



ARTIGO 311

IMPORTÂNCIA DA ENZIMA FITASE NA NUTRIÇÃO ANIMAL

Nutritional importance of enzyme phytase in animal nutrition

Valdir Ribeiro Junior^{1*}, Cleverson Luiz Nascimento Ribeiro¹, Rodrigo Knop Gazzi Messias¹, Tatiana Cristina Rocha¹

RESUMO: As fitases são um grupo de enzimas amplamente utilizadas na nutrição animal. Essas enzimas possuem a capacidade de disponibilizar o fósforo, assim como outros nutrientes complexados nas moléculas de ácido fítico, um fator antinutricional amplamente encontrado nos alimentos de origem vegetal. Dessa forma, a utilização dessas enzimas em dietas para animais permitem aos nutricionistas reduzir a inclusão de fontes inorgânicas de fósforo, assim como melhorar a digestibilidade e absorção de outros nutrientes como, por exemplo, os carboidratos, os aminoácidos, peptídeos e alguns microminerais. Portanto, devido a grande importância que essas enzimas possuem para a nutrição animal, essa revisão foi desenvolvida para discutir os principais tipos, mecanismos de ação e resultados de pesquisa que avaliaram a suplementação de fitases em dietas de animais monogástricos.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrição, fitases, ácido fítico, fósforo

ABSTRACT: Phytases are a group of enzymes widely used in animal nutrition. These enzymes are capable of providing phosphorus and another fixed nutrients in molecules called phytic acid, an anti-nutritional factor found in plant-origin foods. Also, the use of these enzymes in animal diets allows reduce inclusion of inorganic phosphorus sources, as well as improve the digestibility and uptake of other nutrients such as carbohydrates, amino acids, peptides and some trace elements. Thus, this revision is designed to discuss the main types, mechanisms of action and results presented in the last years in researches which evaluated the phytases supplementation in diets for monogastric animals.

KEYWORDS: Nutrition, phytase, phytic acid, phosphorus

*E-mail para contato: valribjunior@yahoo.com.br

¹Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.



INTRODUÇÃO

As enzimas denominadas como fitases constituem um grupo diverso de enzimas que compreendem uma variedade de tamanhos, estruturas e mecanismos catalíticos. Com base no mecanismo catalítico, as fitases podem ser referidas na literatura como fitases ácido histidina (HAPhy), β -hélice fitases (BPPhy), fitases de cisteína (CPhy) ou fitases ácido “purple” (PAPhy) (Mullaney e Ullah, 2003). Dependendo do pH ótimo de atividade, as fitases foram divididos ainda em ácidas e alcalinas e também, baseando-se no carbono no anel de mio-inositol de fitato em que a desfosforilação é iniciada, em 3-fitases (EC 3.1.3.8), 6-fitases (CE3.1.3.26) ou 5-fitases (E.C. 3.1.3.72) (Bedford and Partridge, 2010).

Essas enzimas são produzidas por uma grande variedade de espécies de bactérias, fungos e leveduras e são capazes de eliminar as propriedades antinutricionais do fitato (Ferreira and Lopes, 2012). O fitato é a principal forma de armazenamento de fósforo (P) em sementes e grãos comumente presentes nas rações para aves e suínos sendo considerado um dos principais fatores antinutricionais nos alimentos de origem vegetal para monogástricos, possuindo em sua estrutura grupos ortofosfatos altamente ionizáveis, os quais afetam a disponibilidade de cátions como o cálcio (Ca), zinco (Zn), cobre (Cu), magnésio (Mg) e ferro (Fe) no trato gastrointestinal, o que resulta na formação de complexos insolúveis (Sohail and Roland, 1999). Esse fato ocorre porque o intestino delgado dos animais monogástricos possuem uma capacidade muito limitada de hidrolisar o fitato (Iqbal et al., 1994), devido à falta de atividade significativa da fitase endógena e de baixa da população microbiana, na parte superior do trato digestivo (Ferreira and Lopes, 2012). Este fato também explica porque o P fítico é pouco disponível para animais monogástricos (Walz e Pallauf, 2002).

O P é absorvido na forma de ortofosfato e, assim, a utilização de P do fitato por monogástricos dependerá em grande parte de sua capacidade de hidrolisá-

lo. Vários estudos com animais têm mostrado a grande eficácia que a suplementação de fitase possui para melhorar a utilização do P proveniente do fitato (Augspurger et al, 2003).

Portanto, incluindo quantidades adequadas de fitase na dieta de monogástricos, será possível reduzir a necessidade de suplementação de P inorgânico e conseqüentemente, reduzir a excreção de P promovendo benefícios ponto de vista social e ambiental (Bedford and Partridge, 2010).

Assim, nos últimos anos, a suplementação dietética da fitase tem demonstrado ser uma eficaz ferramenta para a indústria de produção animal por reduzir a excreção de P dos resíduos (fezes e excretas), possibilitando o atendimento das normas ambientais.

Além disso, pode-se citar que a suplementação com fitase permite melhorar a disponibilidade de aminoácidos devido à interação do fitato com a proteína diminuir a atividade enzimática, solubilidade da proteína e digestibilidade proteolítica (Bedford and Partridge, 2010). Portanto, essa revisão tem por objetivo apresentar e discutir os principais benefícios e interferências que a inclusão dietética da fitase provoca sobre a disponibilidade dos nutrientes presentes nas dietas dos animais monogástricos.

CARACTERÍSTICAS DE DEGRADAÇÃO DAS FITASES

A capacidade de uma fitase para hidrolisar o fitato no trato digestivo é determinada principalmente pelas suas propriedades enzimáticas. O pH no papo de aves gira em torno de 4,0 a 5,0 enquanto que no proventrículo e moela encontrasse em torno de 2,0 a 5,0 (Simon e Igbasan, 2002). Por outro lado, o intestino delgado das aves apresenta ambiente de pH próximo à neutralidade, por volta de 6,5-7,5. Assim, o pH ótimo para as fitases geralmente determinam a sua capacidade de desenvolver a atividade catalítica nos compartimentos gastrintestinais acima mencionados. Além disso, dois tipos



principais de fitases foram identificados: fitases ácidas com capacidade máxima de desfosforilação do fitato máximo em pH em

torno de 5,0 e fitases alcalinas com um pH ótimo de cerca 8,0 (Konietzny and Greiner, 2002).

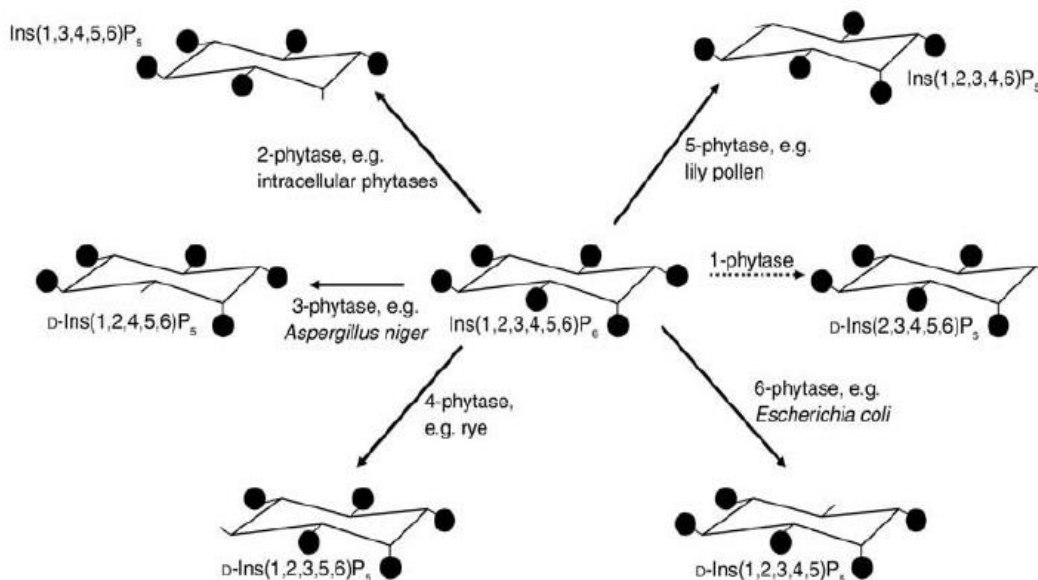


FIGURA 1. Classificação das fitases baseando-se no carbono no anel de mio-inositol do fitato em que é iniciada a desfosforilação (●, resíduo de fosfato) (adaptado de Greiner and Konietzny, 2010).

TABELA 2. Características físico-químicas de algumas fitases (adaptado de Greiner and Konietzny, 2010).

Fonte da fitase	Condições ótimas		Atividade específica 37°C (U mg ⁻¹)	Classificação	Referências
	pH	T (°C)			
<i>Aspergillus niger</i>	5.0–5.5	55–58	50–133	3-phytase	Ullah and Gibson (1987); Wyss et al. (1999a); Greiner et al. (2009)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	4.5	45	135	3-phytase	Nayini and Markakis (1984); Greiner et al. (2001a)
<i>Escherichia coli</i>	4.5	55–60	750–811	6-phytase	Greiner et al. (1993, 2000a); Golovan et al. (2000)
<i>Citrobacter braakii</i>	4.0	50	3457	---	Kim et al. (2003)
<i>Bacillus subtilis</i>	6.5–7.5	55–60	9–15	3-phytase	Kerovuo et al. (1998); Greiner et al. (2007)
<i>S. ruminantium subsp. lactilytica</i>	4.5	55	16	5-phytase	Puhl et al. (2008b)



FITASE E O METABOLISMO DE P

Um dos benefícios mais conhecidos das fitases é sua capacidade de liberar o P fítico presente nos alimentos de origem vegetal, melhorando sua digestibilidade e diminuindo a necessidade de inclusão de fontes inorgânicas de P nas rações para atender as exigências nutricionais dos animais. A redução das fontes inorgânicas nas dietas, além de representar uma questão financeira, também evoca uma questão socioambiental devido à necessidade de reduzir a excreção de P no meio ambiente. Isso ocorre porque concentrações excessivas de P são a causa mais comum de eutrofização de rios, lagos e reservatórios (Correll, 1999), conseqüentemente, qualquer redução no P excretado pelos animais significaria um benefício para o meio ambiente e para a produção sustentável (Selle and Ravindran, 2007).

É possível encontrar na literatura diversos trabalhos que comprovam a ideia de melhora no aproveitamento do P fítico pelos animais quando suplementados dieteticamente com enzimas fitases. Esses

trabalhos geralmente relatam melhora na digestibilidade do P com a adição de fitases na dieta (Fukayama et al., 2008; Tejedor et al., 2001; Lelis et al., 2010) e sobre a retenção de P na matriz óssea dos animais (dos Santos et al., 2011a; dos Santos et al., 2011b; Rutherford et al., 2012), além de redução na excreção de P nas excretas das aves (Lelis et al., 2010; Junqueira et al., 2010; Ligeiro et al., 2009). Esses trabalhos sugerem a possibilidade de redução do teor de P disponível da dieta prevendo aumento na liberação do P fítico a partir da suplementação com as fitases, como isso, seria possível diminuir significativamente a utilização de fontes inorgânicas de P para atendimento das exigências nutricionais de P disponível das aves.

Entretanto, outros benefícios com a inclusão das fitases nas dietas como a liberação de outros nutrientes também são relatados como, por exemplo, aminoácidos, proteínas, carboidratos, Ca^{2+} e micro minerais eventualmente complexados nas moléculas de ortofosfato ligadas ao mio-inositol (Figura 2).

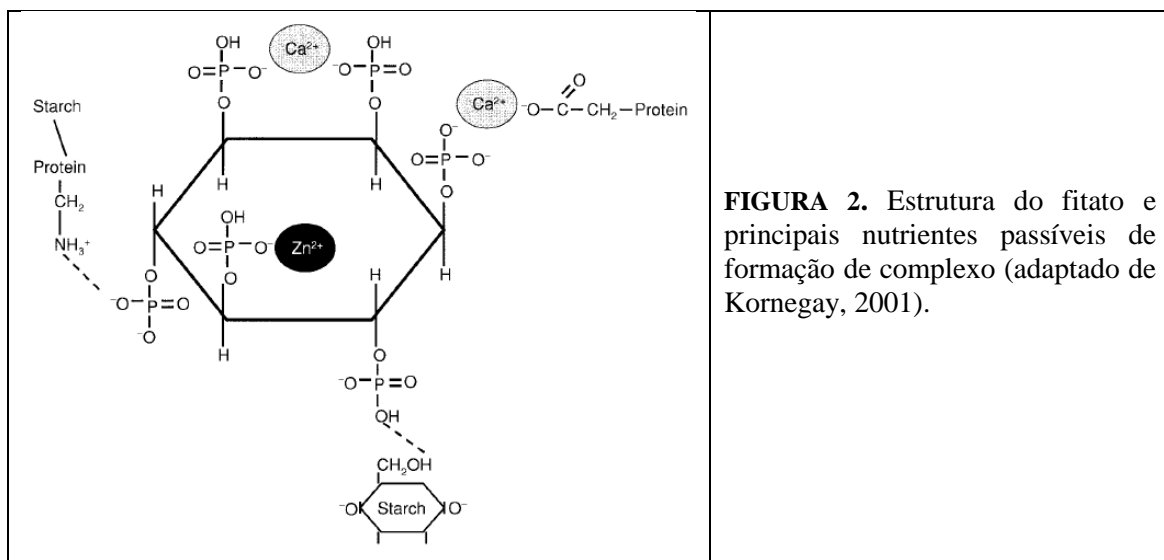


FIGURA 2. Estrutura do fitato e principais nutrientes passíveis de formação de complexo (adaptado de Kornegay, 2001).

FITASE E METABOLISMO DE PROTEÍNA/ AMINOÁCIDOS

Na literatura é sugerido que a formação do complexo fitato-proteína no trato gastrointestinal, refratário à atividade da pepsina, pode ser o mecanismo pelo qual



o fitato deprime a digestibilidade dos aminoácidos da dieta (Selle et al., 2000). Provavelmente, o fitato com carga negativa interage com aminoácidos básicos, como por exemplo, a lisina, histidina e arginina para formar o complexo proteína-fitato quando o pH do estômago é menor do que o ponto isoelétrico das proteínas (Cosgrove, 1966).

O outro modo de ação possível pelo qual o fitato pode interferir na digestibilidade dos aminoácidos ocorre devido à capacidade do fitato de induzir aumentos no fluxo de aminoácidos endógenos. Cowieson et al., (2004) relataram que o fitato aumentava significativamente a excreção do total aminoácidos endógenos em frangos de corte, 112 mg/ave/48 h contra 87 mg/ave/48h nos animais que estavam suplementados com fitase. Assim, as maiores perdas de aminoácidos puderam ser atribuídas ao fitato por estimular a secreção de mucoproteínas gastrointestinais. Estes dois mecanismos relatados na literatura que podem deprimir a digestibilidade ileal de aminoácidos em dietas de aves podem ser combatidos, pelo menos em parte, pela adição de fitase (Selle and Ravindran, 2007).

Essa preposição pode ser comprovada por trabalhos que avaliaram o coeficiente de digestibilidade da proteína bruta com e sem a adição de fitases nas dietas para aves. Lelis et al., (2010) relataram que a utilização de fitase (500 FTU/Kg) melhorou os coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (PB) em dietas para frangos de corte. Da mesma forma, Rutherford et al., (2012) observaram melhora digestibilidade de alguns aminoácidos com a suplementação fitases nos níveis de 1000 e 2000 U/kg.

Em um trabalho com galinhas poedeiras avaliando a redução de nutrientes em dietas, inclusive o nível de proteína bruta (17% → 15%), Lima et al., (2010) observaram que a produção das aves não foi afetada quando suplementadas com 600 FTU/Kg de uma enzima fitase. Da mesma

forma, Ligeiro et al., (2009) também não observou diferença na produção em poedeiras que receberam dietas à base de sorgo com redução de proteína bruta quando suplementadas com 500 FTU/Kg de uma enzima fitase.

FITASE E O METABOLISMO DE ENERGIA

Um efeito extra fosfórico bem estudado em pesquisas avaliando a suplementação de fitases em dietas para aves é sua influência sobre a liberação de energia dos alimentos.

Muitos trabalhos têm demonstrado benefícios da adição de fitases de dietas de frangos de corte sobre o metabolismo energético das rações. Tejedor et al., (2001) observou aumento de digestibilidade ileal da energia bruta (EB) em 3,8 % com a suplementação de fitase na dieta. Fukayama et al., (2008) encontrou melhora no aproveitamento energético das dietas comprovado por melhora na digestibilidade da ED das mesmas. Da mesma forma, Lelis et al., (2010) observaram que a suplementação de enzima fitase nos níveis de 250 e de 500 FTU/kg de dieta melhorou os valores energéticos das dietas, em média, de 36 e de 54 Kcal/Kg de MS, respectivamente.

Em um trabalho com galinhas poedeiras avaliando a redução de nutrientes em dietas, inclusive o nível de energia metabolizável (2900 Kcal/Kg → 2800 Kcal/kg), Lima et al., (2010) observaram que a produção das aves não foi afetada quando suplementadas com 600 FTU/Kg de uma enzima fitase.

Em uma ampla revisão sobre fitases na nutrição de aves, Selle and Ravindran, (2007) discutem sobre o efeito da utilização de fitases no acréscimo de energia metabolizável em dietas de frangos de corte em diferentes metodologias (fonte e nível em FTU/Kg das enzimas e tipo de dietas com base nos ingredientes utilizados), apontando um aumento médio na EMA de 0,36 MJ kg⁻¹ de MS (ou 2,8 %) em dietas com suplementação de fitase em



comparação aos controles não

Na literatura, alguns trabalhos buscaram compreender a forma como carboidratos, lipídeos e proteínas poderiam estar complexados e consequentemente indisponíveis para a absorção pelas aves. Cosgrove (1966), sugeriu a existência de um complexo de Ca/ Mg - fitato, lipídios e peptídeos. Dessa forma o complexo Ca - fitato, lipídios podem estar envolvidos na a formação de sabões metálicos no lúmen do intestino das aves, os quais são os principais inibidores da utilização da energia de lipídios, principalmente gorduras saturadas (Leeson, 1993). Ravindran et al., (2000) relataram aumentos mais evidente de EMA com a utilização de fitases em dietas com níveis mais elevados de Ca, o que corrobora o envolvimento de complexos Ca - fitato no formação de sabões metálicos insolúveis.

Se o complexo Ca - fitato é um componente de sabões metálicos no intestino de frangos de corte, presume-se que a fitase poderia impedir parcialmente a sua formação por meio de hidrólise do fitato nas partes mais proximais do intestino. Assim, este seria um mecanismo que possibilitaria o aumento da digestibilidade ileal de gordura (Selle and Ravindran, 2007).

Tem sido sugerido que o fitato pode se ligar com o amido, diretamente por meio de pontes de hidrogénio ou indiretamente, através de proteínas associadas com amido (Thompson, 1988; Rickard e Thompson, 1997). Isso explicaria o motivo pelo qual a fitase conseguiria aumentar a utilização da energia a partir desta fonte, no entanto, segundo Selle et al. (2000) ainda existe uma escassez de evidências in vitro que deem embasamento científico à existência de complexos de amido de fitato. Entretanto, o fitato foi relatado como um potente inibidor da atividade da α -amilase (Cawley and Mitchell, 1968) sendo confirmado em estudos posteriores (Selle et al., 2000).

suplementados (Tabela 2).

FITASE, METABOLISMO DE CÁCIO E A BIODISPONIBILIDADE DE MICROMINERAIS

O fitato possui a capacidade de formar complexos estáveis com os cátions bivalentes e o Zn é um dos minerais mais vulneráveis à formação desses complexos (Fig. 17). Oberleas (1996) relataram resultados que mostravam que o fitato havia sido um fator significativo no desenvolvimento de deficiência de zinco, entretanto, os mesmos autores apontaram a dificuldade de diagnosticar tal deficiência devido ao zinco ser um cofator de muitas enzimas cuja atividade não expressava sintomas evidentes de deficiência. Além disso, a presença de Ca^{2+} agravava ainda mais o efeito do fitato na utilização do zinco, provavelmente através de um complexo fitato-Ca-Zn que, após ser formado, era insolúvel impedindo a absorção de Zn.

A formação de complexos de fitato com cátions bivalentes e a solubilidade deles é dependente do pH. Além disso, a resistência destes complexos é dependente do cátion e de sua concentração na reação de formação dos complexos. Os minerais traço são os cátions mais vulneráveis à formação dos complexos entre o pH de 5 a 7. (Oberleas e Chan, 1997).

Normalmente, na ausência de fitato na dieta, não ocorre deficiência nutricional de Zn nos monogástricos. A maioria dos sais de Zn e complexos é prontamente solubilizada pelo HCL estomacal e o Zn é absorvido/ reabsorvido do intestino delgado. Em estado fisiológico normal a quantidade de Zn secretada pelo pâncreas para lúmen duodenal representa de 2 a 4 vezes a consumida na dieta. Este zinco secretado pode ter sido consumido e absorvido duas ou mais semanas antes da liberação da secreção endógena. (Oberleas, 1996).



TABELA 2. Efeitos da suplementação de fitase sobre a utilização de energia (EMA ou EMAn) em frangos de corte (adaptado de Selle and Ravindran, 2007).

Referências	Tipo de dieta	EMA (MJ kg ⁻¹ MS)		Resposta		Fitase (FTU kg ⁻¹)
		Controle	fitase	MJ kg ⁻¹ MS	% ^a	
Driver et al. (2006)	Milho-soja (EMAn)	12.49	12.62	0.13	1.0	24,000, <i>Apergillus niger</i>
	Acima mais farelo de amendiom	12.13	12.83	0.70	5.8	24,000, <i>Apergillus niger</i>
Farrell et al. (1993)	Sorgo (EMAn)	12.80	13.10	0.30	2.3	750, <i>Apergillus niger</i>
Kocher et al. (2003)	Trigo	14.88	14.96	0.08	0.5	Média de duas fitases
	Sorgo	16.15	16.18	0.03	0.2	Média de duas fitases
Namkung and Leeson (1999)	Milho-soja (EMAn)	11.89	12.16	0.27	2.3	1200, <i>Apergillus niger</i>
Ravindran et al. (1999b)	Trigo por si só	11.07	11.65	0.58	5.2	600, <i>Apergillus niger</i>
	Trigo por si só	13.55	14.17	0.62	4.6	600, <i>Apergillus niger</i>
	Cevada por si só	12.36	12.69	0.33	2.7	600, <i>Apergillus niger</i>
Ravindran et al. (2000)	Trigo-sorgo 2,3 g kg ^{-1b}	13.33	13.52	0.19	1.4	400 + 800, <i>A. niger</i>
	Trigo-sorgo 4,5 g kg ^{-1b}	12.67	13.38	0.71	4.6	400 + 800, <i>A. niger</i>
Ravindran et al. (2001)	Mistura de trigo-sorgo	14.22	14.55	0.33	2.3	500, <i>Apergillus niger</i>
Selle et al. (1999)	Sorgo	12.46	12.87	0.41	3.3	600, <i>Apergillus niger</i>
Selle et al. (2001)	Trigo (pré-peletizada)	14.2	14.1	-0.1	-0.7	600, <i>Apergillus niger</i>
Selle et al. (2003c)	Mistura de trigo-sorgo	13.79	14.38	0.59	4.3	600, <i>Apergillus niger</i>
Selle et al. (2005)	Mistura de trigo-sorgo	14.22	14.56	0.34	2.4	600, <i>Apergillus niger</i>
Shirley and Edwards (2003)	Milho-soja (EMAn)	13.46	14.13	0.67	5.0	750, <i>Apergillus niger</i>
Mean		13.27	13.64	0.36	2.8	662 FTU kg ^{-1c}

a - % melhorias calculadas acima dos controles não suplementados.; b - P não fítico; c - excluindo Driver et al. (2006) and Kocher et al. (2003).



O nível adequado de Zn para animais monogástricos é sempre relativo ao conteúdo de fitato na dieta e Zn e pode ser indiretamente modificado por outros constituintes da mesma (Oberleas and Harland, 2010). Uma vez que a fonte primária de Zn disponível para a formação do complexo com o fitato no intestino delgado é de origem endógena, o efeito do fitato não está sobre a absorção ou biodisponibilidade, mas sim sobre a homeostase de Zn (Oberleas, 1996).

Segundo Oberleas e Chan (1997) as condições no duodeno e na porção superior do jejuno são ideais para a formação do complexo de Zn com o fitato, isto é, pH em torno de 6, além disso, a presença de Ca^{2+} proporciona estabilidade para a formação do complexo. Este não é um fenômeno específico do Ca^{2+} , mas sim um efeito de muitos cátions bivalentes (Oberleas and Harland, 2010). O Ca^{2+} é normalmente o cátion bivalente de maior concentração na dieta sendo assim mais provável de ele estar envolvido na formação dos complexos com o fitato.

Segundo Angel et al., (2002b) os níveis dietéticos de Ca e relação Ca:P são cruciais para a eficácia da fitase. No entanto, os níveis adequados de Ca e relações Ca: P na dieta de frangos de corte suplementados com fitase ainda requerem definição adequada embora exista um consenso de que relações Ca:P mais “estreitas” devem ser adotadas (Selle and Ravindran, 2007). Relações Ca:P na gama de 1,1 a 1,4:1 têm sido recomendados para frangos (Qian et al, 1997). No entanto, aumentando os níveis dietéticos de Ca^{2+} por si só podem gerar efeitos negativos e, definir o impacto de Ca^{2+} nas fitases não é simples.

Qian et al. (1997) verificaram que o aumento do Ca de 5,61 para 10,20 g kg^{-1} e relação Ca : P de 1,1 para 2,0:1 reduziu o ganho de peso (420 g/ ave contra 553 g/ ave) em frangos de corte até 21 dias de idade . No entanto, 900 FTU kg^{-1} de fitase melhorou o ganho de peso nas dietas com relação Ca:P

mais estreita (615 g/ ave contra 553 g/ ave) em comparação nas dietas com relação C:P maiores (541 g/ ave contra 420 g/ ave). Da mesma forma, Rousseau et al., (2012) avaliando níveis de P, Ca e a utilização de uma fitase microbiana observaram que tanto o nível mais baixo como o mais alto de cálcio provocavam piora no desempenho e na mineralização das tíbias de frangos de corte, sugerindo que deveria se ter preocupação com a utilização de um nível adequado de Ca na dieta dos animais para observar os benefícios da suplementação dietética da fitase.

A forma de fornecimento do Ca^{2+} na dieta dos animais também pode interferir na atividade das fitases. O calcário possui a capacidade de complexar prótons presentes no meio luminal, como resultado, o pH da digesta no intestino proximal é elevado tornando o meio mais alcalino e interferindo diretamente na atividade das fitases. (Selle and Ravindran, 2007). Outra possibilidade, é a de o Ca^{2+} ser um inibidor da atividade de fitase (Qian et al., 1996a), mas os dados relativos a este aspecto ainda são conflituosos (Mahajan and Dua, 1997). No entanto, é de salientar que tem sido demonstrado que dietético o Ca^{2+} (9,0 g kg^{-1}) pode reduzir tanto a atividade de fitase quanto a degradação de fitato (Applegate et al., 2003a)

Outro micro mineral geralmente indisponível pela atuação do fitato é o ferro (Fe^{3+}) (Nielsen et al., 2013) (figura 3).

O Fe nos alimentos geralmente existe nas formas de ferro heme e ferro não heme. O ferro heme representa de 50% a 60% do total de ferro nos alimentos de origem animal, enquanto que em alimentos de origem vegetal o ferro é encontrado na forma não-heme exclusivamente (Minihane and Rimbach, 2002) . A biodisponibilidade média do ferro heme é aproximadamente de 15% a 35% (Hurrell and Egli, 2010), enquanto que o ferro não heme é menos biodisponível, normalmente correspondendo mais ou menos de 1% a 22%, em dietas à base de cereais, pode chegar de 2% a 3% (Hurrell, 2003).

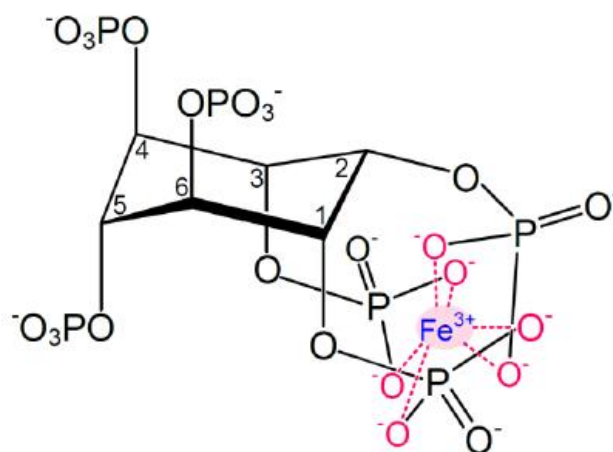


FIGURA 3. Estrutura de fitato monoférrico, onde Fe^{3+} é quelatado através da sua interação com seis em seis pontos. (Adaptado de Nielsen et al., 2013).

O Fe nos alimentos geralmente existe nas formas de ferro heme e ferro não heme. O ferro heme representa de 50% a 60% do total de ferro nos alimentos de origem animal, enquanto que em alimentos de origem vegetal o ferro é encontrado na forma não-heme exclusivamente (Míni-hane and Rimbach, 2002). A biodisponibilidade média do ferro heme é aproximadamente de 15% a 35% (Hurrell and Egli, 2010), enquanto que o ferro não heme é menos biodisponível, normalmente correspondendo mais ou menos de 1% a 22%, em dietas à base de cereais, pode chegar de 2% a 3% (Hurrell, 2003).

Geralmente, o ferro está na forma férrica oxidada (Fe^{3+}) em alimentos, mas se não adsorvido ou ligado a uma proteína de armazenamento, tal como em ferro heme ou ferritina, a forma de ferro ferroso (Fe^{2+}) é considerado como sendo a forma primária absorvida (Theil and Briat, 2004).

De forma geral, quando o Fe é utilizado na formação de complexos com agentes como o ácido ascórbico, ácido cítrico e outros ácidos orgânicos, assim como proteínas e peptídeos sua absorção é melhorada (Reddy et al., 2000). Por outro lado, fitato, taninos, fosfatos, polifenóis e os antiácidos normalmente inibem a absorção de ferro (Petry et al., 2010).

Em condições fisiológicas normais do ambiente intestinal o fitato forma pode formar complexos com ferro para formar o fitato monoférrico (Fig. 18). O fitato monoférrico é a principal forma de complexo formado entre o ferro e o fitato, é solúvel em água, mas o fitato tetraférrico, ou seja, o fitato quelante com quatro íons Fe^{3+} não é, indicando que existem as diferenças na biodisponibilidade do ferro a partir de complexos com o fitato podendo interferir na solubilidade dos diferentes versões estequiométricas dos complexos de ferro-fitato (Nielsen et al., 2013).

Dessa forma, a utilização de fitases também pode melhorar a absorção do ferro oriundo de alimentos de origem vegetal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das fitases é, na atualidade, uma importante estratégia nutricional visando a diminuição da excreção de P no ambiente além de permitir a redução da utilização de fonte inorgânicas de P nas rações das aves.

Diversos são os benefícios metabólicos advindos da utilização da fitases, principalmente a melhora na disponibilidade dos nutrientes complexados ao fitato presente



nos alimentos de origem vegetal como por exemplo, os aminoácidos, os macro e micro minerais e também nutrientes que contribuem com a fração energética das dietas.

Entretanto ainda são necessários mais estudos sobre possíveis interferências que alguns nutrientes como o Ca^{2+} podem

provocar na atividade das fitases e em sua capacidade de degradar o fitato, além de determinar os níveis adequados de suplementação do Ca^{2+} , fonte ideal de fornecimento e relação Ca:P quando adotada a utilização de fitases nas dietas para animais monogástricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGEL, R.; TAMIM, N.M.; APPLGATE, T.J.; DHANDU, A.S.; ELLESTAD, L.E. Phytic acid chemistry: influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. **Journal of Applied Poultry Research**. v.11, p.471-480, 2002.

APPLGATE, T.J.; ANGEL, R.; CLASSEN, H.L. Effect of dietary calcium, 25-hydroxycholecalciferol, or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens. **Poultry Science**. v.82, p.1140-1148, 2003.

AUGSPURGER, N.I.; WEBEL, D.M.; LEI, X.G.; BAKER, D.H. Efficacy of an E. coli phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. **Journal of Animal Science**. v.81, p.474-483, 2003.

BEDFORD, M.R.; PARTRIDGE, G.G. 2010. **Enzymes in farm animal nutrition**. 2nd edition. London, UK, 319p.

CAWLEY, R.W.; MITCHELL, T.A. Inhibition of wheat L-amylase by bran phytic acid. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.19, p.106-108, 1968.

CORRELL, D.L. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. **Poultry Science**. v.78, p.674-682, 1999.

COSGROVE, D.J. The chemistry and biochemistry of inositol polyphosphates. **Reviews of pure and applied chemistry**. v.16, p.209-224, 1966.

COWIESON, A.J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M.R. 2004. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. **British Poultry Science**. v.45, p.101-108, 2004.

DA SILVA, Y.L.; RODRIGUES, P.B.; DE FREITAS, R.T.F. et al. 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. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, n.3, p.840-848, 2006.

DE LIMA, M. R.; PERAZZO COSTA, F.G.; GIVISIEZ, P.E.N. et al. Reduction of the nutritional values of diets for hens through supplementation with phytase. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.10, p.2207-2213, 2010.

DONATO, D.C.Z.; ALBUQUERQUE, R.; GARCIA, P.D.S.R. Desempenho de frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes níveis de cálcio suplementadas com fitase. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, n.10, p.2161-2166, 2011.



DOS SANTOS, L.M.; RODRIGUES, P.B.; ALVARENGA, R.R. et al. Níveis de fósforo disponível e cálcio em rações suplementadas com fitase para frangos de corte nas fases de crescimento e final. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, n.11, p.2486-2495, 2011a.

DOS SANTOS, L.M.; RODRIGUES, P.B.; DE FREITAS, R.T.F. et al. Níveis de cálcio e fósforo disponível em rações com fitase para frangos de corte nas fases pré-inicial e inicial. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, n.11, p.2476-2485, 2011b.

FERREIRA, A.H.C.; LOPES, J.B. Uso da fitase na alimentação de frangos de corte – revisão. **Revista Eletrônica Nutritime**. v.9, n.4, p.1854-1860, 2012.

FUKAYAMA, E.H.; SAKOMURA, N.K.; DOURADO, L.R.B. et al. Efeito da suplementação de fitase sobre o desempenho e a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37, n.4, p.629-635, 2008.

GOMIDE, E.M.; RODRIGUES, P.B.; BERTECHINI, A.G. et al. Rações com níveis reduzidos de proteína bruta, cálcio e fósforo com fitase e aminoácidos para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, n.11, p.2405-2414, 2011.

GREINER, R.; KONIETZNY, U. 2010. Phytases: Biochemistry, Enzymology and Characteristics Relevant to Animal Feed Use. In: Bedford, M. R. and G. G. Partridge (eds). **Enzymes in farm animal nutrition**. 2nd edition. London, UK, 319p.

HURRELL, R.; EGLI, I. 2010. Iron bioavailability and dietary reference values. **The American Journal of Clinical Nutrition**. v.9, p.11461S-1467S, 2010.

HURRELL, R.F. Influence of vegetable protein sources on trace element and mineral bioavailability. *Journal of Nutrition*. v.133, p.2973S–2977S, 2003.

INTERNATIONAL PHYTASE SUMMIT. 2010. 28 at 30, September, Washington, D.C.

IQBAL, T.H.; LEWIS, K.O.; COOPER, B.T. Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut*. v.35, p.1233-1236, 1994.

JUNQUEIRA, O.M.; FILARDI, R.S.; LIGEIRO, E.C. et al. Avaliação técnica e econômica da matriz nutricional da enzima fitase em rações contendo farelo de girassol para poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.10, p.2200-2206, 2010.

KONIETZNY, U.; GREINER, R. Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). **International Journal of Food Science and Technology**. v.37, p.791-812, 2002.

KORNEGAY, E. T. Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. In: Bedford, M. R. and G. G. Partridge (eds) **Enzymes in Farm Animal Nutrition**. pp 237-271, 2001.

LEESON, S. 1993. Recent advances in fat utilisation by poultry. In: **Recent Advances in Animal Nutrition in Australia**. The University of New England, Armidale, NSW, pp. 170-1981.

LELIS, G. R.; ALBINO, L.F.T.; DA SILVA, C.R. et al. Suplementação dietética de fitase sobre o metabolismo de nutrientes de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.8, p.1768-1773, 2010.

REVISTA ELETRÔNICA NUTRITIME – ISSN 1983-9006 www.nutritime.com.br
Artigo 311 Volume 12 - Número 04– p. 4127 – 4139 Julho/Agosto 2015
IMPORTÂNCIA DA ENZIMA FITASE NA NUTRIÇÃO ANIMAL



LIGEIRO, E.C.; JUNQUEIRA, O.M.; FILARDI, R.S. et al. Avaliação da matriz nutricional da enzima fitase em rações contendo sorgo para poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, n.10, p.1948-1955, 2009.

MAHAJAN, A.; DUA, S. Nonchemical approach for reducing antinutritional factors in rapeseed (*Brassica campestris* var. Toria) and characterization of enzyme phytase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.45, p.2507-2508, 1997.

MINIHANE, A.M.; RIMBACH, G. Iron absorption and the iron binding and anti-oxidant properties of phytic acid. **International Journal of Food Science and Technology**. v.37, p.741-748, 2002.

MULLANEY, E.J.; ULLAH, A.H.J. The term phytase comprises several different classes of enzymes. **Biochemical and Biophysical Research Communications**. v.312, p.179-184, 2003.

NIELSEN, A.V.F.; TETENS, I.; MEYER, A.S. Potential of phytase-mediated iron release from cereal-based foods: a quantitative view. **Nutrients**. v.5, p.3074-3098, 2013.

OBERLEAS, D. Mechanism of Zinc Homeostasis. **Journal of Inorganic Biochemistry**. v.62, p.231-241, 1996.

OBERLEAS, D.; HARLAND, B.F. The true story of zinc nutrition and homeostasis. **Sight and Life Magazine**. v.2, p.13-19, 2010.

OBERLEAS, D.; CHAN, H-C. Cation Complexation by Phytate. **Trace Elements and Electrolytes**. v.14, p.173-176, 1997.

PETRY, N.; EGLI, I.; ZEDER, C.; WALCZYK, T.; HURRELL, R. Polyphenols and phytic acid contribute to the low iron bioavailability from common beans in young women. **Journal of Nutrition**. v.140, p.1977-1982, 2010.

QIAN, H.; GREGORY, E.M.; KORNEGAY, E.T. Characterization of *Aspergillus niger* phytase and investigation of the inhibitory effect of cations on the phytase activity. **Journal of Animal Science**. v.74 (Suppl. 1), 8 (Abstract), 1996.

QIAN, H.; KORNEGAY, E.T.; DENBOW, D.M. Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium:total phosphorus ratio in broiler diets. **Poultry Science**. v.76, p.37-46, 1997.

RAVINDRAN, V.; CABAUG, S.; RAVINDRAN, G. et al. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. II. Effects on apparent metabolizable energy, nutrient digestibility and nutrient retention. **British Poultry Science**. v.41, p.193-200, 2000.

REDDY, M.B.; HURRELL, R.F.; COOK, J.D. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. **The American Journal of Clinical Nutrition**. v.71, p.937-943, 2000.

RICKARD, S.E.; THOMPSON, L.U. 1997. Interactions and biological effects of phytic acid. In: Shaidi, F. (Ed.), **Antinutrients and Phytochemicals in Food** American Chemical Society, Washington, DC, pp. 294-312.



ROUSSEAU, X.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M.P.; MÊME, N. et al. Phosphorus utilization in finishing broiler chickens: Effects of dietary calcium and microbial phytase. **Poultry Science**. v.91, p.2829-2837, 2012.

RUTHERFURD, S. M.; CHUNG, T.K.; THOMAS, D.V. et al. 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 Science**. v.91, p.1118–1127, 2012.

SELLE, P.H.; RAVINDRAN, V. Microbial phytase in poultry nutrition. **Animal Feed Science and Technology**. v.135, p.1-41, 2007.

SELLE, P.H.; RAVINDRAN, V.; CALDWELL, R.A.; BRYDE, W.L. Phytate and phytase: consequences for protein utilization. **Nutrition Research Reviews**. v.13, p.255-278, 2000.

SIMON, O.; IGBASAN, F. In vitro properties of phytases from various microbial origins. **International Journal of Food Science and Technology**. v.37, p.813-822, 2002.

SOHAIL, S. S.; ROLAND, D.A. Influence al supplemental phytase on performance of broilers four to six of age. **Poultry Science**. v.78, p.550-555, 1999.

TEJEDOR, A.A.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. et al. Efeito da adição de enzimas em dietas de frangos de corte à base de milho e farelo de soja sobre a digestibilidade ileal de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, n.3, p.809-816, 2001.

THEIL, E. C.; BRIAT, J.F. 2004. **Plant ferritin and non-heme iron nutrition in humans**; International Food Policy Research Institute and International Center for Tropical Agriculture: Washington, DC, USA.

THOMPSON, L.U. Antinutrients and blood glucose. **Food Technology**. v.42, p.123-131, 1988.

VIANA, M.T.S.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. et al. Efeito da suplementação de enzima fitase sobre o metabolismo de nutrientes e o desempenho de poedeiras **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, n.6. 1074-1080, 2009.

WALZ, O.P.; PALLAUF, J. Microbial phytase combined with amino acid supplementation reduces P and N excretion of growing and finishing pigs without loss of performance. **International Journal of Food Science and Te**