, rações com enzimas digestivas exógenas propiciam alta eficiência de aproveitamento, resultando em menor produção de dejetos e diminuem o potencial poluente da atividade (Silva et al., 2007). Campestrini et al. (2005) ainda destacam que uma das principais justificativas do uso de enzimas exógenas em dietas para peixes é devido ao fato de que elas possibilitam que os mesmos aproveitem nutrientes de alimentos como farelos de arroz e trigo, grãos de trigo, centeio, cevada e aveia, antes não aproveitados, por não terem enzimas endógenas que permitem a sua digestão.

4.1 Quirera de Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L) é um dos cereais mais produzidos no mundo utilizado principalmente na alimentação humana (Nepomuceno et al., 2011). O Brasil, com destaque ao Estado do Rio Grande do Sul, é grande produtor de arroz (Lorenzetti et al., 2012). Segundo Pestana et al. (2008), seus primeiros registros datam de 5000 a.C., no sudoeste Asiático tendo posteriormente se expandido para Índia e Europa. Na América do Sul e Central, essa cultura foi introduzida pelos espanhóis, chegando ao Brasil nos primeiros anos após o descobrimento por colonizadores portugueses (Lemos e Soares, 1999).

O grão de arroz é constituído principalmente pelo endosperma, o qual corresponde de 70 a 72% de seu peso, seguido da casca (20%), película (7 a 8%) e germe (2 a 3%) (Ju e Vali, 2005). A proteína do arroz é constituída por diferentes frações – albumina, globulina, prolamina e glutelina, sendo esta a maior fração presente no grão (70-80% da proteína total) (Carvalho et

al., 2011) Além disso, contém dois tipos de amido: amilopectina e amilose, a qual está diretamente relacionada com as propriedades textuais do grão, como maciez, coesão, cor, brilho e com volume de absorção de água e expansão (Mingotte et al., 2012).

A maior parte desse cereal produzido é comercializado em seu estado natural, sendo apenas aplicado o processo de beneficiamento para retirada da casca e polimento do grão (Limberger, 2006). Durante o processo de polimento, cerca de 14% dos grãos são quebrados, sendo então classificados como quirera (Limberger et al., 2008), constituindo o fragmento do grão que passa em peneira de furos circulares de 1,6mm de diâmetro (Conci et al., 1996). Brum Júnior et al. (2007) afirmaram que esse subproduto pode ser encontrado em vários graus de limpeza, contendo dentre outros, casca de arroz, sementes de capim-arroz (*Equinocloa* spp) e angiquinho (*Aeschynomene* spp).

A quirera de arroz apresenta composição química semelhante à do grão de arroz, sendo rica fonte de amido e habitualmente empregada na alimentação animal (Apolônio et al., 2003). Além disso, pode ser considerada produto de alta qualidade e apresenta nível de proteína energia metabolizável semelhante ao do milho, podendo ser substituto à esse cereal em dietas para animais (Rostagno et al., 2011), por apresentar custo inferior. Além disso, segundo Butolo (2002) mais uma das vantagens da utilização de quirera de arroz na dieta dos animais é a ausência ou nível reduzido de micotoxinas devido à forma de colheita e processamento desse cereal.

4.2 Aveia

A aveia é uma gramínea que possui alta rusticidade, é exigente em água e apresenta capacidade de produção de massa verde (Goes et al., 2013). O cultivo desse cereal é considerado alternativo de produção no período de inverno realizada principalmente no Centro-Sul do Brasil, com intuito de produção de forragem, cobertura verde e produção de grãos, os quais são utilizados tanto na alimentação humana, quanto animal (Floss et al., 2007)

Em relação às cultivares de aveia, Floss et al. (2007) afirmaram que a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) é cultivada com o objetivo de produção de forragem, enquanto que a aveia branca (*Avena sativa* L.) é produzida tanto com a finalidade forrageira, bem como para produção de grãos. Borsato et al. (2000) relatam que a aveia branca é uma das culturas mais antigas praticadas pelo homem, destinada à produção de grãos para alimentação própria e animal, uma vez que possui balanceamento de aminoácidos, vitaminas, minerais e carboidratos de alta qualidade.

Esta gramínea apresenta elevado teor proteico, que pode variar de 12 a 24% no grão descascado e também é rica em lipídeos, que varia de 3 a 10% distribuídos por todo o grão e com predominância de ácidos graxos insaturados (Weber et al., 2002).

4.3 Triguilho

O trigo geralmente é cultivado em estações frias, sendo que a ocorrência de geadas, em determinadas fases de desenvolvimento, pode ocasionar prejuízos no desenvolvimento dos grãos, provocando variações em sua composição física e química podendo resultar em um subproduto de menor mercado, chamado de triguilho. O triguilho é constituído de grãos de trigo de tamanho menor que o grão comum, que passam por uma peneira de crivo oblongo de 1.75 mm x 20.00 mm e espessura de chapa de 0.72 mm (Brum et al., 2005).

Dessa forma, podem ser considerados como grãos pouco desenvolvidos, fragmentados ou chochos, resultantes de lotes cujo peso específico é menor que o mínimo exigido na moagem, ou da classificação do trigo após a eliminação das impurezas (Zardo e Lima, 1999) podendo apresentar pequena quantidade de casca, sendo impróprio para o consumo humano (Barbosa et al., 1990).

Este alimento é utilizado como fonte energética no período de entressafra do milho, quando este é mais escasso e seu preço é mais elevado (Tufarelli et al., 2011). Do ponto de vista nutricional, o triguilho apresenta valores mais elevados de proteína bruta, aminoácidos, cálcio e fósforo que o milho (Rostagno et al., 2011). Para que possa ser considerado de boa qualidade para uso em rações, deve ter no máximo 6% de fibra bruta, 4% de matéria mineral, 13% de umidade, mais que 13% de proteína bruta e cerca de 1% de lipídeo (Brum et al., 2005).

5. Ácido Fítico

Durante o desenvolvimento normal, as plantas retiram os nutrientes minerais do solo e, na fase de maturação dos grãos, ocorre um deslocamento desses elementos para as sementes. O fósforo absorvido do solo é armazenado na forma de ácido fítico ou fitato (hexafosfato de mio-inositol) e encontra-se em sementes de plantas, cereais e farelos de oleaginosas (Francis et al., 2001). Seu local de deposição varia conforme a espécie de planta, podendo ser em células de aleurona ou no embrião (Rostami e Giri, 2013). Nos vegetais, o ácido fítico atua principalmente na reserva de fósforo, regulando os níveis de fosfato inorgânico nesses

organismos. Atua também na reserva energética e na imobilização de cátions multivalentes (Quirrenbach et al., 2009).

A fórmula molecular do ácido fítico é $C_6H_{18}O_{24}P_6$, sendo 1,2,3,4,5,6 hexaquis (dihidrogênio) fosfato *mio*-inositol sua nomenclatura oficial (Kumar et al., 2012) (Figura 2). Segundo Rostami e Giri (2013), a utilização do prefixo “hexaquis” ao invés de “hexa” indica que os fosfatos não são internamente ligados, sendo um ligante polidentado, ou seja, que possui mais do que um ponto de ligação.

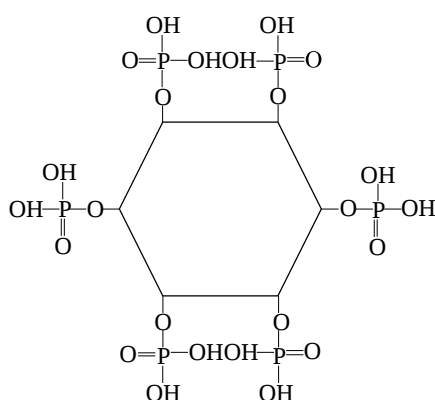


Fig. 2. Estrutura molecular do ácido fítico.

Apesar de diversos estudos relacionados ao ácido fítico, seu processo de síntese e metabolismo nas plantas ainda não é totalmente compreendido (Hatzack et al., 2001). Segundo Asada et al. (1968), a biossíntese do fitato é difícil de ser entendida, pois os intermediários relacionados à esse processo são difíceis de ser detectados. Entretanto, sua síntese consiste em um processo de fosforilação da molécula de 1E-*mio*-inositol-3-fosfato (Ins3P1). Essa molécula é formada tanto a partir de D-glicose-6-fosfato pela ação da enzima sintetase Ins3P1, bem como pela molécula de *mio*-inositol pela ação da enzima *mio*inositol-quinase. A formação do Ins3P1 consiste no primeiro passo no metabolismo do *mio*-inositol e na biossíntese de ácido fítico. Subsequentemente, as enzimas quinases catalisam a fosforilação de fosfatidilinositol gradual de Ins3P1 para produzir *mio*-inositol, di-, tri-, tetra-, penta- e hexafosfato e dessa forma, a formação de *mio*-hexaquisfosfato (IP6) ou ácido fítico (Paula, 2007) (Figura 3).

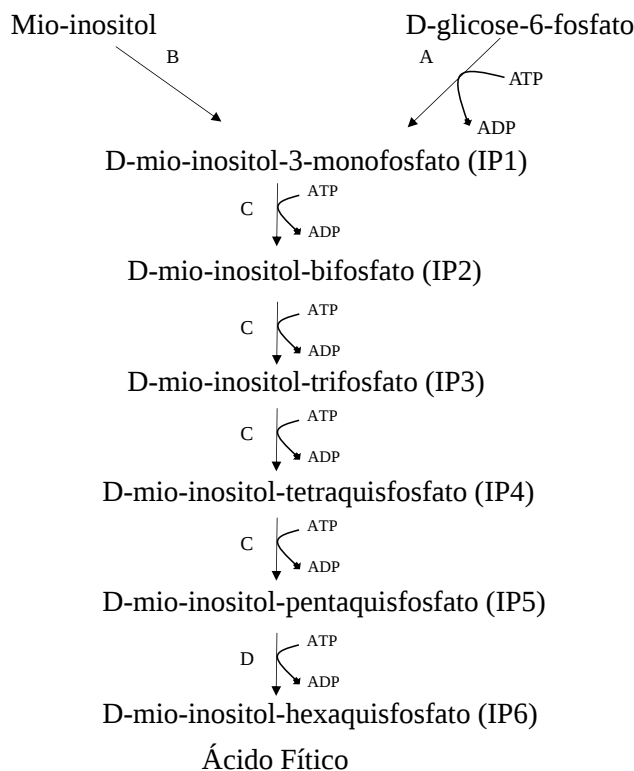


Fig. 3. Síntese do ácido fítico, através da formação do IP1 pela ação das enzimas sintetase Ins3P1(A) e mio-inositol-quinase (B) e sua sequente fosforilação até a formação, sob ação das enzimas quinase (C) e pentaquisfosfato quinase (D) sem a presença de intermediários.

Devido à capacidade de armazenamento de fósforo, o ácido fítico era considerado primeiramente como fator limitante na disponibilidade desse mineral em alimentos vegetais (Morales et al., 2011). Entretanto verificou-se que em condições naturais, esse composto apresenta alto potencial de quelação (Graf e Eaton, 1990), pois encontra-se carregado negativamente, fazendo com que seu grupo fosfato se complexe com moléculas carregadas positivamente. Segundo Quirrembach et al. (2009), a molécula de ácido fítico pode apresentar até doze cargas negativas, sendo duas localizadas em cada um dos seis grupos fosfatos.

Dessa forma, por meio de ligações eletrostáticas, o fitato forma complexos com minerais (Ca, Zn, Mn, Fe, entre outros), além de proteínas, lipídeos e amido (Gonçalves et al., 2005; Kumar et al., 2012) (Figura 4). Segundo Kornegay (1996), além de ter uma influência negativa na solubilidade das proteínas, prejudica a função das pepsinas por causa das ligações iônicas entre os grupos fosfato do ácido fítico e aminoácidos como lisina, histidina e arginina, sob condições ácidas. E sob condições neutras, os grupos carboxil de alguns aminoácidos poder se ligar ao fitato, usando elementos minerais bivalentes tais como Ca, como ponte de ligação.

Ressalta-se que esse poder de quelação reduz a biodisponibilidade dos nutrientes, uma vez que esses complexos formados não são absorvidos no trato gastrointestinal (Greiner e

Konietzny, 2006), pelo fato de serem insolúveis em pH próximo ao do intestino (Fukuji et al., 2008).

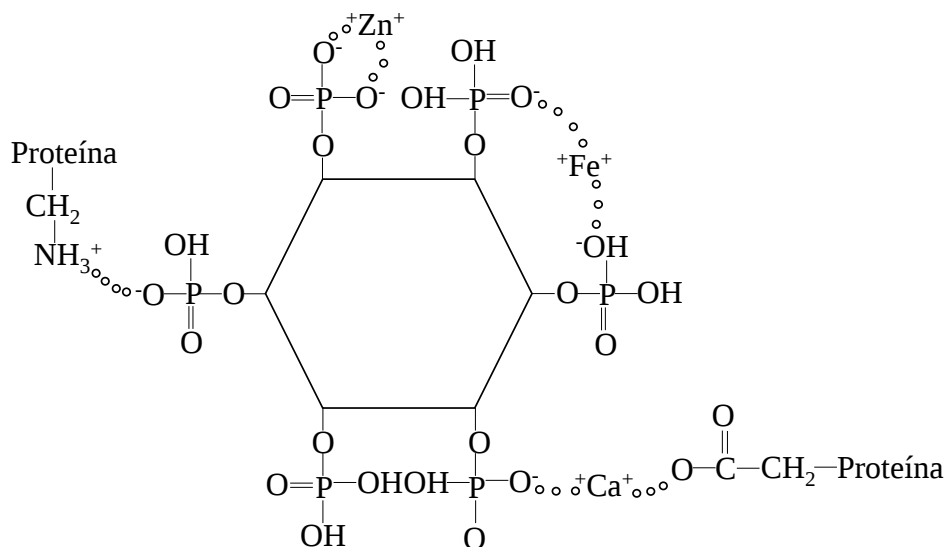


Fig. 4. Esquema de complexos formados pelo ácido fítico com minerais e proteínas.

Em relação à sua capacidade de reserva de fósforo, Nolan et al. (1987) afirmaram que até 90% do total desse mineral presente nas plantas pode estar na forma de fitato. Kumar et al. (2012) estimaram que a produção anual de fitato é de cerca de 14.4 milhões de toneladas, em virtude da produção mundial de sementes e frutas. Por exemplo, o milho, trigo e farelo de soja, que são ingredientes vegetais amplamente utilizados na fabricação de rações para animais, apresentam em torno de 2,4; 3,08 e 6,66% de fósforo, sendo que desse total 85; 74,9 e 68,3%, respectivamente, apresentam-se na forma de fitato (Godoy et al., 2005).

6. Fitase

A enzima fitase é quimicamente conhecida como *mio*-inositol-hexafosfato fosfoidrolase (Baruah et al., 2004). Ela possui a capacidade de hidrolisar a molécula de ácido fítico (Morales et al., 2013), sequestrando seus grupos ortofosfatos e produzindo uma série de ésteres de fosfatos de *mio*-inositol, através de sucessivas reações de desfosforilação, conduzindo na produção de *mio*-inositol livre, juntamente com seus fósforos inorgânicos (Baruah et al., 2004; Debnath et al., 2005; Selle et al., 2007). Além do mais, através dessa hidrólise, a fitase provoca diminuição da capacidade de quelação do ácido fítico em relação aos diferentes cátions (Kumar et al., 2012).

A unidade de medida da fitase é expressa pelas siglas FYT, FTU, PU ou U (Kumar et al., 2010), cujos significados referem-se à unidade de fitase ativa, sendo definida como a

quantidade de enzima necessária para liberar um micromol de fósforo inorgânico em um minuto em substrato de ácido fítico à temperatura de 37 °C e pH 5,5 (Fukayama et al., 2008). Segundo Cao et al. (2007), essa enzima apresenta picos de atividade em pH de 2,5 e 5,0-5,5, sendo então considerado que a atividade ideal da mesma é obtida no intervalo de pH de 2,5 a 5,5. Entretanto, devido à diversidade do trato gastrointestinal dos peixes, ela mostra diferente eficiência em relação as diferentes espécies (Cao et al., 2007), uma vez que é diretamente afetada pelo pH e temperatura do estômago, os quais interferem na solubilidade do ácido fítico e proteína (Morales et al., 2011).

As fontes naturais dessa enzima são vegetais (trigo, soja, milho, arroz, centeio, cevada, entre outros), bactérias do tipo Enterobacteriaceae e fungos como *Aspergillus niger* (Dvoráková, 1998; Fireman e Fireman, 1998). Entretanto, destaca-se que a obtenção através da membrana celular de fungos é comercialmente a forma mais comum de obtenção da mesma (Pandey et al., 2001), sendo que o processo de síntese a partir de *A. niger* foi a primeira forma de produção bem caracterizada e consequentemente comercializada em comparação às demais fontes de fitase (Lei et al., 2007).

Segundo Wodzinski e Ullah (1996), as primeiras tentativas para comercialização da fitase iniciaram-se em 1962 na América do Norte. No entanto, naquele tempo, o custo de sua produção era um obstáculo para seu uso (Fireman e Fireman, 1998). Somente a partir de 1991 houve a produção dessa enzima, sendo comercializada e disponibilizada para nutrição animal (Selle e Ravidran, 2007). Sua comercialização e utilização em dietas para animais foi impulsionada devido à legislação introduzida em países da Europa para controlar a poluição de fosfatos em unidades de criação de aves e suínos, adquirindo posteriormente aceitação mundial, o que influenciou na redução de preços e facilitou a aplicação em criação de animais não-ruminantes (Kumar et al., 2010).

As fitases são classificadas em 2 categorias quanto à hidrólise realizada nos grupos fosfato do ácido fítico, sendo considerada 3-fitase, quando o processo de hidrólise do mesmo inicia-se no terceiro fosfato e, 6-fitase quando é primeiramente realizada no sexto fosfato (Rutherford et al., 2012). Segundo Selle et al. (2007), a enzima isolada de *A. niger* é classificada como 3-fitase, enquanto que de outros micro-organismos como *Peniophora lycii* e *Escherichia coli* são categorizadas como 6-fitase. Ela também pode ser categorizada conforme o pH de ação, sendo considerada uma enzima ácida quando apresenta pH de ação em torno de 5,0 e alcalina quando esse valor se eleva para aproximadamente 8,0 (Konietzny e Greiner, 2002).

Segundo Cao et al. (2007), a fitase pode ser adicionada em dietas para animais na forma de pó, grânulos ou líquidos, sendo submetida a um pós-revestimento ou pré-tratamento,

com a finalidade de evitar problemas durante o processamento como a extrusão, principalmente em relação às altas temperaturas, uma vez que essa enzima não é estável ao calor.

A fitase vem sendo bastante estudada não somente por disponibilizar maior quantidade de fósforo inorgânico para absorção, mas também por evitar o efeito negativo do ácido fítico sobre outros nutrientes como minerais e proteínas (Caires et al., 2008). Warden e Schable (1962) foram os primeiros a utilizar fitase em uma pesquisa com frangos de corte. Em seguida, Nelson et al. (1968) realizaram um estudo adicionando fitase, produzida por uma cultura de *A. ficuum*, a uma ração líquida de soja fornecida para frangos de corte de um ano de idade. Esses autores verificaram um considerável aumento de percentagem de cinzas ósseas nas aves avaliadas, concluindo que as mesmas utilizaram o fósforo do ácido fítico tão bem como o fósforo inorgânico suplementado nas rações.

Diversos estudos demonstram a eficiência da utilização da fitase para aves e suínos em diferentes parâmetros observados como na digestibilidade e retenção de nutrientes e no desempenho produtivo (Moreira et al., 2004; Da Silva et al., 2006; Costa et al., 2006; Kiefer et al., 2012). Apesar da utilização da mesma estar bem estabelecida para animais terrestres, não é tão extensivamente aplicada na aquicultura (Morales et al., 2011). Recentemente, pesquisas têm sido realizadas com intuito de investigar os efeitos da suplementação da fitase em dietas para diferentes espécies de peixes, como truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Riche e Brown, 1996; Sugiura et al., 2001), salmão do atlântico (*Salmo salar*) (Storebakken et al., 2000; Sajjadi e Carter, 2004), jundiá (*Rhamdia quelen*) (Rocha et al., 2007), tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Furuya et al., 2001; Gonçalves et al., 2005; Bock et al., 2006), entre outras.

O aumento do interesse na investigação dos efeitos da fitase em dietas para peixes deve-se principalmente ao fato de haver maior aproveitamento do fósforo de fontes vegetais por meio da inclusão dessa enzima e a consequente redução da necessidade de suplementação de fósforo inorgânico nas rações, diminuindo o impacto ambiental no meio aquático gerado pela excreção desse mineral nas fezes (Bock et al., 2007).

Nesse sentido, Bock et al. (2007) observaram eficiência de 29,55% maior na utilização do fósforo em alevinos de tilápia alimentados com dieta contendo 2000 FTU quando comparado a dieta contendo fosfato sem adição de fitase. Os mesmos autores ainda verificaram uma quantidade de 1,16% menor de fósforo nas fezes dos animais alimentados com rações contendo a enzima. Gonçalves et al. (2007) observaram que a suplementação de fitase aumentou em 25,75; 25,82; 43,1 e 45,75% o aproveitamento desse mineral para alimentos vegetais como milho, farelo de soja, glúten de milho e farelo de arroz, respectivamente.

O fósforo fítico não absorvido e excretado, juntamente com a quantidade de fósforo inorgânico adicionada às rações, que não é retido pelo organismo, afetam negativamente na qualidade de água. Cyrino et al. (2010) destacam que as sobras alimentares e as fezes são as principais fontes de poluentes em efluentes de piscicultura intensiva, sendo que o excesso de fósforo no meio aquático torna-se impactante devido ao fato de ser o nutriente mais limitante para produção primária de algas, influenciando consequentemente na eutrofização do ambiente, diminuindo o oxigênio existente, além de contaminar o solo e as águas subterrâneas (Klein e Agne, 2012).

Referências

- Abucarma, M., Martins-Santos, I.C. 2001. Karyotype and B chromosome of *Rhamdia* species (Pisces, Pimelodidae) endemic in the River Iguaçu basin. *Cytologia*, 66, 299–306.
- Alliot, E., Pastoreaudt, A., Pelaez-Hudlet, J., Métailler, R. 1979. Utilisation des farines végétales et des levedures cultivées sur alcances pour l'alimentation du bar (*Dicentrarchus labrax*), in: Halver, J.E., Tiews, K. (Eds.), *Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*. Heenemann Verlagsgesellschaft, Berlin, pp. 229–238.
- Apolônio, L.R., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M. de., Souza, A.V.C. de., Silva, F.C. de O., Bünnen, S. 2003. Digestibilidade Ileal de Aminoácidos de alguns alimentos, determinada pela técnica da cânula T simples com suínos. *R. Bras. Zootec.* 32, 605-6014.
- Asada, K., Tanaka, K., Kasai, Z. 1968. Phosphorylation of myo-inositol in ripening grains of rice and wheat. Incorporation of phosphate-32-P and myo-inositol-3H into myo-inositol phosphates. *Plant Cell Physiol.* 9, 185–193.
- Austreng, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*. 13, 265–272.
- Baldisserotto, B. 2004. *Biologia do Jundiá*, in: Baldisserotto, B., Radünz-Neto, J. (Eds.). *Criação de Jundiá*. Editora da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, pp.67-71.
- Baldisserotto, B., Radünz-Neto, J., 2005. *Jundiá (Rhamdia quelen)*, in: Baldisserotto, B., Gomes, L.C. (Eds.), *Espécies Nativas Para Piscicultura No Brasil*. Editora da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, pp. 303–319.
- Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Lima, G.J.M.M. de, Ferreira, A.S. 1990. Triguilho na alimentação de suínos. *Bolet. Téc. Bem.* 1, 1–4.
- Baruah, K., Sahu, N.P., Pal, A.K., Debnath, D. 2004. Dietary Phytase : An ideal approach for a cost effective and low-polluting aquafeed. *WorldFish Cent. Quart.* 27, 15–19.
- Benevides, V.M. de J., Souza, M.V., Souza, R.D.B., Lopes, M.V. 2011. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. *Seg. Alim. Nutr.* 18, 67–79.

- Bergamin, G.T., Veiverberg, C.A., Silva, L.P. da., Pretto, A., Siqueira, L.V., Radünz Neto, J. 2013. Extração de antinutrientes e aumento da qualidade nutricional dos farelos de girassol, canola e soja para alimentação de peixes. *Cienc. Rural*, 43, 1878–1884.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2006. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de ração por tilápias-do-nilo. *R. Bras. Zootec.* 35, 2197-2202.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2007. Fitase em rações para tilápia-do-nilo na fase de crescimento. *R. Bras. Zootec.* 36, 1455–1461.
- Bomfim, M.A.D., Lanna, E.A.T. 2004. Fatores que afetam os coeficientes de digestibilidade nos alimentos para peixes. *Rev. Elet. Nutrit.* 1, 20–30.
- Borsato, A.V., Barros, A.S. do R., Ahrens, D.C., Dias, M.C.L. de L. 2000. Avaliação de testes de vigor para sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.). *Ver. Bras. Sementes*, 22, 163–168.
- Boscolo, W.R., Hayashi, C., Meurer, F. 2002. Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *R. Bras. Zootec.* 31, 539–545.
- Boscolo, W.R., Signor, A., Freitas, J.M.A. de, Bittencourt, F., Feiden, A. 2011. Nutrição de peixes nativos. *R. Bras. Zootec.* 40, 145–154.
- Botelho, R.M., Silva, R.L. Da, Rocha, M.K.H.R., Carvalho, P.L.P.F. De, Damasceno, F.M., Muller, H.C., Gonçalves, H.C., Pezzato, L.E. 2012. Marcadores internos como alternativa ao óxido de cromo-III na determinação da digestibilidade aparente em tilápia do Nilo. *Vet. Zootec.* 19, 539-547.
- Braga, L.G.T., Rodrigues, F.L., Azevedo, R.V. de, Carvalho, J.S.O., Ramos, A.P.S. 2010. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de coprodutos agroindustriais para tilápia do Nilo. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 11, 1127–1136.
- Bremer Neto, H., Graner, C.A.F.G., Pezzato, L.E., Padovani, C.R., Cantelmo, O.A. 2003. Diminuição do teor de óxido de cromo (III) usado como marcador externo. *R. Bras. Zootec.* 32, 249–255.
- Brito, C.O., Albino, L.F.T., Rostagno, H.S., Gomes, P.C., Dionizio, M.A., Carvalho, D.C.O. 2006. Adição de complexo multienzimático em dietas à base de soja extrusada : valores energéticos e digestibilidade de nutrientes em pintos de corte. *R. Bras. Zootec.* 35, 1407–1055.
- Brown, P.B., Strange, R.J., Robbins, K.R. 1985. Protein digestibility coefficients for yearling channel catfish fed high protein feedstuffs. *Prog. Fish Cult.* 47, 94–97.
- Brum, P.A.R. de, Zanotto, D.L., Avila, V.S. de, Lima, G.J.M.M. de. 2005. Triguilho na alimentação de aves. *Bol. Téc. Embrapa* 1, 1–2.

- Brum Júnior, B. de S., Zanella, I., Toledo, G.S.P. de. 2007. Dietas para frangos de corte contendo quirera de arroz. *Cienc. Rural*, 37, 1423–1429.
- Butolo, J. E. 2002. Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal. Colégio Brasileiro de Alimentação Animal, Campinas, pp. 430.
- Caires, C.M., Fagundes, N.S., Fernandes, E. de A., Carvalho, A.P. de. 2008. Enzimas na alimentação de frangos de corte. *Rev. Elet. Nutrit.* 5, 491–497.
- Calderano, A.A., Gomes, P.C., Albino, L.F.T., Rostagno, S.R., Souza, R.M. de, Mello, H.H. de C. 2010. Composição química e energética de alimentos de origem vegetal determinada em aves de diferentes idades. *R. Bras. Zootec.* 39, 320–326.
- Campestrini, E., Silva, V.T.M. da, Appelt, M.D. 2005. Utilização de enzimas na alimentação animal. *Rev. Elet. Nutrit.* 2, 259–272.
- Cantelmo, O.A., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Ribeiro, M.A.R. 1999. Influência de diferentes aglutinantes na digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína, no pacu (*Piaractus mesopotamicus*) arraçoado com rações elaboradas com ou sem vapor. *Acta Sci.* 21, 277–282.
- Cao, L., Wang, W., Yang, C., Yang, Y., Diana, J., Yakupiyage, A., Luo, Z., Li, D. 2007. Application of microbial phytase in fish feed. *Enzyme Microb. Tech.* 40, 497–507.
- Cardoso, L.R., Oliveira, M.G. de A., Mendes, F.Q., Pires, C.V., Ribeiro, F.R., Sant'ana, R.C.O., Moreira, M.A. 2007. Atividade de inibidores de proteases em linhagens de soja geneticamente melhoradas. *Alim. Nutr.* 18, 19–26.
- Carvalho, W.T. de, Reis, R.C. dos, Velasco, P., Soares Júnior, M.S., Bassinello, P.Z., Calliari, M. 2011. Características físico-químicas de extratos de arroz integral, quirera de arroz e soja. *Pesq. Agropec. Trop.* 41, 422–429.
- Cho, C., Cowey, C.B., Watanabe, T. 1985. Methodological approaches to research and development, in: Cho, C.Y., Cowey, C., Watanabe, T. (Eds.). *Finfish Nutrition in Asia*. IDRC, Ottawa pp.10-80.
- Cho, C.Y., Slinger, S.I., 1979. Apparent digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout, in: Halver, J.E., Tiems, K. (Eds.), *Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*. Heenemann Verlagsgesellschaft, Berlin, pp. 234–247.
- Choubert, G., De La Noüe, J., Luquet, P. 1979. Continuous Quantitative Automatic Collector for Fish Feces. *Prog.Fish Cult.* 41, 64–67.
- CONAB, 2015. Levantamento de safra. CONAB Companhia Nacional de Abastecimento Brasília, Brasil (84 pp.).
- Conci, V. A., Magalhães, R. M., Bender, P. E., Maggi, L., Oliveira, M.F.G. de, Costa, M.S.S. da, Martins, E.S. 1996. Avaliação de subprodutos do arroz na alimentação de suínos. A quirera de arroz nas fases de recria e terminação. *Pesq. Agrop. Gaúcha.* 1, 79–88.

- Costa, F.G.P., Brandão, P.A., Brandão, J.S., Da Silva, J.H. 2006. Efeito da enzima fitase nas rações de frangos de corte, durante as fases pré-inicial e inicial. *Ciênc. Agrotec.* 31, 865-870.
- Crepaldi, D.V, Faria, P.M.C., Teixeira, E.D.A., Ribeiro, L.P., Costa, A.A.P., Melo, D.C. de, Cintra, A.P.R., Prado, S. de A., Costa, F.A.A., Drumond, M.L., Lopes, V.E., Moraes, V.E. de. 2006. O surubim na aquacultura do Brasil. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 30, 150–158.
- Cyrino, J.E.P., Bicudo, A.J. de A., Sado, R.Y., Borghesi, R., Dairiki, J.K. 2010. A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *R. Bras. Zootec.* 39, 68-87.
- Cyrino, J.E.P., Fracalossi, D.M.A. 2013. Pesquisa em nutrição de peixes e o desenvolvimento da aquicultura no Brasil: uma perspectiva histórica, in: Fracalossi, D.M., Cyrino, J.E.P. (Eds.). *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira*. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, pp.1–8.
- Da Silva, Y.L., Rodrigues, P.B., De Freitas, R.T.F., Bertechini, A.G., Fialho, E.T., Fassani, E.J., Pereira, C.R. 2006. Redução de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. Desempenho e teores de minerais na cama. *R. Bras. Zootec.* 35, 840-848.
- Debnath, D., PaL, A.K., Sahu, N.P., Jain, K.K., Yengkokpam, S., Mukherjee, S. 2005. Effect of dietary microbial phytase supplementation on growth and nutrient digestibility of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings. *Aquac. Res.* 36, 180–187.
- Della Flora, M.A., Maschke, F., Ferreira, C.C., Pedron, F.D.A. 2010. Biologia e cultivo do dourado (*Salminus brasiliensis*). *Acta Vet. Brasilica.* 4, 7–14.
- Del-Vechio, G., Corrêa, A.D., Abreu, C.M.P. de, Santos, C.D. dos. 2005. Efeito do tratamento térmico em sementes de abóboras (*Cucurbita* spp.) sobre os níveis de fatores antinutricionais e/ou tóxicos. *Ciênc. Agrotéc.* 29, 369–376.
- Dvoráková, J. 1998. Phytase: Sources, preparation and exploitation. *Folia Microbiol.* 43, 323–338.
- Fabgenro, O. 1998. Apparent digestibility of various oilseed cakes/meals in African catfish diets. *Aquacult. Int.* 6, 317–322.
- Fabregat, T. E.H.P., Fernandes, J.B.K., Rodriguez, L.A., Borges, F. de F., Pereira, T.S., Nascimento, T.M.T. do. 2008. Digestibilidade aparente da energia e da proteína de ingredientes selecionados para juvenis de Pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Rev. Acad. Agrár. Ambient.* 6, 459–464.
- Fabregat, T.E.H.P., Pereira, T.S., Boscolo, C.N., Alvarado, J.D., Fernandes, J.B.K. 2011. Substituição da farinha de peixe pelo farelo de soja em dietas para juvenis de curimba. *B. Inst. Pesca.* 37, 289–294.

- FAO, 2014. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2014. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy (209 pp.)
- Fedrizi, L.F.B. 2009. Digestibilidade de nutrientes, crescimento e variáveis metabólicas em tilápias do Nilo alimentadas com fontes de carboidratos peletizadas, extrusadas ou cruas. Universidade Estadual Paulista.
- Fireman, A.K.A.T., Fireman, F.A.T. 1998. Fitase na alimentação de poedeiras. *Ciênc. Rural.* 28, 529–534.
- Floss, E.L., Palhano, A.L., Soares Filho, C.V., Premazzi, L.M. 2007. Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia branca. *Acta Sci. Anim. Sci.* 29, 1–7.
- Foster, I. 1999. Short communication A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. *Aquacult. Nutr.* 5, 143–145.
- Fracalossi, D.M., Rodrigues, A.P.O., Castro e Silva, T.S. de, Cyrino, J.E.P. 2013. Técnicas experimentais em nutrição de peixes, in: Fractalossi, D.M., Cyrino, J.E.P. (Eds.). *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira*. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, pp.37–63.
- Fracalossi, D.M., Zaniboni Filho, E., Meurer, S. 2002. No rastro das espécies nativas. *Panorâma da Aquicultura.* 12, 43–49.
- Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199, 197–227.
- Freitas, J.M.A. de., Sary, C., Luchesi, J.D., Feiden, A., Boscolo, W.R. 2011. Proteína e energia na dieta de jundiás criados em tanques-rede. *R. Bras. Zootec.* 40, 2628–2633.
- Fukayama, E.H., Sakomura, N.K., Dourado, L.R., Neme, R., Fernandes, J.B.K., Marcato, S.M. 2008. Efeito da suplementação de fitase sobre o desempenho e a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte. *R. Bras. Zootec.* 37, 629–635.
- Fukuji, T.S., Ferreira, D.L., Soares, A.L., Prete, C.E. C., Ida, E.L. 2008. Ácido fítico de híbridos de milho e alguns produtos industrializados. *Acta Sci. Agron.* 30, 31–35.
- Furuya, W.M., Gonçalves, G.S., Furuya, V.R.B., Hayashi, C. 2001. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Desempenho e digestibilidade. *Rev. Bras. Zootec.* 30, 924–929.
- Glencross, B.D., Booth, M., Allan, G.L. 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquacult. Nutr.* 13, 13–34.
- Godoy, S., Chicco, C., Meschy, F., Requena, F. 2005. Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed ingredients. *Interciência* 30, 24–28.

- Goes, R. H. De T. E B. De, Silva, L. H. X. Da; Souza, K. A. DE. Alimentos e alimentação animal. Triunfal Gráfica e Editora, Dourados, pp. 79.
- Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Kleeman, G.K., Rocha, D.F. 2005. Efeitos da Suplementação de Fitase sobre a Disponibilidade Aparente de Mg , Ca , Zn , Cu , Mn e Fe em Alimentos Vegetais para a Tilápia-do-Nilo. R. Bras. Zootec. 34, 2155–2163.
- Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Padilha, P. de M., Barros, M.M. 2007. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia-do-nilo. R. Bras. Zootec. 36, 1473-1480.
- Graf, E., Eaton, J.W. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. Free Radical Biol. Med. 8, 61–69.
- Greiner, R., Konietzny, U. 2006. Phytase for Food Application. Food Technol. Biotech. 44, 125–140.
- Guimarães, I.G., Miranda, E.C. de, Martins, G.P., Louro, V.R., Miranda, C.C. de. 2008. Shrimp meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. 9, 140–149.
- Guimarães, I.G., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Tachibana, L., Fernandes, R. do N. 2011. Digestibilidade do amido e disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). Ciênc. Anim. Bras. 12, 415-419.
- 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.
- Hatzack, F., Hübel, F., Zhang, W., Hansen, P.E., Rasmussen, S.K. 2001. Inositol phosphates from barley low-phytate grain mutants analysed by metal-dye detection HPLC and NMR. Biochem. J. 354, 473–80.
- Henken, A.M., Kleingeld, D.W., Tussen, P.A.T. 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Aquaculture 51, 1–11.
- Ju, Y., Vali, S.R. 2005. Rice bran oil as a potential resource for biodiesel: A review. J. Sci. Ind. Res. India 64, 866–882.
- Kiefer, C., Dos Santos, T.M.B., Moura, M.S., Silva, C.M., Lucas, L.S., Rosa, E.M. 2012. Digestibility of diets supplemented with phytase for pigs under thermal environments. Ciênc. Rural 42, 1483-1489.
- Klein, C., Agne, S.A.A. 2012. Fósforo: de nutriente à poluente!. Rev. Eletrônica Gest., Educ. Tecnol. Ambient. 8, 1713–1721.
- Konietzny, U., Greiner, R. 2002. Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (Phytases). Int. J. Food Sci. Technol. 37, 791-812.

- Kornegay, E.R. 1996. Effect of phytase on the bioavailability of phosphorus, calcium, amino acids, and trace minerals in broilers and turkeys. Basf Teshnical Symposium. World Congress Center, Atlanta, pp. 39-70.
- Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Becker, K. 2010. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. Food Chem. 120, 945–959.
- Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Boeck, G. de, Becker, K. 2012. Phytate and phytase in fish nutrition. J. Anim. Physiol. An. N. 96, 335–64.
- Lei, X.G., Porres, J.M., Mullaney, E.J., Brinch-Pedersen, H. 2007. Phytase: source, structure and application, in: Polaina, J., Maccabe, A.P. Industrial Enzymes: structure, function and applications. Springer pp. 505–529.
- Leite, P.R. de S. da C., Mendes, F.R., Pereira, M.L.R., Lacerda, M.J.R. 2012. Limitações da utilização da soja integral e farelo de soja na nutrição de frangos de corte. Encicl. Biosf. 8, 1138–1157.
- Lemos, M.R.B., Soares, L.A. de S. 1999. Farelo de arroz: um subproduto em estudo. Óleos e Grãos 7, 40–48.
- Limberger, V. M. 2006. Modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. Universidade Federal de Santa Maria.
- Limberger, V.M., Silva, L.P. da, Emanuelli, T., Comarela, C.G., Patias, L.D. 2008. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. Quím. Nova 31, 84–88.
- Lôbo Júnior, M.F., Rezende, A.S.C., Saliba, E. de O.S., Sampaio, I.B.M. 2001. Coeficientes de digestibilidade aparente pelos métodos de indicadores e coleta total de fezes em cães. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 53, 691–694.
- Lorenzett, D.B., Neuhaus, M., Schwab, N, T. 2012. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. Rev. Gest. Ind. 8, 219–232.
- Lovell, T. 1998. Nutrition and feeding of fish. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 267.
- Lundberg, J., Bornbush, A.H., Mago-Leccia, F. 1991. Gladioganis conquistador s. sp., from Ecuador with diagnoses of the subfamilies Rhamdiinae Bleeker and Pseudopimelodinae n. subf. (Siluriformes, Pimelodidae). Copeia 190–209.
- Lundberg, J., Mago-Leccia, F., Nass, P. 1991. Exallodontus aguanai, a new genus and species of Pimelodidae (Pisces, Siluriformes) from deep river channels of South America, and delemitation of the subfamily Pimelodinae. P. Biol. Soc. Wash. 104, 840–869.
- Maffezzolli, G., Nuñer, A.P. De O. 2006. Crescimento de alevinos de jundiá, Rhamdia quelen (Pisces, Pimelodidae), em diferentes concentrações de oxigênio dissolvido. Acta Sci. Biol. Sci. 28, 41-45.

- Meurer, F., Hayashi, C., Barrero, L.M., Santos, L.D. dos., Bombardelli, R.A., Colpini, L.M.S. 2008. Farelo de soja na alimentação de tilápias-do-nilo durante o período de reversão sexual. *R. Bras. Zootec.* 37, 791–794.
- Mingotte, F.L.C., Hanashiro, R.K., Fornasieri Filho, D. 2012. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. *Semina Ciênc. Agr.* 33, 2605–2618.
- Morales, A.E., Cardenete, G., Sanz, A., Higuera, M. 1999. Re-evaluation of crude fibre and acid-insoluble ash as inert markers, alternative to chromic oxide, in digestibility studies with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 179, 71-79.
- Morales, G.A., Moyano, F.J., Marquez, L. 2011. In vitro assessment of the effects of phytate and phytase on nitrogen and phosphorus bioaccessibility within fish digestive tract. *Anim. Feed Sci. Tech.* 170, 209–221.
- Morales, G.A., Rodrigañez, M.S. de, Márquez, L., Díaz, M., Moyano, F.J. 2013 Solubilisation of protein fractions induced by *Escherichia coli* phytase and its effects on in vitro fish digestion of plant proteins. *Anim. Feed Sci. Tech.* 181, 54–64.
- Moreira, J.A., Vitti, D.M.S.S., Lopes, J.B., Trindade Neto, M.A. 2006. Fluxo biológico do fósforo no metabolismo de suínos alimentados com dietas contendo fitase. *R. Bras. Zootec.* 33, 2066-2075.
- MPA, 2012. Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2010. Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA).
- Nelson, T.S. 1968. The availability of phytate phosphorus in soybean meal before and after treatment with a mold phytase. *Poultry Sci.* 47, 1842-1848.
- Nepomuceno, R.C., Carvalho, L.E. de, Freitas, E.R., Gomes, T.R., Aquino, T.M.F., Eliery, E.A.C., Moreira, R.H.R., Vieira, J.J.F. 2011. Inclusão da quirera de arroz em rações de suínos na fase de creche. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 12, 718–728.
- Nolan, K.B., Duffin, P.A., Mcweeny, D.J. 1987. Effects of phytate on mineral bioavailability.in vitro studies on Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} (also Cd^{2+}) solubilities in the presence of phytate. *J. Sci. Food Agr.* 40, 79–85.
- NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Oliveira, A.C.B. de, Cantelmo, O.A., Pezzato, L.E., Ribeiro, M.A.R., Barros, M.M. 1997. Coeficientes de digestibilidade aparente da torta de dendê e do farelo de coco em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Rev. Unimar* 19, 897–903.
- Oliveira Filho, P.R.C., Fracalossi, D.M. 2006. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *R. Bras. Zootec.* 35, 1581–1587.
- Oliveira, R.C. 2009. de. O Panorama da Aquicultura no Brasil: A prática com foco na sustentabilidade. *Rev. Int. Toxicol., R. Amb. Soc.* 2, 71–89.

- Pandey, A., Szakacs, G., Soccol, C.R., Rodriguez-Leon, J.A., Soccol, V.T. 2001. Production, purification and properties of microbial phytases. *Bioresource Technol.* 77, 203–14.
- Paula, S.A. de. 2007. Composição bioquímica e fatores antinutricionais de genótipos de soja. Universidade Federal de Viçosa.
- Pestana, V.R., Mendonça, C. R.B., Zambiasi, R.C. 2008. Farelo de arroz: características, benefícios à saúde e aplicações. *Bol. Cent. Pesqui. Process. Aliment.* 26, 29–40.
- Pezzato, L.E., Barros, M.M., Furuya, W.M. 2009. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. *R. Bras. Zootec.* 38, 43-51.
- Pinna, M. C. C. de. 1998. Phylogenetic relationships of Neotropical Siluriformes: historical overview and synthesis of hypothesis, in: Malabarba, L.R., Reis, R.R., Vari, R.P., Lucena, Z.M.S., Lucena, A.S. (Eds.). *Phylogeny and classification of neotropical fishes*. Edpuers, Porto Alegre, pp.279-330.
- Pinto, L.G.Q., Pezzato, L.E., Miranda, E.C. de, Barros, M.M., Furuya, W.M. 2000. Ação do tanino na digestibilidade de dietas pela tilápia- do - nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Sci.* 22, 677–681.
- Quirrenbach, H.R., Kanumfre, F., Rosso, N.D., Carvalho Filho, M.A. 2009. Comportamento do ácido fítico na presença de Fe (II) e Fe (III). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 29, 24-32.
- Ramakrishna, V., Rani, P.J., Rao, P.R. 2006. Anti-Nutritional Factors During Germination in Indian Bean (*Dolichos lablab* L .) Seeds. *World J. D. Food Sci.* 1, 6–11.
- Ramírez-Cárdenas, L., Leonel, A.J., Costa, N.M.B. 2008. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 28, 200–213.
- Rebello-Neto, P. X. 2013. *Piscicultura no Brasil Tropical*. Leopardo Editora, pp.267.
- Riche, M., Brown, P.B. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 142, 269-282.
- Rocha, C.B., Pouey, J.L.O.F., Enke, D.B.S., Xavier, E.G., Almeida, D.B. 2007. Suplementação de fitase microbiana na dieta de alevinos de jundiá: efeito sobre o desempenho produtivo e as características de carcaça. *Ciênc. Rural* 37, 1772-1778.
- Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; de Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R., 2011. *Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais*, 3rd ed. Universidade Federal de Viçosa.
- Rostami, H., Giri, A. 2013. An overview on microbial phytase and its biotechnological applications. *Int. J. Adv. Biotech. Res.* 4, 62–71.

- Rutherford, S.M., Chung, T.K., Thomas, D.V, Zou, M.L., Moughan, P.J. 2012. Effect of a novel phytase on growth performance, apparent metabolizable energy, and the availability of minerals and amino acids in a low-phosphorus corn-soybean meal diet for broilers. *Poultry Sci.* 91, 1118–27.
- Santos, E.L., Ludke, M.C. M.M., Ramos, A.M.D.P., Barbosa, J.M., Ludke, J.V., Rebello, C.B.V. 2009. Digestibilidade de subprodutos da mandioca para a Tilápia do Nilo. *Rev. Bras. de Ciênc. Agrár.* 4, 358–362.
- Santos, V.G. dos, Fernandes Junior, A.C., Koch, J.F.A., Barros, M.M., Guimarães, I.G., Pezzato, L.E. 2010. Composição química e digestibilidade do farelo de nabo forrageiro para tilápia do nilo. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 11, 537–546.
- Santos, E.L., Cavalcanti, M.C. de A., Fregadolli, F.L., Meneses, D.R. de, Temoteo, M.C., Lira, J.E. de., Fortes, C.R. 2013. Considerações sobre o manejo nutricional e alimentar de peixes carnívoros. *Rev. Elet. Nutrit.* 10, 2209–2216.
- Sartori, A.G. de O., Amancio, R. D. 2012. Pescado : importância nutricional e consumo no Brasil. *Seg. Alim. Nutri.* 19, 83–93.
- Selle, P.H., Gill, R.J., Scott, T.A. 2007. Effects of pre-pelleted wheat and phytase supplementation on broiler performance and nutrient utilization, in: *Australian Poultry Science Symposium*, 19th, Sydney, pp.182-185.
- Selle, P.H., Ravindran, V., 2007. Microbial phytase in poultry nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 135, 1–41.
- Shaefer, S. A. 1998. Conflit and resolution: impact of new taxa on Phylogenetic studies of the Neotropical cascudinhos (Siluroidei: Loricariidae), in: Malabarba, L.R., Reis, R.R., Vari, R.P., Lucena, Z.M.S., Lucena, A.S. (Eds.). *Phylogeny and classification of neotropical fishes*. Edpucrs, Porto Alegre, pp.375-400.
- Signor, A.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., Signor, A., Reidel, A. 2007. Triguilho na alimentação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L .): digestibilidade e desempenho. *Ciênc. Rural*, 37, 1116–1121.
- Silfvergrip, A.M.C. 1996. A Systematic Revision of the Neotropical Catfish Genus *Rhamdia* (Teleostei, Pimelodidae). *Swedish Museum of Natural History, Stockholm*, pp. 156.
- Silva, S.S. De, Shim, K.F., Ong, A. K. 1990. An evaluation of the method used in digestibility estimations of a dietary ingredient and comparisons on external and internal markers, and time of faeces collection in digestibility studies in the fish *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Reprod. Nut. Dev.* 30, 215-226.
- Silva, J. A. M., Pereira-Filho, M., Cavero, B. A. S., Oliveira-Pereira, M. I. 2007. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia de ração suplementada com enzimas exógenas para juvenis de tambaqui (*Colosssoma macropomum* Cuvier, 1818). *Acta Amazôn.* 37, 157-164.

- Sindonio, L., Cavalcanti, I., Capanema, L., Morch, R., Magalhães, G., Lima, J., Burns, V., Alves Júnior, A.J., Mungioli, R. 2012. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. *Agroindústria* 35, 421–463.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Roem, A.J. 2000. Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus and absorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein. *Aquacult. Ntr.* 6, 103-108.
- Sugiura, S.H., Gabaudan, J., Dong, F.M., Hardy, R.W. 2001. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus, trace minerals and protein by rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)] fed soybean meal-based diets. *Aquacult. Res.* 32, 583-592.
- Teixeira, E.D.A., Saliba, E. de O.S., Euler, A.C.C., Faria, P.M.C. DE, Crepaldi, D.V., Ribeiro, L.P. 2010. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. *R. Bras. Zootec.* 39, 1180–1185.
- Tufarelli, V., Khan, R.U., Laudadio, V. 2011. Feeding of wheat middlings in lamb total mixed rations: Effects on growth performance and carcass traits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170, 130–135.
- Veiverberg, C.A., Bergamin, G.T., Radünz Neto, J., Lazzari, R., Corrêia, V., Rossato, S., Sutili, F.J., Ferreira, C.C. 2008. Farelo de soja como substituto à farinha de carne e ossos em dietas para juvenis de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*). *Bol. Inst. Pesca* 34, 463–472.
- Warden, W.K., Schaible, P.J. 1962. Preliminary investigations concerning utilization of phytin phosphorus by the chick. *Poult. Sci.* 41, 1692.
- Weber, F.H., Gutkoski, L.C., Elias, M.C. 2002. Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L.) da cultivar UFP 18. *Ciênc.Tecnol. Aliment.* 22, 39–44.
- Wodzinski, R.J., Ullah, A.H.J. 1996. Phytase. *Adv. Appl. Microbiol.* 42, 263-303.
- Yasmin, A., Zeb, A., Khalil, A.W., Paracha, G.M.D., Khattak, A.B. 2008. Effect of Processing on Anti-nutritional Factors of Red Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris*) Grains. *Food Biop. Tech.* 1, 415–419.
- Zardo, A.O., Lima, G.J.M.M. de. 1999. Alimentos para suínos. *Bol. Inf. Pesq. Embrapa S. A. Ext.*, 8, 61.
- Zavala-Camin, L. A. 1996. Introdução aos estudos sobre alimentação natural em peixes. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, pp. 129.

Objetivos

Objetivo Geral

Avaliação da suplementação da fitase na disponibilidade dos nutrientes da aveia, quirera de arroz e trigoilho para o jundiá (*R. voulezi*).

Objetivos específicos

- Avaliar a composição química dos ingredientes testes;
- Determinar a digestibilidade da proteína bruta, matéria seca e energia da aveia, quirera de arroz e trigoilho pelo jundiá (*R. voulezi*) com e sem suplementação de 1500 kg⁻¹ de fitase na dieta;
- Verificar o efeito da suplementação da fitase na disponibilidade dos minerais da aveia, quirera de arroz e trigoilho para o jundiá (*R. voulezi*).

Capítulo 2. Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá (*Rhamdia voulezi*)

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar a digestibilidade de nutrientes da aveia, quirera de arroz e do trigo pelo jundiá (*Rhamdia voulezi*), com e sem suplementação de fitase. Foram utilizados 288 peixes distribuídos em 24 tanques de 500 L com fundo cônico afunilado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, representado por oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram na elaboração de duas dietas referências (referência com e sem fitase), e seis dietas testes (aveia com e sem fitase, quirera de arroz com e sem fitase e trigo com e sem fitase), em esquema fatorial, obtendo-se quatro dietas sem suplementação da enzima e quatro dietas com suplementação. Nas dietas suplementadas, foi utilizado 1500 FTU Kg⁻¹ de fitase. Foram realizadas análises físico-químicas e de minerais (fósforo, cálcio, magnésio, ferro e cobre) dos ingredientes, dietas e fezes e realizou-se leitura de óxido de cromo das dietas e das fezes. Os coeficientes de digestibilidade observados foram submetidos à análise de variância fatorial ($P > 0,05$). Ao constatar efeito significativo foi realizado o teste de Tukey para comparação de médias. A aveia apresentou os menores coeficientes de digestibilidade para a matéria seca e energia em relação aos demais alimentos suplementados ou não com fitase. A suplementação de fitase aumentou o coeficiente de digestibilidade da matéria seca para a quirera de arroz e da energia tanto para esse alimento como para o trigo. A suplementação enzimática apresentou maior influência na disponibilidade dos minerais para a aveia, entretanto, o trigo apresentou os maiores coeficientes de digestibilidade dos mesmos, tanto em relação aos alimentos sem fitase como aos alimentos suplementados com a enzima. A quantidade de 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta melhora os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes principalmente para a aveia e quirera de arroz. Levando em consideração os alimentos suplementados ou não com 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta, a quirera de arroz e o trigo apresentam valores maiores de aproveitamento de seus nutrientes podendo ser utilizados de forma mais eficiente na alimentação do jundiá (*R. voulezi*).

Palavras-chave: Aveia, quirera de arroz, trigo, enzima.

Digestibility of vegetal energetic ingredients supplemented with phytase for silver catfish (*Rhamdia voulezi*)

Abstract

The aim of the study was to evaluate the digestibility of oat, rice grits, and wheat middling nutrients by silver catfish (*Rhamdia voulezi*), with and without phytase supplementation. We used 288 fish distributed in 24 tanks of 500 L with tapered conical bottom. The experimental design was completely randomized represented by eight treatments and three replications. The treatments consisted of two reference diets (reference with and without phytase) and six test diets (oats with and without phytase, rice grits with and without phytase and wheat middling

with and without phytase), factorial design, obtaining four diets without enzyme supplementation and four diets with supplementation. In the supplemented diets we added 1500 FTU kg⁻¹ of phytase. We performed chemical, physical and mineral (phosphorus, calcium, magnesium, iron and copper) analysis of the ingredients, diets and feces, as well as chromium oxide measurement of the diets and feces. The digestibility coefficients observed were submitted to factorial variance analysis ($P>0,05$). When a significant effect was observed, the Tukey's test was performed for mean comparisons. Oat presented the lowest digestibility coefficients for dry matter and energy compared to the other feeds supplemented or not with phytase. Phytase supplementation increased the digestibility coefficient of dry matter for rice grits, and of energy both for this feed and for wheat middling. As for the use of minerals we verified that wheat middling presented the highest digestibility coefficients related to feed without phytase as much as for feed supplemented with the enzyme. The supplementation of phytase in quantity of 1500 FTU kg⁻¹ in the diet improves the nutrients digestibility coefficients mainly for oat and rice grits. Taking into account the feeds with or without supplementation of 1500 FTU kg⁻¹ in the diet, rice grits and wheat middling presented the highest values of its nutrients use and can be used more efficiently for silver catfish (*R. voulezi*) feeding.

Keywords: Oak, broken rice, wheat middling, enzyme

1. Introdução

O jundiá pertencente ao gênero *Rhamdia* e família Heptapterinae, tem despertado grande interesse tanto de pesquisadores como de produtores, sendo considerada uma espécie potencial para o cultivo em regiões mais frias (Pedron et al., 2008). Isso se deve ao fato dele apresentar características zootécnicas favoráveis para criação em cativeiro e comercialização, como crescimento acelerado inclusive nos períodos de baixas temperaturas, ser de fácil adaptação à criação intensiva, fácil indução à reprodução, além de possuir carne saborosa e de boa aceitabilidade pelo mercado consumidor (Baldisserotto e Radünz Neto, 2005). Entretanto, é necessária a realização de uma série de estudos que permitam o desenvolvimento nas diferentes etapas de seu processo de produção (Freitas et al., 2011).

A nutrição e a alimentação artificial são essenciais para o desenvolvimento da produção de qualquer espécie animal. Atualmente, tem-se buscado a viabilização da utilização de ingredientes de origem vegetal em dietas para peixes, por possuírem custo relativamente inferior, composição e disponibilidade constante (Bergamin et al., 2013). O Farelo de soja, milho e farelo de trigo destacam-se como as fontes vegetais amplamente utilizadas em rações para peixes. Além destes, a quirera de arroz, aveia e trigoilho podem ser consideradas fontes energéticas alternativas nos períodos de entressafra do milho, quando este apresenta custo mais elevado.

Entretanto, a maior parte dos ingredientes de origem vegetal apresenta diversos fatores antinutricionais que reduzem o aproveitamento de seus nutrientes (Francis et al., 2001). O ácido

fítico ou fitato (hexafosfato de mio-inositol) é um fator antinutricional encontrado em sementes de plantas, cereais e farelos de oleaginosas e tem como função principal o armazenamento do fósforo, caracterizando-se num fator limitante na disponibilidade desse mineral dos ingredientes vegetais (Francis et al., 2001). Além disso, apresenta alto poder de quelação, formando complexos com demais minerais (Ca, Zn, Mn, Fe, entre outros), além de proteínas, lipídeos e amido (Gonçalves et al., 2005).

Dessa forma, o fitato influencia negativamente no aproveitamento dos nutrientes presentes em alimentos vegetais, uma vez que os complexos formados não são absorvidos no trato gastrointestinal (Greiner e Konietzny, 2006), pois os peixes não sintetizam nenhum tipo de fitase, responsável por sua hidrólise. Essa enzima provoca a desfosforilação do fitato, diminuindo seu poder de quelação, possibilitando assim a absorção dos nutrientes antes complexados além de disponibilizar o fósforo inorgânico presente nos grupos fosfatos (Selle et al., 2007; Kumar et al., 2012).

O crescente interesse na utilização da fitase em dietas para peixes deve-se principalmente à maior disponibilidade de fósforo proporcionada através de sua suplementação, uma vez que o ácido fítico pode complexar até 90% desse mineral em vegetais (Kumar et al., 2012). O fósforo não absorvido e excretado, resultante tanto do fósforo inorgânico suplementado na dieta e não retido pelo organismo, bem como o complexado com a molécula de fitato gera impacto no meio aquático uma vez que, esse mineral é o fator mais limitante no processo de eutrofização. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar a digestibilidade de nutrientes da aveia, quirera de arroz e do trigoího pelo jundiá (*R. voulezi*), com e sem suplementação de fitase.

2. Material e métodos

2.1 Animais e delineamento experimental

A parte experimental do estudo de digestibilidade foi realizada no Laboratório de Aquicultura do Grupo de Estudos em Manejo na Aquicultura – Gemaq, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste, Campus Toledo. Para tanto, foram utilizados 288 jundiás (*R. voulezi*), com peso e comprimento médio de 236.7 ± 54.02 g e $27.24 \pm 1,79$ cm, distribuídos em 24 tanques de 500 L com fundo cônico afunilado, com sistema de sifão na extremidade inferior para coleta de excretas e providos de aeração constante, por meio de um soprador de ar central.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, representado por oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram na elaboração de uma dieta referência (Tabela 1) e uma dieta teste para cada ingrediente avaliado (aveia, quirera de arroz e trigoilho), com e sem a suplementação de fitase (T1 - referência sem fitase; T2 - referência com fitase; T3 - aveia sem fitase; T4 - aveia com fitase; T5 - quirera de arroz sem fitase; T6 - quirera de arroz com fitase; T7 - trigoilho sem fitase e T8 - trigoilho com fitase). As dietas testes foram fabricadas de modo que continham 70% da ração referência e 30% do ingrediente testado.

2.2 Dietas experimentais

Para a elaboração das rações, os ingredientes foram moídos em um moinho tipo martelo com peneira de 0.5 mm de diâmetro, pesados, misturados manualmente e submetidos ao processo de extrusão (Extrusora Ex-Micro®). Nas dietas suplementadas com fitase, foi adicionado 1500 FTU Kg⁻¹ na ração, na forma de grânulos durante o processo de mistura dos ingredientes. A enzima utilizada (BASF-10000 FTU g⁻¹) foi produzida a partir do fungo *Aspergillus niger* e adicionada às dietas baseado em estudo realizado por Rocha et al. (2007).

Tabela 1

Dieta referência.

Ingredientes (g Kg⁻¹)	Dieta Referência
Farelo de soja	526.53
Milho grão	221.92
Arroz quirera	150.10
Farinha de vísceras de aves	30.00
Óleo de soja	29.15
Farinha de peixe	20.00
Premix-APP	10.00
Cálcário	8.10
Sal comum	3.00
Antifúngico	1.00
Antioxidante	0.20
Total	1000.00
Composição química analisada	
Matéria Seca (%)	92.16
Proteína Bruta (%)	31.92
Energia (Kcal/g)	4.32
Extrato Etéreo (%)	3.73
Matéria Mineral (%)	5.84

2.3 Procedimento experimental

Os animais passaram por um período de adaptação de sete dias, sendo posteriormente iniciado a coleta de fezes. O arraçoamento foi realizado uma vez ao dia (16:30), até a saciedade aparente. As fezes foram coletadas diariamente no início da manhã, sendo acondicionadas em potes plásticos e mantidas sob refrigeração. Após o término da coleta, elas foram desidratadas em estufa de ventilação forçada à 55°C, durante 72 horas, sendo em seguida destinadas a análises laboratoriais de composição química, energia, óxido de crômio e minerais.

2.4 Análises físico-químicas

Foram realizadas análises de composição química dos alimentos testes (Tabela 2), das fezes e das dietas no Laboratório de Controle de Qualidade em Alimentos (LQA) da Unioeste. As análises físico-químicas realizadas foram de proteína bruta, matéria seca, matéria mineral, extrato etéreo e energia (Bomba calorimétrica – IKA Basic, 2000) conforme metodologia descrita pela AOAC (2000). Além disso, as dietas e as fezes foram submetidas à análises de óxido de crômio, por meio de leitura de absorção atômica, conforme metodologia descrita por Bremer Neto et al. (2003).

2.4 Análises de minerais

A leitura de fósforo foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade em Alimentos (LQA) da Unioeste, conforme metodologia descrita pela AOAC (2000). Os demais minerais, cálcio, magnésio, ferro e cobre foram realizadas no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da UNESP, Botucatu-SP. Para determinação da concentração dos minerais contidos nos alimentos, rações e fezes, realizou-se a digestão nitro-perclórica para posterior quantificação. Cálcio, magnésio, ferro e cobre foram determinados por Espectrometria de Absorção em Chama (FAAS) segundo os procedimentos recomendados no manual do equipamento (Cookbook Shimadzy, 2002).

2.5 Coeficiente de digestibilidade aparente

Os resultados obtidos foram utilizados para calcular os coeficientes de digestibilidade das dietas, sendo empregada a seguinte fórmula:

$$CDA (\%) = 100 - \{100 \times [(\% \text{ Indicador}_D / \% \text{ Indicador}_F) \times (N_F / N_D)]\}$$

Sendo CDA (%) o coeficiente de digestibilidade da dieta; % Indicador_D o percentual do indicador presente na dieta; % Indicador_F o percentual do indicador presente nas fezes; N_F a quantidade de nutrientes presente nas fezes e N_D a quantidade de nutrientes presente na dieta.

Em seguida, foram calculados os coeficientes de digestibilidade dos ingredientes testados:

$$CDA_{ing} = (CD_{(rt)} - b \times CD_{(rf)}) / a$$

Sendo CDA_{ing} o coeficiente de digestibilidade do ingrediente; CD_(rt) o coeficiente de digestibilidade da dieta teste; CD_(rf) o coeficientes de digestibilidade da dieta referência; “b” porcentagem da dieta referência e “a” porcentagem do ingrediente teste.

2.6 Qualidade da água

Duas vezes ao dia (07 h 30 min e 17 h 00 min) realizou-se a limpeza dos tanques com renovação de 50% do volume de água para remoção dos metabólitos suspensos. Os valores dos parâmetros de qualidade de água no período experimental foram de 25.98 ± 0.30 °C, 6.55 ± 0.48 mg L⁻¹, 8.45 ± 0.27 e 16.31 ± 1.52 mS cm⁻¹, para temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica, respectivamente, sendo que a temperatura foi mensurada diariamente, antes da limpeza vespertina dos tanques, e os demais parâmetros foram verificados semanalmente.

2.7 Análises estatísticas

Os coeficientes de digestibilidade observados foram submetidos à análise de variância fatorial (P<0,05), com a finalidade de observar as diferenças em função dos alimentos, suplementação da enzima, bem como na interação entre esses dois fatores. Ao constar efeito significativo foi realizado o teste de Tukey para comparação de médias. Para realização das análises foi utilizando o programa *Statística 7.0*.

3. Resultados

3.1 Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente

Com os valores de composição química dos ingredientes avaliados na digestibilidade do jundiá (*R. voulezi*) pode-se observar que a aveia apresentou menor percentual de proteína bruta em sua composição (Tabela 2). Entretanto foi o ingrediente com maior quantidade de matéria mineral, cálcio, magnésio e ferro quando comparado aos demais. A quirera de arroz e o triguilho apresentam valores próximos de proteína bruta, com 12.76 e 15.80, respectivamente. Em relação à energia, foi constatado valores semelhantes para aveia, quirera de arroz e truiguilho, sendo de 3.98, 3.76 e 3.94Kcal g⁻¹, com diferença apenas de 0.22 Kcal g⁻¹ entre si.

Tabela 2
Composição química dos ingredientes testes.

Composição química	Alimentos		
	Aveia	Quirera de arroz	Triguilho
Proteína bruta (%)	7.59	12.76	15.80
Extrato etéreo (%)	5.99	2.64	4.65
Matéria seca (%)	90.02	88.06	89.10
Matéria mineral (%)	6.07	0.39	1.80
Energia (Kcal g ⁻¹)	3.98	3.76	3.94
Cálcio (%)	0.47	0.05	0.24
Fósforo (%)	0.35	0.20	0.38
Magnésio (%)	0.12	0.03	0.09
Ferro (%)	0.05	0.04	0.021
Cobre (%)	0.01	0.002	0.002

Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta e energia apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) em relação aos alimentos, bem como na suplementação da enzima e na interação desses dois fatores (Tabela 3). A aveia apresentou os menores coeficientes de digestibilidade para a matéria seca e energia em relação aos demais alimentos suplementados ou não com fitase. Entretanto, foi o único alimento que proporcionou maior aproveitamento da proteína com a adição da enzima.

Tabela 3

Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia para a aveia, quirera de arroz e trigoilho com e sem suplementação de 1500 FTU Kg⁻¹ de fitase na dieta para o *R. voulezi*.

Variável	Fitase	Alimentos			Probabilidade (p-valor)		
		Aveia	Quirera de arroz	Trigoilho	Fitase	Alimentos	Interação
MS (%)	Sem adição	56.99±3.08 ^{aB}	84.71±1.51 ^{bA}	82.82±1.23 ^{aA}	0.00005	0.00000	0.00110
	Com adição	57.71±1.60 ^{aC}	96.58±1.83 ^{aA}	87.27±1.89 ^{aB}			
PB (%)	Sem adição	83.04±2.63 ^{bB}	84.53±0.36 ^{aB}	93.62±0.36 ^{aA}	0.00030	0.00000	0.00024
	Com adição	90.57±0.67 ^{aB}	84.12±0.77 ^{aC}	95.02±0.62 ^{aA}			
Energia (%)	Sem adição	56.84±3.80 ^{aB}	83.06±0.90 ^{bA}	82.70±82.90 ^{bA}	0.00002	0.00000	0.03951
	Com adição	60.75±1.58 ^{aC}	93.77±1.98 ^{aAB}	88.43±1.63 ^{aB}			
PD	Sem adição	10.60±0.33	6.42±0.03	14.79±14.79			
	Com adição	11.56±0.08	6.38±0.06	15.01±0.10			
ED (Kcal g ⁻¹)	Sem adição	2.72±0.15	3.12±0.03	3.26±0.05			
	Com adição	2.41±0.63	3.53±0.65	3.48±0.67			

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística (P<0,05)

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística (P<0,05)

A suplementação de fitase aumentou o coeficiente (P<0,05) de digestibilidade da matéria seca para a quirera de arroz e da energia tanto para esse alimento como para o trigoilho. Apesar da fitase não ter influenciado no coeficiente de digestibilidade da proteína bruta para os peixes alimentados com trigoilho, pode-se observar que esse alimento proporcionou maior aproveitamento desse nutriente em relação aos demais alimentos suplementados ou não com a enzima (Figura 5).

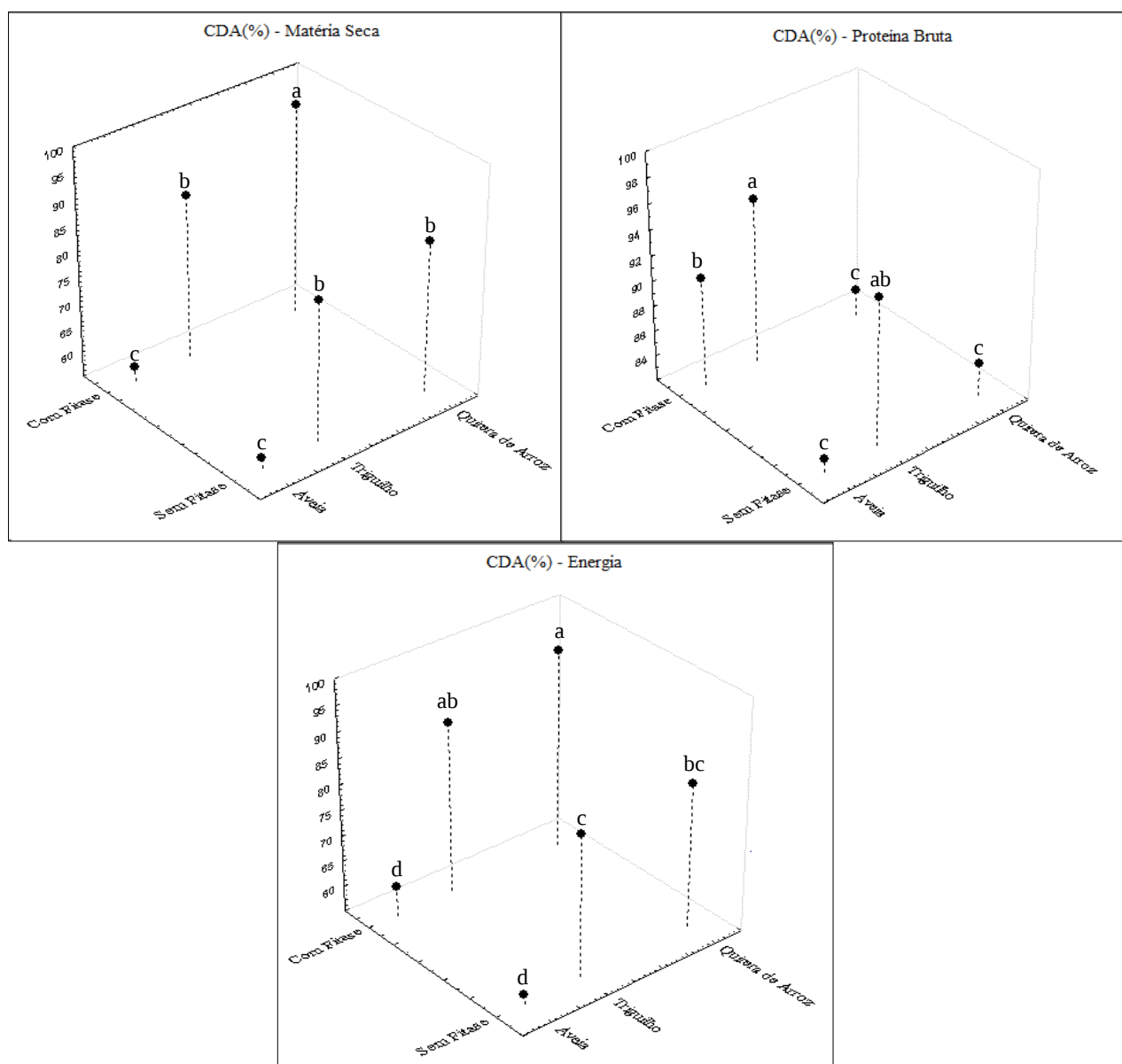


Fig. 5. Coeficientes de digestibilidade dos diferentes alimentos energéticos com e sem suplementação de fitase para o *R. voulezi*.

3.2 Coeficientes de digestibilidade aparente dos minerais

Os coeficientes de digestibilidade do cálcio, fósforo e ferro apresentaram diferença estatística ($P < 0,05$) em relação a suplementação da enzima, aos alimentos e na interação desses fatores. Para o magnésio foi observado somente efeito de interação e para o cobre, efeito em relação à enzima e aos alimentos (Tabela 4).

A suplementação da enzima não influenciou no aproveitamento do magnésio em relação aos alimentos avaliados. Entretanto, melhorou os coeficientes de digestibilidade da aveia para os demais minerais. Para a quirera de arroz, a suplementação só foi positiva para a digestibilidade do cobre e para o trigoilho do cobre e cálcio.

Pode-se verificar que o trigoilho apresentou os maiores coeficientes de digestibilidade, tanto em relação aos alimentos sem fitase como aos alimentos suplementados com a enzima. Em contrapartida, a aveia mesmo com os índices de digestibilidade aumentados com a suplementação da fitase, apresentou menores valores comparados aos demais alimentos, sobressaindo apenas quanto ao aproveitamento do cobre (Figura 6). Apesar da suplementação de fitase ter melhorado apenas o aproveitamento do cobre para a quirera de arroz, os peixes alimentados com esse alimento apresentaram maior aproveitamento dos minerais juntamente com os alimentados com trigoilho.

Tabela 4

Coeficiente de digestibilidade aparente do cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e cobre (Cu) para a aveia, quirera de arroz e trigoilho com e sem suplementação de 1500 FTU Kg⁻¹ de fitase na dieta para o *R. voulezi*.

Variável	Fitase	Alimentos			Probabilidade <i>p</i> -valor		
		Aveia	Quirera de arroz	Trigoilho	Fitase	Alimentos	Interação
Ca(%)	Sem adição	-68.17±14.93 ^{bB}	48.36±14.23 ^{aA}	35.14±5.73 ^{bA}	0.00000	0.00000	0.00015
	Com adição	32.69±16.49 ^{aB}	60.21±11.83 ^{aB}	79.60±6.01 ^{aA}			
Fe(%)	Sem adição	-191.44±54.38 ^{bB}	28.13±12.89 ^{aA}	62.59±2.78 ^{aA}	0.00007	0.00000	0.00672
	Com adição	-33.58±43.57 ^{aB}	83.19±7.63 ^{aA}	95.59±5.22 ^{aA}			
P(%)	Sem adição	63.61±4.00 ^{bC}	82.56±0.14 ^{aB}	87.96±0.67 ^{aA}	0.00023	0.00000	0.00628
	Com adição	77.7±2.48 ^{aB}	84.63±4.76 ^{aB}	92.20±0.96 ^{aA}			
Mg(%)	Sem adição	86.74±6.92	89.59±7.08	95.79±3.98	ns	ns	0.04725
	Com adição	96.56±0.74	94.89±3.99	95.98±1.43			
Cu(%)	Sem adição	30.44±1.56 ^{bA}	9.16±4.52 ^{bB}	35.05±7.13 ^{bA}	0.00000	0.00012	ns
	Com adição	82.61±7.96 ^{aA}	63.33±9.23 ^{aB}	83.06±6.87 ^{aA}			

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$)

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$)

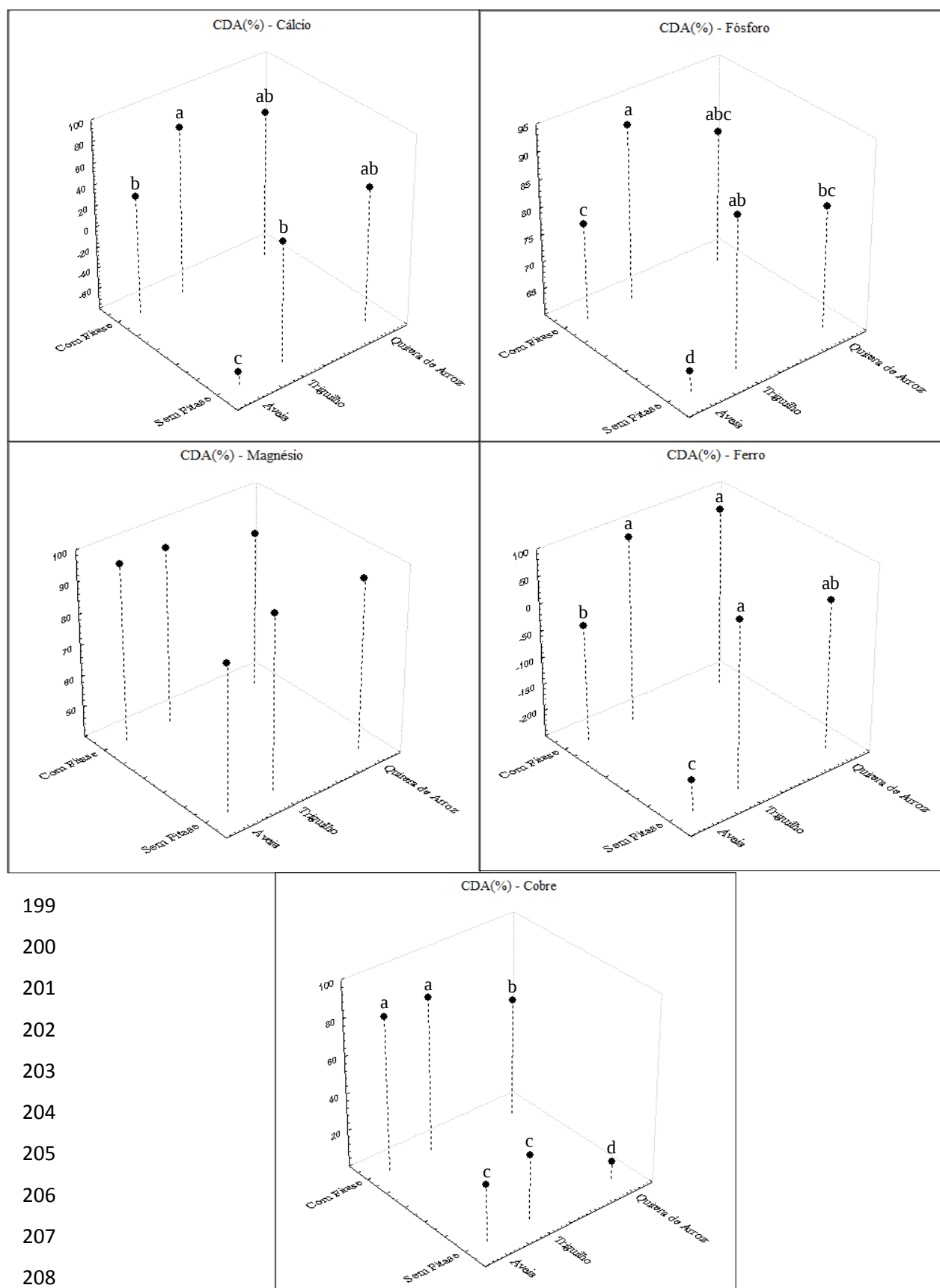


Fig. 6. Coeficientes de digestibilidade dos minerais para os diferentes alimentos energéticos com e sem suplementação de fitase para o *R. voulezi*.

4. Discussão

4.1 Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente

Os valores de proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral observados para os ingredientes testes utilizados no presente experimento diferiram de dados da literatura. Em relação à proteína por exemplo, foram observados valores de 9.60% (Almeida et al., 1999) e 15.10% (Floss et al., 2007), para aveia, 11.42% (Oliveira-Filho e Fracalossi, 2006) e 8.0%(Gonçalves et al., 2009) para quirera de arroz e 13.61% (Rostagno et al., 2011) e 14.72% (Brum et al., 1998) para o trigoilho, contrastando com os percentuais obtidos no presente estudo, os quais foram de 7.59, 12,76 e 15.80% para aveia, quirera de arroz e trigoilho, respectivamente. O trigoilho apresentou valor de extrato etéreo maior diferença em relação aos dados relatados na literatura quando comparado aos demais alimentos testes. No presente estudo, o percentual de extrato etéreo observado foi de 4.65%, enquanto Brum et al. (1998) e Rostagno et al. (2011) informam valores de 1.57 e 2.11%, respectivamente.

Os dados de matéria e seca e energia da aveia, quirera de arroz e trigoilho corroboram com os valores observados por demais autores (Brum et al., 1998; Almeida et al., 1999; Gonçalves et al., 2009; Rostagno et al., 2011). Em relação aos minerais, podem-se destacar os valores de fósforo, os quais foram semelhantes aos da literatura, sendo descritos percentuais de 0.34% para aveia (Floss et al., 2007), 0.21% para a quirera de arroz (Gonçalves et al., 2004) e de 0.31% para o trigoilho (Brum et al., 1998). A disparidade em relação aos valores de composição química entre os ingredientes vegetais utilizados nas dietas de animais pode ser explicada pela influência de fatores ambientais durante o cultivo desses vegetais, etapas de seu beneficiamento, bem como no processamento das rações. Levando em consideração os valores de composição química e principalmente energia pode-se afirmar que os ingredientes testados apresentam potencial para serem utilizados como alimentos energéticos na dieta de peixes.

O fato do trigoilho ter apresentado melhores valores de digestibilidade, principalmente em relação à aveia, nos tratamentos sem suplementação de fitase, pode ser explicado pelo teor de amido dos mesmos e a capacidade de seu aproveitamento pelos peixes. Nesse contexto, destaca-se que a aveia apresenta um teor de carboidratos que pode variar de 75-80% do seu peso seco, sendo o amido o componente principal (Monteiro, 2005) e, a quirera de arroz apresenta 76,35% de amido (Limberger et al., 2008). Não foram encontradas informações sobre a quantidade de amido do trigoilho, entretanto, tomando como base que esse alimento é

constituído por grãos de trigos menores e, assim considerando o teor de amido desse cereal, observa-se um valor de 54.93%, quantidade inferior em relação aos demais ingredientes utilizados no estudo.

Pedrotti et al. (2015) afirmam que os peixes de hábito alimentar herbívoro ou onívoro apresentam capacidade de aproveitar níveis mais elevados de carboidratos, quando comparados à peixes carnívoros, devido principalmente às adaptações do trato gastrointestinal que permitem maior eficiência na hidrólise de carboidratos presente nos alimentos. Nesse sentido, destaca-se que apesar do jundiá ser considerado um peixe onívoro, apresenta tendência à carnivoria, pois mesmo que ele ingira naturalmente uma variedade de itens alimentares, apresenta morfologia gastrointestinal semelhante aos peixes carnívoros, fazendo com que ele tenha menor capacidade de digerir fontes de amido quando comparado às outras espécies onívoras, como a tilápia do Nilo (Rodrigues et al., 2012).

Além da quantidade de amido em sua composição, o fato dos peixes alimentados com trigo terem apresentado maior aproveitamento de nutrientes e a adição da enzima somente ter influenciado no coeficiente de digestibilidade da energia desse alimento pode ser explicado pela presença de atividade de fitase em ingredientes vegetais. Os subprodutos do trigo, incluindo o trigo, possuem elevada atividade de fitase endógena, sendo maior do que a aveia, quirera de arroz e demais ingredientes de origem vegetal utilizados na alimentação animal, como milho, sorgo, farelo de soja, entre outros (Selle et al., 2003; Godoy et al., 2005; Steiner et al., 2007).

Os maiores valores de coeficiente de digestibilidade da energia observados tanto para a quirera de arroz como para o trigo, ambos suplementados com fitase, demonstram o efeito da enzima em relação ao poder de quebra da molécula do ácido fítico sobre o amido (Kumar et al., 2012). A hidrólise do ácido fítico permite que o amido complexado presente nos vegetais seja absorvido pelos peixes na forma de monossacarídeos e utilizados no metabolismo como fonte de energia.

Além disso, pode-se observar que o coeficiente de digestibilidade da energia tanto da quirera de arroz como do trigo, suplementados ou não com fitase, é maior do que médias encontradas na literatura para diferentes fontes energéticas para o jundiá, demonstrando a possibilidade de utilização desses ingredientes como fontes energéticas na dieta desses animais. Rodrigues et al. (2012) observaram coeficiente de digestibilidade da energia de 48.1; 55.3; e 35.9% para a quirera de arroz, milho moído e farelo de trigo, respectivamente. Oliveira Filho e Fracalossi (2006) encontraram valores de 72.7 e 74.4% avaliando o coeficiente de digestibilidade do milho e a quirera de arroz, respectivamente. Teixeira et al. (2010) ao avaliar

o aproveitamento de nutrientes de diferentes alimentos para o surubim verificaram valores de 66.41; 46.92 e 47.76% para digestibilidade da energia do farelo de arroz, quirera de arroz e sorgo, respectivamente.

Em relação à fitase, estudos demonstram sua eficiência quanto ao aproveitamento de nutrientes para diferentes espécies de peixes. Zhu et al. (2014) observaram que essa enzima melhorou a digestibilidade da proteína, matéria seca e fósforo para juvenis de catfish amarelo (*Pelteobagrus fulvidaco*) em dietas suplementadas com 1000 FTU Kg⁻¹. Da mesma forma, Debnath et al. (2005) observaram resultados positivos quanto à digestibilidade da matéria seca e proteína para o *Pangasius pangasius*, com melhores resultados para as dietas suplementadas de 500 a 2000 FTU. Furuya et al. (2001) observaram resultados positivos na digestibilidade da proteína, fósforo e cálcio com a suplementação de fitase para a tilápia do Nilo, assim como Bock et al. (2006), os quais observaram que a suplementação de 1500 FTU na dieta, afetou positivamente os valores de digestibilidade da matéria seca, proteína e energia para essa espécie.

4.2 Coeficientes de digestibilidade aparente dos minerais

Vielma et al. (1998) afirmam que a adição de fitase aumenta a concentração de minerais como magnésio, fósforo, cálcio e zinco no plasma, ossos e no corpo dos peixes. Nesse sentido, Yan e Reigh (2002) observaram que o bagre do canal alimentado com dietas suplementadas com fitase apresentou maior concentração de carbonado de sódio, cálcio, fósforo e manganês em seus ossos do que os peixes alimentados com uma dieta controle.

A fitase proporcionou maior aproveitamento do cálcio para os peixes alimentos com aveia e trigoilhado suplementados com a mesma. O fato da enzima não ter influenciado na absorção do cálcio presente na quirera de arroz pode estar relacionado com a quantidade desse mineral no alimento (0.05%), quando comparado aos demais ingredientes, 0.47 e 0.24% para a aveia e trigoilhado, respectivamente. Entretanto, ao levar em consideração os coeficientes de digestibilidade em relação aos alimentos, pode-se observar que a quirera de arroz apresenta valores mais elevados, juntamente com o trigoilhado com fitase ($P < 0,05$). Quanto ao aproveitamento desse mineral, Furuya et al. (2001) observaram um aumento linear na digestibilidade de cálcio pela tilápia do Nilo, sendo constatado valor de 34.2% nos animais alimentos com a dieta sem fitase e 55.17% nos peixes alimentos com dieta contendo 3000 FTU.

A aveia foi o único alimento que apresentou alteração significativa com a suplementação da fitase em relação ao aproveitamento do ferro, entretanto, assim como ocorreu

com o cálcio e fósforo, os demais alimentos apresentaram valores de digestibilidade superior ao da aveia. Os valores negativos observados para os coeficientes de digestibilidade do cálcio e ferro podem ser explicados pelo fato dos peixes absorverem os minerais presentes na água através das brânquias e pela superfície do corpo, diferentemente de animais terrestres em que as exigências minerais devem ser supridas pela dieta (Bock et al., 2007). Além disso, conforme constatado por Miranda et al. (2000) o cálcio é um mineral absorvido em grande quantidade através da água.

O efeito observado através da adição da fitase sobre os coeficientes de digestibilidade do cálcio e principalmente do ferro, com valores negativos menores, para a aveia também foi constatado por Gonçalves et al. (2005). Esses autores avaliaram a digestibilidade de diferentes alimentos suplementados com fitase para a tilápia do Nilo e observaram que a adição da enzima aumentou o coeficiente de digestibilidade do zinco para o sorgo baixo tanino, farelo de arroz, farelo de soja extrusado e glúten de milho, os quais sem a suplementação de fitase apresentavam-se negativos.

No presente estudo, somente a aveia apresentou maior disponibilização de fósforo através da suplementação da fitase. A aveia, quirera de arroz e o trigoilhão apresentam em torno de 84.6%; 88.0% e 67.0% de seu fósforo total complexado com a molécula de ácido fítico (Rostagno et al., 2011; Kumar et al., 2012), diminuindo então seu aproveitamento pelos peixes. Entretanto, ressalta-se que apesar da absorção de fósforo pelos peixes alimentados com quirera de arroz e trigoilhão não ter sido influenciada pela adição da fitase, foi observado valores acima de 82% no coeficiente de digestibilidade desse mineral para ambos alimentos, sendo maior do que para outros ingredientes observados na literatura. Nesse sentido, Gonçalves et al. (2007) constataram um percentual de 37.19; 51.20; 71.70 e 63.26% no aproveitamento do fósforo pela tilápia do Nilo alimentada com milho, farelo de trigo, sorgo baixo tanino e farelo de arroz, respectivamente.

A capacidade dessa enzima em aumentar o aproveitamento do fósforo tem sido demonstrada em diversos trabalhos para diferentes espécies de peixes, como observado por Vandenberg et al. (2012) para a truta arco-íris em dietas suplementadas com 4000 FTU e Hughes e Soares Jr (1998) para o *Morone saxatilis* alimentados com dietas contendo suplementação de 600, 1200 e 2400 FTU Kg⁻¹ na dieta, bem como para a tilápia do Nilo (Furuya et al., 2001; Bock et al., 2006; Furuya et al., 2006). Bock et al. (2007) enfatizam que a utilização da fitase na produção de peixes pode reduzir os níveis de inclusão de fósforo inorgânico nas rações, minimizando os impactos provocados por esse mineral no cultivo, através da redução

na sua liberação ao ambiente e permitindo assim, a otimização do sistema de produção quanto à sua capacidade de suporte.

Os peixes alimentados com os diferentes alimentos, com e sem suplementação de fitase apresentaram médias de absorção de magnésio iguais estatisticamente. Esse resultado corrobora com Bock et al. (2006), os quais não observaram diferença significativa para o aproveitamento do magnésio pela tilápia do Nilo alimentada com dieta contendo fosfato sem fitase e as demais dietas testes contendo diferentes níveis de fitase. Além do mais, esses autores observaram valores de digestibilidade desse mineral acima de 88%, assim como no presente estudo.

Em relação ao cobre, pode-se observar que a suplementação de fitase melhorou o coeficiente de digestibilidade do mesmo para todos os ingredientes testados, sendo que a aveia e trigo apresentaram os maiores valores. Estudos demonstram que os grupos fosfato da molécula do ácido fítico possuem diferente afinidade de quelação com os minerais, exercendo forte atração principalmente com Cu e Zn. Isso explica o efeito da fitase sobre a absorção do cobre em relação aos diferentes ingredientes testados. Vohra et al. (1965) observaram o poder de quelação do ácido fítico em relação aos diferentes minerais, e verificaram maior poder de quelação para $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, nesta ordem.

A diferença encontrada em relação à suplementação de fitase e os diferentes alimentos testados ainda pode ser explicada porque os efeitos da enzima na digestibilidade dependem de uma variedade de fatores como as concentrações de ácido fítico nos diferentes alimentos, digestibilidade desses alimentos (Selle et al., 2000), os métodos de adição de fitase na dieta bem como seu processamento, do pH do trato gastrointestinal e das diferentes espécies (Sajjadi e Carter, 2004; Nwanna e Schwarz, 2007).

A ação da enzima fitase é diretamente influenciada pelo valor de pH, o qual apresenta variações nas diferentes seções do trato gastrointestinal dos peixes (Morales et al., 2011; 2013). Nesse sentido, Greiner et al. (2009) observaram dois picos de máxima atividade de fitase (obtida através do *A. niger*) nos valores de pH de 2.8 e 5.0, sendo este o melhor, onde a atividade observada foi 1.5 vezes maior do que em pH 1.8. Os mesmos autores verificaram a inativação dessa enzima em pH em torno de 7.0. Levando em consideração o pH do trato gastrointestinal do catfish, com valores de 2.0 a 4.0 no estômago e de 7.0 a 9.0 no intestino (Robinson et al., 2001), pode-se considerar que o jundiá (*R. voulei*) não apresenta entraves fisiológicos para a utilização da enzima fitase, uma vez que sua ação ocorre no estômago desses animais, conforme constatado por Yan e Reigh (2002) e Morales et al. (2013).

5. Conclusão

Conclui-se que a suplementação de fitase na quantidade de 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta melhora os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes principalmente para a aveia e quirera de arroz, enquanto que para o trigoilho, a suplementação da enzima melhora somente o aproveitamento de energia. Levando em consideração os alimentos suplementados ou não com 1500 FTU Kg⁻¹ na dieta, a quirera de arroz e o trigoilho apresentam valores maiores de aproveitamento de seus nutrientes podendo ser utilizados de forma mais eficiente na alimentação do jundiá (*R. voulezi*).

A eficiência da fitase difere em relação aos alimentos, sendo que sua suplementação deve ser realizada levando em consideração os ingredientes presente na dieta, não sendo necessária quando pretende-se obter maior aproveitamento dos nutrientes do trigoilho pelo jundiá (*R. voulezi*).

Agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia da Pesca da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, pela oportunidade de realização do mestrado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa, ao Grupo de Estudos em Manejo na Aquicultura (Gemaq) pela disponibilidade dos laboratórios para o desenvolvimento da pesquisa, aos integrantes do projeto intitulado Avaliação de alimentos vegetais suplementados com fitase para o jundiá *Rhamdia voulezi* pelo apoio durante a realização do estudo.

Referências

- Almeida, M.I.V. de, Ferreira, W.M., Almeida, F.Q. de, Gonçalves, L.C., Rezende, A., Souza C. 1999. Composição Química e Predição do Valor Nutritivo de Dietas para Equinos. R. Bras. Zootec. 28, 1268–1278.
- Association of Official Analytical Chemists - AOAC, 2000. Official Methods of Analysis, 16th edition. AOAC, Washington, DC, USA.
- Baldisserotto, B., Radünz-Neto, J., 2005. Jundiá (*Rhamdia quelen*), in: Baldisserotto, B., Gomes, L.C. (Eds.), Espécies Nativas Para Piscicultura No Brasil. Editora da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, pp. 303–319.

- Bergamin, G.T., Veiverberg, C.A., Silva, L.P. da., Pretto, A., Siqueira, L.V., Radünz Neto, J. 2013. Extração de antinutrientes e aumento da qualidade nutricional dos farelos de girassol, canola e soja para alimentação de peixes. *Cienc. Rural*, 43, 1878–1884.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2006. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-nilo. *R. Bras. Zootec.* 35, 2197–2202.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2007. Fitase em rações para tilápia-do-nilo na fase de crescimento. *R. Bras. Zootec.* 36, 1455–1461.
- Bremer Neto, H., Graner, C A.F.G., Pezzato, L.E., Padovani, C.R., Cantelmo, O.A. 2003. Diminuição do teor de óxido de cromo (III) usado como marcador externo. *R. Bras. Zootec.* 32, 249–255.
- Brum, P.A.R. de., Albino, L.F.T., Pieniz, L.C. 1998. Utilização do trigoilhado em rações para frango de corte. *Bol. Téc. Embrapa*, 1, 1-3.
- Debnath, D., Pal, A.K., Sahu, N.P., Jain, K.K., Yengkokpam, S., Mukherjee, S.C. 2005. Effect of dietary microbial phytase supplementation on growth and nutrient digestibility of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings. *Aquac. Res.* 36, 180–187.
- Floss, E.L., Palhano, A.L., Soares Filho, C.V., Premazzi, L.M. 2007. Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia branca. *Acta Sci., Anim. Sci.* 29, 1–7.
- Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199, 197–227.
- Freitas, J.M.A. de., Sary, C., Luchesi, J.D., Feiden, A., Boscolo, W.R. 2011. Proteína e energia na dieta de jundiás criados em tanques-rede. *R. Bras. Zootec.* 40, 2628–2633.
- Furuya, W.M., Gonçalves, G.S., Furuya, V.R.B., Hayashi, C. 2001. Fitase na Alimentação da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Desempenho e Digestibilidade. R. Bras. Zootec.* 30, 924–929.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Silva, L.C.R. da, Santos, V.G. dos., Silva, T.S.C., Santo, L.D. dos., Furuya, V.R.B. 2006. Fitase em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Arch. Zootec.* 55, 161–170.
- Godoy, S., Chicco, C., Meschy, F., Requena, F. 2005. Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed ingredients. *Interciência* 30, 24–28.
- Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Kleeman, G.K., Rocha, D.F. 2005. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg , Ca , Zn , Cu , Mn e Fe em alimentos vegetais para a Tilápia-do-Nilo. *R. Bras. Zootec.* 34, 2155–2163.
- Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Rocha, D.F., Kleeman, G.K., Santa-Rosa, M.J. 2009. Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do Nilo. *Bol. Inst. Pesca* 35, 201-213.

- Greiner, R., Konietzny, U. 2006. Phytase for Food Application. Food Technol. Biotech. 44, 125–140.
- Greiner, R., Silva, L. G., Couri, S. 2007. Purification and characterisation of an extracellular phytase from *Aspergillus niger* 11T53A9. Braz. J. Microbiol. 40, 795-807.
- Hughes, K.P., Soares Jr, J.H. 1998. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis*. Aquacult. Nutr. 4, 133–140.
- Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Boeck, G. de, Becker, K. 2012. Phytate and phytase in fish nutrition. J. Anim. Physiol. An. N. 96, 335–64.
- Limberger, V.M., Silva, L.P. da, Emanuelli, T., Comarela, C.G., Patias, L.D. 2008. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. Quím. Nova 31, 84–88.
- Miranda, E.C., Pezzato, A.C., Pezzato, L.E., Graner, C.F., Rosa, G.J., Quintero-Pinto, L.G. 2000. Relação cálcio/fósforo disponível em rações para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras. Zootec. 29, 2162-2171.
- Monteiro, F. 2005. Diferentes proporções de fibra insolúvel e solúvel de grãos de aveia sobre a resposta biológica de ratos. Universidade Federal de Santa Maria.
- Morales, G.A., Moyano, F.J., Marquez, L. 2011. In vitro assessment of the effects of phytate and phytase on nitrogen and phosphorus bioaccessibility within fish digestive tract. Anim. Feed Sci. Tech. 170, 209–221.
- Morales, G.A., Rodrigañez, M.S. de, Márquez, L., Díaz, M., Moyano, F.J. 2013. Solubilisation of protein fractions induced by *Escherichia coli* phytase and its effects on in vitro fish digestion of plant proteins. Anim. Feed Sci. Tech. 181, 54–64.
- Nwanna, L.C., Schwarz, F.J. 2007. Effect of supplemental phytase on growth, phosphorus digestibility and bone mineralization of common carp (*Cyprinus carpio* L). Aquac. Res. 38, 1037–1044.
- Oliveira Filho, P.R.C., Fracalossi, D.M. 2006. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. R. Bras. Zootec. 35, 1581–1587.
- Pedron, F.A., Radünz Neto, J., Emanuelli, T., Da Silva, L.P., Lazzari, R., Corrêia, V., Bergamin, G.T., Veiverberg, C.A. 2008. Cultivo de jundiás alimentados com casca de soja ou de algodão. Pesq. Agropec. Bras. 43, 93-98.
- Pedrotti, F.S., Davies, S., Merrifield, D.L., Marques, M.R.F., Fraga, A.P.M., Mouriño, J.L.P., Fracalossi, D.M. 2015. The autochthonous microbiota of the freshwater omnivores jundiá *Rhamdia quelen* and tilápia *Oreochromis niloticus* and the effect of dietary carbohydrates. Aquac. Res. 46, 472-481.
- Robinson, E.H., Li, M.H., Manning, B.B. 2001. A practical guide to nutrition, feed and feeding of catfish. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletin nº 1113, Mississippi, pp. 39.

- Rocha, C.B., Pouey, J.L.O.F., Enke, D.B.S., Xavier, E.G., Almeida, D.B. 2007. Suplementação de fitase microbiana na dieta de alevinos de jundiá: efeito sobre o desempenho produtivo e as características de carcaça. *Ciênc. Rural* 37, 1772-1778.
- Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Carginin-Ferreira, E., Francisco, A. de., Fracalossi, D.M. 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Nutr.* 18, 65-72.
- Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; de Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R., 2011. Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais, 3rd ed. Universidade Federal de Viçosa.
- Sajjadi, M., Carter, C. G. 2004. Effect of phytic acid and phytase on feed intake , growth , digestibility and trypsin activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.). *Aquacult. Nutr.* 10, 135–142.
- Selle, P.H., Ravidran, V., Caldwell, A, Bryden, W.L. 2000. Phytate and phytase: consequences for protein utilisation. *Nutr. Res. Ver.* 13, 255–78, 2000.
- Selle, P.H., Walker, A.R., Bryden, W.L. 2003. Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. *Aust. J. Exp. Agr.* 43, 475-479.
- Selle, P.H., Gill, R.J., Scott, T.A. 2007. Effects of pre-pelleted wheat and phytase supplementation on broiler performance and nutrient utilization, in: *Australian Poultry Science Symposium*, 19th, Sydney, pp.182-185.
- Steiner, T., Mosenthin, R., Zimmermann B. B., Greiner, R., Roth, S. 2007. Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar. *Anim. Feed Sci. Tech.* 133, 320-324.
- Teixeira, E.D.A., Saliba, E. de O.S., Euler, A.C.C., Faria, P.M.C. DE, Crepaldi, D.V., Ribeiro, L.P. 2010. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. *R. Bras. Zootec.* 39, 1180–1185.
- Vandenberg, G.W., Scott, S.L., De La Noüe, J. 2012. Factors affecting nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant protein-based diet supplemented with microbial phytase. *Aquacult. Nutr.* 18, 369–379.
- Vielma, J., Lall, S.P., Koskela, J., Schöner, F.J., Mattila, P. 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 163, 309–323.
- Vohra, P., Gray, A., Kratzer, F. H. 1965. Phytic acid-metal complexes. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 120, 449.

- 568 Yan, W., Reigh, R. C. 2002. Effects of fungal phytase on utilization of dietary protein and
569 minerals, and dephosphorylation of phytic acid in the alimentary tract of channel catfish
570 *Ictalurus punctatus* fed and all-plant-protein diet. J. World Aquacult. Soc. 33, 10–22.
571
- 572 Zhu, Y., Qiu, X., Ding, Q., Duan, M., Wang, C. 2014. Combined effects of dietary phytase and
573 organic acid on growth and phosphorus utilization of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus*
574 *fulvidraco*. Aquaculture 430, 1–8.