

Fitase e Xilanase em dietas de frangos de corte

Ramos Batista Chaves, N.; Ribeiro de Souza Nascimento, K.M. e de Souza Teixeira, C.K.

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia.

RESUMO

O moderno contexto no qual a nutrição de frangos de corte está inserido, possibilita a formulação de dietas contendo enzimas comerciais com objetivo de melhorar a metabolizabilidade dos nutrientes e o aproveitamento de alimentos de origem vegetal ao atuarem na quebra de fitatos e polissacarídeos não amiláceos (PNAs) solúveis e insolúveis. As enzimas atuantes nesses substratos, fitase e xilanase, respectivamente, não são produzidas ou possuem produção endógena insignificante pelas aves. Os efeitos da fitase e carboidrases sobre os fatores antinutricionais podem ser considerados de efeito aditivo, uma vez que a eficiência da fitase adicionada à dieta pode ser reduzida pelo acesso restrito ao substrato na presença de PNAs. Da mesma forma, a insuficiência da fitase poderia reduzir a ação das carboidrases em nutrientes que possam estar complexados à molécula de fitato. Dessa forma, a associação entre essas enzimas na alimentação de frangos de corte pode contribuir para aumentar a rentabilidade da produção e favorecer a redução dos custos pelo produtor ao proporcionar o mesmo desempenho em relação à aves alimentadas com uma dieta tradicional, bem como minimizar os impactos ambientais em função da melhor metabolizabilidade dos nutrientes das dietas. Dessa forma, essa revisão foi desenvolvida com o objetivo de abordar o uso da fitase e xilanase na dieta de frangos de corte.

Phytase and Xylanase in broiler diets

SUMMARY

The modern context in which broiler nutrition is inserted makes it possible to formulate diets containing commercial enzymes in order to improve the metabolizability of nutrients and the utilization of food of plant origin when acting on the breakdown of phytates and non-starch polysaccharides (NSP's) soluble and insoluble. Enzymes acting on these substrates, phytase and xylanase, respectively, are not produced or have insignificant endogenous production by birds. The effects of phytase and carboidrases on antinutritional factors can be considered additive since the phytase efficiency added to the diet can be reduced by the restricted access to the substrate in the presence of NSP's. Similarly, insufficiency of phytase could reduce the action of carboidrases on nutrients that may be complexed to the phytate molecule. Thus, the association between these enzymes in broiler feed can contribute to increasing yields and favoring the reduction of costs by the producer by providing the same performance for birds fed a traditional diet, as well as minimizing the environmental impacts due to the better metabolizability of the nutrients of the diets. Thus, this review was developed with the objective of approaching the use of phytase and xylanase in the diet of broilers.

PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Aditivos.
Carboidrase.
Enzimas exógenas.
Fitato.
Polissacarídeos não amiláceos.

ADDITIONAL KEYWORDS

Additive.
Carbohydrase.
Exogenous enzyme.
Non-starch polysaccharides.
Phytate.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 16.10.2018
Aceptado/Accepted: 23.06.2021
On-line: 15.10.2021
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
nataliarbchaves@gmail.com

INTRODUÇÃO

O milho e farelo de soja são considerados como ingredientes basais para a maior parte das dietas de não ruminantes em âmbito nacional. Embora apresentem alta metabolizabilidade, possuem nutrientes não passíveis de digestão pelas aves, como o fitato e os polissacarídeos não amiláceos (PNAs).

O fitato reduz o aproveitamento do fósforo e outros nutrientes, inibindo a ação de enzimas proteolíticas, tais como pepsina e tripsina. Complexos fitato-proteína-aminoácido ou fitato-mineral-proteína são de difícil digestão, reduzindo a utilização de proteínas e aumentando o gasto energético para a produção endógena

(Cowieson et al., 2006, p. 880; Liu & Ru, 2010, p. 128). Esses complexos ocorrem naturalmente em ingredientes da dieta e podem ser formados na porção inicial do trato gastrintestinal da ave. Os PNAs, principalmente os solúveis, são capazes de diminuir a taxa de difusão de substratos e enzimas digestivas pelo aumento da viscosidade da digesta, modificação na estrutura da mucosa intestinal e proliferação de enterobactérias, reduzindo a metabolizabilidade e aproveitamento dos nutrientes (Olukosi et al., 2007, p. 81).

Para ambos os casos, a utilização de enzimas exógenas pode amenizar os impactos desses fatores antinutricionais, em específico, a fitase sobre os fitatos e a xilanase sobre os PNAs. Pesquisas sugerem que estas

enzimas quando combinadas possuem ação aditiva e potencializam seus efeitos (Cowieson e Adeola, 2005, p. 1863; Schramm et al., 2017, p. 1208). No entanto, a produção endógena de fitase e xilanase pelas aves é praticamente nula, enquanto seus substratos, arabinosídeos e fitatos são abundantes nas dietas (Bedford & Schulze, 1998, p. 102).

A melhora na metabolizabilidade da matéria seca, do fósforo, da proteína bruta (PB) e da energia metabolizável aparente (EMA) está entre os fatores observados com a associação da fitase e xilanase em dietas elaboradas a base de milho e farelo de soja para frangos de corte (Schramm et al., 2017, p.1208).

A suplementação com fitase de forma isolada possibilita a redução nos níveis de proteína bruta e minerais como o P, cálcio (Ca) e sódio (Na) nas formulações, sem influenciar o desempenho das aves (Donato et al., 2011, p. 2164; Meneghetti et al., 2011, p. 629). Apesar dessa redução dos nutrientes ser possível pela maior metabolizabilidade que a enzima proporciona, o Ca deve ser reduzido proporcionalmente à redução nos níveis de P total (Schoulten et al., 2003, p. 1193), para evitar o aumento do pH intestinal com formação de fitato de cálcio e sua interação com o ferro, magnésio e zinco e reduzir a atividade da fitase pela alta concentração de Ca (Qian et al., 1997, p. 43). Da mesma forma, altas concentrações de Na podem interagir com o fitato indisponibilizando aminoácidos endógenos e reduzir o efeito da fitase (Cowieson et al., 2011, p. 615).

Com a utilização da xilanase, o nível de energia metabolizável (EM) também pode ser reduzido nas dietas para frangos, uma vez que mantém o mesmo desempenho comparado à dietas sem enzimas em função da capacidade de incrementar a metabolizabilidade da energia (Jia et al., 2009, p. 136; Nian et al., 2011, p. 403; Stefanello et al., 2016, p. 4), além de melhorar a saúde intestinal das aves (Guo et al., 2014, p. 98).

Desta forma, a utilização dessas enzimas nas dietas de frangos de corte podem aumentar o valor nutricional das dietas e favorecer formulações com níveis reduzidos de energia e nutrientes, destacando-se o fósforo, proteína bruta, cálcio e sódio, além de apresentarem eficácia na redução da emissão de elementos poluentes nas excretas. Neste sentido, essa revisão foi desenvolvida com o objetivo de abordar o uso da fitase e xilanase na dieta de frangos de corte.

ENZIMAS EXÓGENAS: MODO DE AÇÃO E APLICAÇÕES

Caracterizadas por serem proteínas altamente especializadas, as enzimas apresentam alta eficiência catalítica e elevado grau de especificidade por seus substratos. Aceleram reações químicas no organismo, sem serem, elas próprias alteradas neste processo (Souza et al., 2008, p. 587) e são reguladas conforme sua atividade modulando o fluxo da via metabólica.

Assim como outros catalisadores, as enzimas diminuem a energia de ativação da reação e aumentam a velocidade da reação de um fator de 10^6 a 10^{12} . Além da atividade catalítica, as enzimas podem ser caracte-

terizadas por propriedades físicas e químicas como solubilidade, número de cadeias polipeptídicas, massa molecular, composição de aminoácidos e estrutura secundária, terciária e, eventualmente quaternária (Nelson & Cox, 2014).

As enzimas exógenas têm finalidade promover a quebra dos componentes fibrosos, reduzir fatores anti-nutricionais e melhorar a biodisponibilidade dos nutrientes que não são digeridos pelas enzimas endógenas, apresentando assim, efeitos positivos sobre a metabolizabilidade e o desempenho animal, uma vez que apresentam sítio ativo que permite sua atuação em determinada ligação química, sob condições favoráveis de temperatura, pH e umidade (Araujo et al., 2007, p. 75).

Durante a digestão, as enzimas se unem às moléculas de alimentos de alto peso molecular formando complexo enzima-substrato, e aceleram o catabolismo de moléculas grandes (amido, proteína, gordura, etc) em moléculas menores (glicose, aminoácidos, ácidos graxos, etc), as quais podem ser absorvidas por meio da membrana intestinal para serem utilizadas pelas aves (Monteiro & Silva, 2009, p. 10)

A incorporação de enzimas nas formulações pode ser feita de duas maneiras. A primeira é a aplicação “*on top*”, que consiste na suplementação da enzima, como qualquer outro aditivo, sobre uma formulação padrão, com o objetivo de melhorar o desempenho das aves. A segunda forma seria ajustar a formulação da dieta, por meio da redução nos nutrientes e adicionar as enzimas exógenas para restaurar o valor nutricional da dieta padrão, sendo a segunda opção a mais utilizada nas granjas avícolas.

Como as aves não apresentam capacidade endógena para digerir fibras, a utilização de enzimas exógenas torna-se considerável, pois estas hidrolisam os PNAs que podem ser potencialmente utilizados pelo animal, aumentando, por exemplo, o aproveitamento da energia presente nos alimentos, como o farelo de soja (Brito et al., 2008, p. 114).

As enzimas carboidrases são constituídas por duas distintas classes com atividades diferentes, as amilases e aquelas coletivamente classificadas como enzimas que degradam PNAs, entre elas estão celulasas, xilanasas, glucanasas, pectinasas (Lima et al., 2007, p. 101).

Ao utilizar dietas contendo farelo de arroz (15%) e adição de fitase (400, 800 e 1.200 FTU) e xilanase (1,0 kg/t), Conte et al. (2003) observaram que aos 21 dias de idade houve efetiva ação da fitase para o aumento da disponibilidade de fósforo na dieta de frangos de corte, ressaltando a possível redução da suplementação de fósforo na dieta quando utiliza-se altos níveis de fitase (800 e 1200 FTU). Além disso, o peso vivo e consumo de ração aumentaram significativamente com o uso de fitase aos 21 dias como aos 42 dias, com o uso de 1.105 e 1.023 FTU/kg, respectivamente para as idades. Os autores também observaram que a xilanase aumentou o ganho de peso melhorando a conversão alimentar, possivelmente em função do incremento na energia metabolizável pelo uso da enzima, além de proporcio-

nar aumento nos teores de cinzas e fósforo da tibia nas duas idades avaliadas.

Estudo semelhante com a adição de complexo multienzimático em rações com farelo de soja e soja integral extrusada para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, também foi observada melhoria na utilização de energia metabolizável, proteína e aminoácidos (metionina, metionina + cistina e lisina) em 9,0, 7,0 e 5,0%, respectivamente, pelas aves, no entanto o desempenho foi semelhante aos de aves alimentadas com a dieta convencional (Garcia et al., 2000, p. 1422).

A determinação da metabolizabilidade tem sido uma das principais ferramentas para avaliar a qualidade de uma dieta ou ingrediente, indicando o seu valor nutricional, assim como dos níveis de nutrientes não digeridos. Diversos estudos têm demonstrado o efeito positivo sobre a metabolizabilidade dos nutrientes com a adição de enzimas na dieta de frangos de corte, potencializando o desempenho.

Efeitos positivos sobre o coeficiente de metabolizabilidade da proteína bruta em frangos de corte foram observados por Barbosa et al. (2008, p. 853) com a inclusão de 200 g/kg de um complexo enzimático contendo xilanase, amilase e protease e 100 g/kg fitase em dieta com baixa densidade nutricional.

Os coeficientes de metabolizabilidade do fósforo não foram alterados com a utilização de dietas com níveis nutricionais reduzidos e suplementadas com fitase (1.000 FTU/kg) e complexo enzimático contendo xilanase (300 U/kg), amilase (400 U/kg) e protease (4.000 U/kg) (Cowieson & Adeola, 2005, p. 1864).

FÓSFORO E FITATO

O fósforo pode ser encontrado no ambiente na forma orgânica (fitatos, fosfolipídios e fosfoproteínas) e inorgânica (monofosfatos, bifosfatos e trifosfatos). Combinado com outros elementos, sua estrutura é pH dependente do meio onde se encontra, podendo estar sob a forma de ácido fosfórico (H_3PO_4) em meio ácido e dihidrogenofosfato ($H_2PO_4^-$) e hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}) em pH neutro (Underwood & Suttle, 1999; Qintero-Pinto et al., 2011).

Estima-se que 80% do fósforo no organismo animal esteja presente nos ossos, sendo a estrutura óssea composta por 16% de fósforo e 36% de cálcio, podendo atuar como reserva lábil em situações em que a dieta não atende a exigência da ave (Pinheiro et al., 2011, p. 364). Desta forma, é considerado o segundo maior

componente do organismo e sua concentração no soro sanguíneo é dependente da dieta e dos ingredientes que a compõe. Aves em condições adequadas de saúde e alimentação possuem em torno de 5 a 7 mg/dL de fósforo sérico (Vieites et al., 2011, p. 891; Manangi et al., 2018, p. 527).

A deficiência de fósforo no organismo pode comprometer diversos processos metabólicos da ave, por ser fundamental em todas as reações que envolvem produção de energia, controle do metabolismo celular, manutenção osmótica e no balanço ácido-básico, síntese de aminoácidos e proteínas, além de atuar como componentes de ácidos nucleicos, sendo ativador de muitos processos enzimáticos (Underwood & Suttle, 1999; Runho et al., 2001, p. 194; Santos et al., 2011, p. 2491).

Ao longo do ciclo de produção dos frangos a demanda de fósforo é reduzida, de modo que as maiores exigências ocorrem durante a formação óssea (Berrechini et al., 2014, p. 377). As exigências de fósforo disponível para os frangos de corte ao longo dos anos vêm sendo constantemente atualizadas em função da genética aprimorada e variam quanto ao sexo, desempenho e fase de criação da ave (**Tabela I**).

Atualmente, um conceito moderno nas formulações de dietas em virtude da melhor avaliação nutricional dos ingredientes é a utilização de fósforo digestível. Rostagno et al. (2017, p. 294) sugerem 0,42; 0,38; 0,35 e 0,28% de fósforo digestível nas fases pré inicial, inicial, crescimento e pré-abate, respectivamente.

Estima-se que, 70% do fósforo presente nos ingredientes de origem vegetal está complexado com moléculas de ácido fítico e indisponível para absorção em não ruminantes (Rostagno et al., 2017). A biodisponibilidade de fósforo no milho está em torno de 27,6% e a do farelo de soja em 37,3%, ocorrendo variações entre cultivares (Rostagno, 2017, p. 197).

O ácido fítico (hexafosfato de mio-inositol; IP_6) está naturalmente presente nos grãos utilizados nas formulações de dietas, seja associado a corpos proteicos e outros minerais, espalhados por toda a semente como na soja ou no gérmen no caso do milho (Selle et al., 2003, p. 476), atuando como reserva de fósforo, energia e cátions (Ravindran et al., 1994, p. 133).

Devido a esse fato, o ácido fítico contém apenas o fósforo em sua cadeia, caracterizado como um anion reativo com elevado poder de quelação e afinidade por cátions nutricionalmente importantes como o cálcio

Tabela I. Recomendações de fósforo disponível para frangos de corte machos de desempenho superior (Available Phosphorus Recommendations for Superior Performance Male Broilers).

Referência	Fase de criação			
	Pré inicial (1-7 dias)	Inicial (8-21 dias)	Crescimento (22-33 dias)	Pré-abate (34-42 dias)
	------(%)-----			
Rostagno et al. (2005, p. 91)	0,47	0,45	0,42	0,37
Rostagno et al. (2011, p. 118)	0,47	0,40	0,35	0,31
Rostagno et al. (2017, p. 294)	0,48	0,43	0,38	0,31

cio, magnésio, zinco, além de moléculas carregadas positivamente como proteínas e aminoácidos (Vohra et al., 1965, p. 448). A reação entre o ácido fítico e essas moléculas resultam no fitato, caracterizado como sal de ácido fítico.

A formação de complexos entre o ácido fítico e os nutrientes da digesta é pH dependente. Em regiões do trato gastrointestinal que possuem pH baixo, a ocorrência de quelação do ácido fítico com o Fe^{3+} é maior. Em regiões com pH intermediário a alto, outros cátions polivalentes podem ser complexados pelas moléculas de ácido fítico, preferencialmente na seguinte ordem: $Cu^{++} > Zn^{++} > Co^{++} > Mn^{++} > Fe^{+++} > Ca^{++}$. No entanto, somente estruturado na forma de hexafosfato (IP_6) e pentafofosfato (IP_5) as moléculas de fitato podem atuar como quelante de minerais, uma vez que, moléculas menores que a de pentafofosfato são mais solúveis e com baixa capacidade de ligar com minerais, como mencionado por Silva & Silva (1999, p. 22) em ampla revisão.

Dietas formuladas com baixo nível de fósforo disponível (0,33%) e cálcio (0,80%) em relação à dietas contendo 0,45 e 0,33% dos mesmos nutrientes, respectivamente, para frangos de corte, podem prejudicar o ganho de peso, conversão alimentar e reduzir os coeficientes de metabolizabilidade da proteína bruta, energia, fósforo e cálcio caso não sejam suplementadas com fitase, considerando que a ave não consegue aproveitar todo o fósforo de forma eficiente (Tejedor et al., 2001, p. 806).

Neste sentido, a indústria biotecnológica tem conseguido produzir fitases com alta efetividade na liberação de fósforo fítico toleráveis à uma ampla faixa de pH no trato gastrointestinal, possibilitando a redução de fontes inorgânicas nas formulações das dietas, bem como a alta excreção para o ambiente (Bertechini, 2014, p.378).

FITASE

A fitase (mio-inositol hexafosfato fosfohidrolase; IP_6) é uma enzima que atua sobre a molécula de fitato em reações sequenciais de desfosforilação (pentafofosfato - IP_5 , tetrafofosfato - IP_4 , trifosfato - IP_3 e possivelmente inositol difosfato - IP_2 e monofosfato - IP_1), reduzindo-o em ésteres de fosfato de mio-inositol e ortofosfato, liberando também cátions, proteínas e amido que possam estar complexados e indisponíveis para absorção no lúmen intestinal. Sua unidade ativa (FTU ou U) em substrato de sódio fitato (5,1 μ mol), quando em temperatura de 37°C e pH 5,5 é capaz de liberar um μ mol de ortofosfato inorgânico por minuto (Vats & Banerjee, 2004, p. 6).

As fitases podem ser classificadas quanto ao seu mecanismo catalítico: histidina fosfatase ácida (HFA), fitase β -hélice (FBH) e fosfatase ácida "purple" (FAP) (Mullaney & Ullah, 2003, p. 179-182), divididas em função do local onde a hidrólise se inicia no anel de mio-inositol: 3-fitase (mio-inositol hexaquiifosfato 3-fosfohidrolase) atuante sobre o 3º carbono e a 6-fitase (mio-inositol hexaquiifosfato 6-fosfohidrolase) sobre o 6º carbono e, em relação ao pH ótimo atuante: ácidas

(2,5 a 6,0) ou alcalinas (6,0 a 8,0) (Vats & Banerjee, 2004, p. 4).

A produção endógena de fitase pela aves é praticamente nula (Conte et al., 2002, p. 548), ou seja, durante a passagem pelo trato gastrointestinal as moléculas de ácido fítico permanecem intactas, indisponibilizando fósforo e quelatando cátions e outros nutrientes.

A adição de fontes inorgânicas de fósforo nas dietas podem contornar a deficiência desse mineral e não afetar o desempenho das aves, porém impactam o meio ambiente devido a alta excreção de fósforo, o que torna a suplementação de fitase um ponto chave para a redução desses problemas (Gomide et al., 2011, p. 2411; Sousa et al., 2014, p. 498).

Este fato foi observado com a utilização de fitase (80 g/t contendo 2500 FTU/g) por Gomide et al. (2011, p. 2410) em dietas para frangos de corte com até 35 dias de idade, que continham redução de 0,15% de fósforo disponível, 0,30% de cálcio e diferentes níveis de proteína bruta (10 a 21%). Os autores demonstraram que o uso da fitase possibilitou desempenho semelhante aos de aves que foram alimentadas com dieta convencional, com a possibilidade de redução do nível proteico das dietas e menor excreção de nitrogênio e fósforo para o ambiente.

Fato semelhante foi relatado por Sousa et al. (2014, p. 498) em frangos suplementados com fitase (100g/t contendo 500 FTU/kg) durante a fase inicial, em que, a associação da enzima com a diminuição de 0,16% de cálcio e 0,42% de proteína bruta em dietas contendo 2948 Kcal/kg de energia metabolizável, reduziu as excreções de nitrogênio em 7,56%, de fósforo em 21,34% e de cálcio em 11,51%.

Naturalmente a fitase (6-fitase) é encontrada nas plantas, isso deve-se ao fato de que as reservas de fósforo nas sementes estão sob a forma de fitato (Ravindran et al., 1994, p. 134). Desta forma, grãos como o trigo, centeio, cevada, milho e oleaginosas que são utilizadas nas formulações de dietas para aves podem possuir atividade dessa enzima, porém, altamente sensíveis à desnaturação térmica (Centeno et al., 2001, p. 3201).

A produção de 3-fitase em sua maioria se dá por fungos, bactérias e leveduras (**Tabela II**), com exceção das fitase produzidas por *Escherichia coli* e *Peniophora lycii* que são 6-fitase. Além disso, do ponto de vista comercial, a utilização de microrganismos possibilita a produção da fitase em grande escala (Vats & Banerjee, 2004, p. 5).

Comercialmente, a fitase mais utilizada é a HFA, com pH ótimo entre 4,0 e 6,0 para que haja atuação da enzima na porção superior do trato gastrointestinal da ave (papo, proventrículo e moela) em que o alimento permanece por maior tempo e o pH favorece a ação das fitases ácidas. Essas enzimas atuam na quebra da molécula de mio-inositol, liberando fósforo e outros nutrientes complexados para que sejam absorvidos no intestino. Com o peritaltismo do trato gastrointestinal, a digesta passa por valores de pH excedentes ao considerado como ótimo para a fitase, reduzindo sua eficiência. Assim, moléculas de ácido fítico que não foram

Tabela II. Fontes e propriedades das fitases comerciais (Sources and properties of commercial phytases).

Fontes	Condições ótimas de atuação	
	pH	Temperatura (°C)
Bactérias		
Bacillus sp. DS11	7,0	70
Bacillus amyloliquefaciens	7,0	70
Bacillus subtilis	6,0-6,5	60
Bacillus licheniformis (168 phyA, phyL)	4,5-6,0	55-65
Enterobacter sp.	7,0-7,5	50
Escherichia coli	4,5	60
Klebsiella terrigena	5,0	58
Pseudomonas syringae	5,5	40
Lactobacillus sanfrancesis	4,0	45
Citrobacter braakii	4,0	50
Leveduras		
Arxula adenivorans adenivorans	4,5	75
Schwanniomyces castellii	4,5	77
Senna occidentalis	4,5	77
Saccharomyces cerevisiae	2,0-2,5 5,0-5,5	60
Pichia pastoris	2,5; 5,5	60
Fungos		
Aspergillus ficuum (phyA)	2,5; 5,0	58
Aspergillus ficuum (phyB)	2,5	63
Aspergillus oryzae	5,5	50
Aspergillus niger SK-57	2,5; 5,5	50
Aspergillus niger ATCC 9142	5,0	65
Peniophora lycii (phyA)	4,0-4,5	50-55

Adaptado de Vats & Banerjee (2004, p. 5).

hidrolisadas podem formar complexos insolúveis com minerais e outros nutrientes interferindo na digestão e absorção pela ave (Augspurger et al., 2003, p. 479).

No entanto, há evidências que a fitase proveniente de *E. coli* apresenta maior resistência à enzimas proteolíticas em relação à fitase *P. lycii*, favorecendo a atividade da enzima no jejuno e no íleo, sendo neste último local menos efetiva (Onyango et al., 2005, p. 63). Além disso, os autores relataram que a presença de fitatos no intestino podem ser pela re-precipitação da molécula em pH alcalino, uma vez que não estavam presentes na porção superior do trato gastrintestinal pela melhor atividade da fitase.

Comparando a utilização de fitases produzidas a partir de *E. coli* em relação à fitases fúngicas na alimentação de frangos de corte, Pillai et al. (2006, p. 1740) também relataram que a fitase bacteriana apresentou maior atividade enzimática, com deposição linear de fósforo na tibia conforme inclusão na dieta (250 a 10.000 FTU/kg) e melhor desempenho das aves.

A ação da fitase sobre a disponibilidade de fósforo e outros minerais em dietas para frangos de corte vem sendo amplamente estudada nos últimos anos, evidenciando consistência em manter o desempenho, melhorando ou não prejudicando a mineralização e resistência óssea em relação à aves alimentadas com

dietas que possuem formulações convencionais, além de reduzir o impacto ambiental pela melhor metabolizabilidade do fósforo e cálcio (Tejedor et al., 2001, p. 805; Fukayama et al., 2008, p. 633; Lelis et al., 2010, p. 1772; Parra-Martín et al., 2015, p. 14).

No entanto, assim como os minerais, a metabolizabilidade dos aminoácidos também é afetada negativamente pela presença de ácido fítico. A concentração de fitato ao passar de 10,4 para 15,7 g/kg de ração pode reduzir em até 2,3% a metabolizabilidade ileal do nitrogênio em frangos de corte (Ravindran et al., 2006, p.85).

O aumento na perda de nitrogênio endógeno e nos requerimentos de energia em dietas que possuem alta concentração de fitato pode estar correlacionado à alta produção de mucina com redução da atividade enzimática no trato gastrintestinal (Cowieson et al., 2006, p. 881; Liu & Ru, 2010, p. 129) pela inibição das enzimas pepsina e tripsina (proteolíticas) durante a formação pH-dependente dos complexos fitato-proteína/aminoácido ou fitato-mineral-proteína. A melhora na metabolizabilidade da proteína bruta em 2,5% e do fósforo em 12,8% foi relatada por Lelis et al. (2010, p. 1772) ao utilizarem 500 FTU/kg de fitase em dietas para frangos (1 a 25 dias de idade) em relação à dieta controle e, conseqüentemente, maior retenção e menor excreção de fósforo.

Além disso, a melhora na metabolizabilidade da proteína bruta pode resultar em incremento energético para ave, devido a redução dos gastos de energia com a produção de aminoácidos endógenos. A fitase também pode ter ação indireta sobre a energia metabolizável pela liberação de moléculas de amido que possam estar ligadas à proteína complexado na molécula de fitato (Onyango et al., 2005, p. 67).

A melhoria da utilização de energia com o uso de fitase na alimentação de frangos de corte pode ser observada no maior ganho de peso das aves, demonstrando maior disponibilidade e consequente utilização dos nutrientes dietéticos para deposição nos tecidos como gordura ou proteína (Olukosi et al., 2008, p. 685).

Avaliando a suplementação ou não de fitase (25 FTU/kg) em rações contendo níveis de fósforo não fítico (100, 85 e 70% das exigências da ave correspondendo aos níveis de 0,45, 0,38 e 0,31% de fósforo não fítico, respectivamente), Oliveira et al. (2008, p. 439) descreveram que a associação entre a enzima e o fósforo não fítico correspondeu a 70% das exigências e melhoraram a metabolização da energia bruta além da metabolizabilidade da matéria seca, proteína bruta, cálcio e fósforo.

Da mesma forma, Meneghetti et al. (2011, p. 631) ressaltaram aumento na metabolizabilidade da matéria seca com a inclusão de fitase (1.500, 3.000, 4.500, 6.000, 8.000 e 10.000 FTU/kg) nas dietas e concluíram que o desempenho de frangos de corte com idade entre 1 e 35 dias não é alterado e ocorre melhora na metabolizabilidade dos nutrientes e aproveitamento de energia a partir da inclusão de 4.500 FTU/kg de fitase na dieta.

Devido aos efeitos benéficos da inclusão de fitase sobre o aproveitamento dos nutrientes da dieta, ao levar em consideração a matriz nutricional da fitase, ou seja, a quantidade de nutrientes que será liberada quando a enzima é acrescentada à dieta, torna possível a redução dos níveis de energia e nutrientes como minerais, proteína e aminoácidos.

A redução de fósforo total pode ser feita desde que se mantenha a relação cálcio/fósforo, uma vez que níveis elevados de cálcio podem aumentar o pH intestinal e formar fitato de cálcio, complexando outros minerais como o ferro, magnésio e zinco reduzindo a atividade da fitase (Qian et al., 1997, p. 40). Assim, os níveis de cálcio devem ser reduzidos proporcionalmente à redução nos níveis de fósforo total (Schoulten et al., 2003, p. 1193).

Avaliando os níveis de cálcio (0,46 a 1,30%) com a utilização de fitase (600 FTU/kg) em dietas com 0,54% de fósforo total para frangos de corte na fase inicial (1 a 21 dias), Schoulten et al. (2003, p. 1193) descreveram que houve redução linear no ganho de peso e na deposição de cinzas, fósforo e manganês na tibia com o aumento de cálcio na dieta, e que o nível de 0,59% resultou em adequada mineralização óssea.

Da mesma forma, Donato et al. (2011, p. 2165) relataram que em todas as fases de criação (1 a 42 dias) dos frangos, o nível de cálcio pode ser reduzido em até 30% em relação à uma formulação convencional (0,78% de

cálcio) desde que contenham 1.200 FTU/kg de fitase, sem influenciar o desempenho.

A matriz nutricional da fitase vai depender principalmente da sua atividade enzimática, o que é alterada conforme a origem da fitase. O fósforo disponível pode ser reduzido em até 0,16% com o uso de 500 UFT/kg de fitase em dietas a base de milho e farelo de soja em todas as fases de criação (Laurentiz et al., 2009, p. 1944). Para o período de crescimento, o mesmo nível de inclusão de fitase, favorece a redução de 0,36% de proteína bruta, 0,10% de cálcio, 45 Kcal/kg de energia metabolizável, 0,010% de lisina digestível (Lelis et al., 2010, p. 1770) e 0,020% de sódio (Oliveira, 2016, p. 47).

ENERGIA METABOLIZÁVEL NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

A energia pode ser definida como “a capacidade de realização de trabalho, e medida apenas por meio da sua transformação de uma forma para a outra” (Bertechini, 2012, p. 109). Liberada na forma de calor pela oxidação dos nutrientes durante o metabolismo, a energia é responsável por diversos processos metabólicos que envolvem desde a manutenção das funções vitais, regulação da temperatura corporal até o máximo potencial produtivo das aves.

Considerada como o principal componente nutricional que exerce influência direta sobre o desempenho, a energia é obtida por meio de diversos nutrientes dietéticos, em especial lipídeos e carboidratos (amido e açúcares) e atua diretamente no controle do consumo de ração e por consequência dos demais nutrientes (proteína bruta, aminoácidos, ácidos graxos e minerais).

A energia contida no alimento ou na dieta é definida como energia bruta e corresponde à energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono e água em ambiente rico em oxigênio. A mensuração é realizada por meio de bomba calorimétrica, sendo que a energia bruta resultante de carboidratos são 3,7 Kcal/g (glicose) e 4,2 Kcal/g (amido), das proteínas é 5,6 Kcal/g, por sua vez as gorduras fornecem 9,4 Kcal/g (NRC, 1998).

Contudo, nem toda a energia fornecida pelos nutrientes oxidados é totalmente aproveitada pelos animais. Assim, existem diversas formas de se expressar a energia aproveitada pelos monogástricos, sendo dividida além de energia bruta em: energia digestível, energia metabolizável aparente, energia metabolizável verdadeira e energia líquida (De Lange & Birkett, 2005, p. 271).

A energia digestível aparente é obtida pela subtração da energia bruta das fezes da energia bruta da dieta e representa a energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão. A palavra “aparente” significa que a matéria fecal não é constituída unicamente de material indigestível, mas que contém também substâncias que fizeram parte do animal, como células de descamação das paredes do trato gastrin-

testinal e o resíduo de secreções (Lawrence & Fowler, 2002).

Em aves, por motivos fisiológicos e anatômicos, a separação da excreta em fezes e urina é complicada, necessitando de intervenção cirúrgica que exteriorize o ureter. Por este motivo, essa forma de energia não é usualmente utilizada. Assim, comumente é realizada a coleta total de excretas levando a estimativa direta da energia metabolizável aparente.

A energia metabolizável aparente é definida como a diferença entre a energia digestível e as perdas por urina (ácido úrico) e gases da digestão (CO_2 e metano (CH_4)), considerada como a energia efetivamente disponível para o metabolismo animal, podendo ser fracionada em apenas duas partes: a energia produzida na forma de calor (incremento calórico) pelos diversos processos metabólicos e a energia utilizada na manutenção de funções vitais (Emmans, 1994, p. 811).

Além disso, a energia metabolizável pode ser expressa na forma de energia metabolizável aparente ou energia metabolizável verdadeira, a qual consiste na correção da energia metabolizável aparente pelas perdas de energia fecal metabólica e urinária endógena.

Para ambas (aparente e corrigida) pode-se realizar a correção para balanço de nitrogênio, permitindo que valores de energia metabolizável de aves com distintas exigências proteicas sejam comparados, uma vez que em aves em crescimento, por exemplo, uma parte considerável do nitrogênio consumido na dieta é retido para formação de tecidos e, em adultas, grande parte dos compostos nitrogenados são catabolizados e excretados sob a forma de ácido úrico.

A energia líquida é obtida pela subtração da energia perdida pelo incremento calórico da energia metabolizável e utilizada para manutenção e produção. O incremento calórico é o aumento da produção de calor decorrente do consumo de um alimento, representando perdas de energia durante os processos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes e, apesar de não ser utilizada para produção, o IC pode ser utilizado para homeostase térmica em condições de baixa temperatura ambiental.

A eficiência da utilização da EM (k) para produzir energia líquida é dada pela relação energia líquida: energia metabolizável e varia de acordo com a finalidade (ganho de proteína, ganho de gordura ou ambas) e composição da dieta uma vez que os nutrientes não são utilizados com a mesma eficiência. Em aves, a eficiência da EM é de 60% para proteína, 90% para gordura e 75% para carboidratos (Sugahara, 2003, p. 906).

Nas formulações de dietas baseadas na relação energia:nutriente depende-se da precisão obtida nas determinações dos valores de energia metabolizável dos alimentos, uma vez que durante a partição biológica da energia no organismo, a energia metabolizável é a estimativa da expressão do valor energético dos ingredientes para as aves.

Fatores como a idade da ave (Mello et al., 2009, p. 866), sexo (Nascif et al., 2004, p. 379), linhagem, processamento das dietas (Leite et al., 2008, p. 1296),

granulometrias, variações de amostragem e métodos de determinação (Freitas et al., 2006, p. 110) podem alterar os valores de energia metabolizável de um mesmo alimento.

Além disso, o nível energético na dieta é considerado como o principal limitante nutricional no consumo de frangos de corte, sendo o consumo inversamente proporcional ao nível de energia fornecido (Dairo et al., 2010, p. 2032; Barbosa et al., 2012, p. 1501; Rahman et al., 2014, p. 419).

A regulação da ingestão de consumo pelas aves é baseada principalmente na teoria glicostática que atua no centro de saciedade, controlada pelo hipotálamo localizado no córtex cerebral. Assim, o eixo cérebro-intestino envolve a comunicação de informações sobre a presença ou ausência de nutrientes específicos na dieta, bem como comunicação cérebro e tecido adiposo envolvendo o metabolismo da leptina (Richards & Proszkoiec-Weglarz, 2007, p. 1480) e liberação de colecistoquinina no duodeno (Damiani & Damiani, 2011, p. 140).

Aves em balanço energético positivo apresentam altos níveis de metabólitos circulantes, tais como ácidos graxos livres, aminoácidos e glicose, sendo este último considerado como o primeiro sinal químico ligado diretamente ao centro do metabolismo energético. A produção e ação da insulina, glucagon e hormônio tireoidiano (T3), os quais são os principais hormônios atuantes na regulação do metabolismo energético são diretamente dependentes do balanço na quantidade e presença destes metabólitos na corrente sanguínea.

A insulina e o T3 induzem a expressão de genes relacionados à lipogênese, enquanto o glucagon inibe esta ação por meio de enzimas, ocasionando assim, constantes mudanças no metabolismo do tecido adiposo, que associado ao fígado é responsável pela expressão do gene da leptina, que por sua vez atua no centro de saciedade da ave. Da mesma forma, baixos níveis de metabólitos livres levam à via metabólica lipolítica, baixando os níveis de leptina e estimulando o apetite das aves (Richards, 2003, p. 909; Richards & Proszkoiec-Weglarz, 2007, p. 1483). Ao prorrogar o tempo de absorção dos nutrientes pode-se produzir estímulo contínuo aos receptores do trato gastrintestinal mediado pela ação de hormônios como a colecistoquinina e peptídeo 1 semelhante ao glucagon (Brand-Miller et al., 2002, p. 2835).

O hormônio colecistoquinina (CCK) atua via receptor CCK-A no trato gastrintestinal, aumentando a secreção pancreática, além de sinalizar a saciedade, principalmente pela presença de lipídeos e proteínas. Assim, somando-se com o atendimento das exigências energéticas atua sobre o centro de saciedade e concomitantemente sobre o consumo da dieta (Damiani & Damiani, 2011, p. 140).

Ao mesmo tempo, alguns ingredientes utilizados nas formulações podem conter substâncias denominadas como fatores antinutricionais que incluem fitatos, os quais indisponibilizam minerais e os PNAs que aumentam a viscosidade intestinal, reduzindo o valor

nutricional do alimento pela menor biodisponibilidade de nutrientes.

Deve-se levar em consideração que a energia metabolizável é afetada direta e positivamente pela composição do alimento em amido, gordura e proteína e negativamente pelos carboidratos estruturais, grupo no qual se encaixam os PNAs (Conte et al., 2003, p. 1148).

POLISSACARÍDEOS NÃO AMILÁCEOS (PNAS)

Os PNAs ou fibras dietéticas são componentes da parede celular dos alimentos de origem vegetal e são caracterizados por macromoléculas de polímeros de açúcares simples (monossacarídeos), podendo ser arabinosilanos, dextrina, celulose, inulina, lignina, quitinas, pectinas, betaglucanos e outros carboidratos com ligações betaglicosídicas, compreendendo mais de 90% da parede celular das plantas (Choct, 1997, p. 13).

Devido ao tipo de ligações entre as unidades de açúcares, os PNAs apresentam resistência à hidrólise no trato digestivo com baixo aproveitamento desses carboidratos pela ave que, por sua vez, não possui capacidade enzimática para digerir essas estruturas (Brito et al., 2008, p. 111). Os efeitos negativos são mais evidenciados durante as três primeiras semanas de idade da ave, uma vez que apresentam baixa atividade enzimática, pelo fato de o sistema digestório não estar completamente maduro, ocasionando significativa redução da metabolizabilidade da energia

De acordo com a solubilidade, os PNAs podem ser classificados como insolúveis (celuloses, ligninas e algumas hemiceluloses) e solúveis (pectinas, gomas e hemiceluloses – arabinosilanos, β -glucanos, D-xilanos, D-mananos, xiloglucanos, etc.) (Choct, 1997, p. 13) sendo esse último grupo o mais crítico quando se refere à nutrição de aves e seus efeitos fisiológicos e morfológicos sobre o sistema digestório das aves.

Por sua vez, Choct (1997, p. 14) classificaram os PNAs em três grandes grupos, composto pela celulose (insolúvel em água, álcali ou ácidos diluídos) e dois grupos parcialmente solúveis em água: polímeros não celulolíticos (arabinosilanos, β -glucanos de ligações mistas, mananos, galactanos e xiloglucanos) e polissacarídeos pécticos (ácido poligalacturônicos, arabinanos, galactanos e arabinogalactanos).

Os constituintes pertencentes aos PNAs solúveis possuem capacidade de interação com o glicocálix da borda em escova intestinal, ocasionando aumento da espessura da camada de água na mucosa (Angkanaporn et al., 1994, p. 403). Dessa forma, o aumento da viscosidade da digesta atua como barreira física para a ação de enzimas digestivas, prejudicando a digestão e absorção de aminoácidos, minerais, carboidratos e outros nutrientes. Entre os animais não ruminantes, as aves são as mais prejudicadas pelas frações solúveis de β -glucanos e arabinosilanos e seus efeitos na digesta. A maior viscosidade no trato intestinal acarreta maior excreção com alto teor de umidade, aumentando a incidência de cama úmida e produção elevada de amônia, além do maior custo de produção pelas perdas de nutrientes (Conte et al., 2003,

Assim como PNAs solúveis, os insolúveis podem aumentar a viscosidade da digesta quando ingeridos em alta quantidade, no entanto, em menor intensidade. Devido ao estímulo da fibra insolúvel na mucosa intestinal, a taxa de passagem é reduzida, porém com redução do tempo de ação enzimática sobre a digesta e menor metabolizabilidade dos nutrientes, além da redução energética do alimento e aumento no consumo como método de compensação da baixa densidade da dieta (Hetland et al., 2004, p. 419).

A maior parte das rações formuladas para frangos de corte no Brasil são baseadas em produtos de origem vegetal, principalmente o milho e o farelo de soja. Existe grande variação nos teores de PNAs totais desses ingredientes conforme o cultivar, fatores genéticos e ambientais variando de 8,10 a 9,70% e 10,3 a 30,30% no milho e farelo de soja, respectivamente (Malathi & Devegowda, 2001, p. 303; Ruiz et al., 2008, p. 459), de modo que, cerca de 400 a 450 Kcal/kg de energia podem não ser aproveitados quando as aves são alimentadas com estes ingredientes (Cowieson et al., 2010, p. 251).

Os arabinosilanos são encontrados em maior quantidade (5,35%) nos grãos de milho, além de 0,10% de β -glucanos, 3,12% de celulose e 1% de pectina, sendo que no farelo de soja predominam polímeros complexos, com 4,21% de arabinosilanos, 5,15% de celulose e 6,16% de pectina (Malathi & Devegowda, 2001, p. 303).

No entanto, apesar do milho e o farelo de soja apresentarem boa metabolizabilidade, os efeitos antinutricionais ocasionados pelos PNAs podem ser amenizados com o uso de enzimas exógenas como xilanase, arabinosilanas, β -glucanase e celulase, melhorando o desempenho animal (Onderci et al., 2006, p. 509; Selle et al., 2010, p. 56).

XILANASE

A xilana é o segundo polissacarídeo encontrado em maior quantidade na natureza por ser um dos principais constituintes das hemiceluloses em muitas espécies vegetais. É localizada na parede celular secundária das plantas, entre a molécula de lignina e as fibras da celulose, formada por resíduos de β -xilopiranosose ligadas por pontes glicosídicas β -1,4 (Lee et al., 2009, p. 33).

A xilanase é amplamente encontrada na natureza e produzidas por bactérias, fungos, protozoários, algas, entre outros (Tabela III), destacando-se os fungos filamentosos dos gêneros *Aspergillus* e *Trichoderma* os quais são considerados os maiores produtores (Fengxia et al., 2008, p. 8077; Lee et al., 2009, p. 34). Entre as bactérias destacam-se as espécies de *Lactobacillus* e *Bacillus subtilis* (Juturu & Wu, 2011, p. 1223) e as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia pastoris* (Ahmed et al., 2009, p. 27).

As xilanases (endo- β -1,4-xilanases) são enzimas que reduzem a viscosidade da digesta pela despolimerização das ligações β (1 \rightarrow 4) glicosídicas das xilanas, reduzindo-as em componentes celulares de menor peso molecular, promovendo o maior contato das enzimas endógenas com os nutrientes do conteúdo celular vegetal (Fengxia et al., 2008, p. 8076). No entanto,

Tabela III. Microrganismos utilizados para a obtenção de xilanases (Microorganisms used to obtain xylanases).

Microrganismos	Condições de cultivo	
	pH	Temperatura (°C)
Bactérias		
<i>Acidobacterium capsulatum</i>	5,0	65
<i>Bacillus circulans</i> WL-12	5,5-7,0	-
<i>Bacillus stearothermophilus</i> T-6	6,5	55
<i>Bacillus polymyxa</i> CECT 153	6,5	50
<i>Bacillus</i> sp. strain K-1	5,5	60
<i>Bacillus</i> sp. NG-27	7,0-8,4	70
<i>Cellulomonas fimi</i>	5,0-6,5	40-45
<i>Cellulomonas</i> sp. N.C.I.M. 2353	6,5	55
<i>Staphylococcus</i> sp. SG-13	7,5-9,2	50
<i>Thermoanaerobacterium</i> sp. JW/SL-YS485	6,2	80
<i>Thermotoga maritima</i> MSB8	5,4-6,2	92-105
Fungos		
<i>Aspergillus niger</i> ANL-301	5,5	45
<i>Aspergillus kawachii</i> IFO 4308	2,0-5,5	50-60
<i>Aspergillus sojae</i>	5,0-5,5	60
<i>Aspergillus sydowii</i> MG 49	5,5	60
<i>Cephalosporium</i> sp.	8,0	40
<i>Fusarium oxysporum</i>	6,0	60,5
<i>Geotrichum candidum</i>	4,0	50
<i>Penicillium purpurogenum</i>	7,3-7,5	60,5
<i>Thermomyces lanuginosus</i> DSM 5826	7,0	60,7
<i>Trichoderma harzianum</i>	5,0	50
<i>Trichoderma reesei</i>	5,0-5,5	45,5

Adaptado de Goswami & Pathak (2013, p. 443).

estima-se que a xilanase pode degradar somente até 25% das xilanas presente na hemicelulose (Onysko, 1993, p. 185).

Apesar da relativa degradação dos PNAs, a inclusão das xilanases nas dietas apresenta a capacidade de aumentar a metabolizabilidade das proteínas e do amido dos ingredientes o que pode ser favorecido pela ampla tolerância à variação de pH que as xilanases oriundas de fungos possuem, como por exemplo, o *Trichoderma reesei*, atuante em pH de 3,5 a 6,5. Essa ampla tolerância permite à xilanase atuar em uma porção extensa do trato gastrintestinal (Costa et al., 2004, p. 64; Le et al., 2013, p. 443).

Atualmente, as xilanases estão sendo amplamente empregadas na produção de hidrolisados de resíduos agroindustriais, processamento de alimentos, aumento da metabolizabilidade das dietas para não ruminantes, entre outros usos (Lee et al., 2009, p. 36). Estudos recentes demonstraram que as xilanases podem ser utilizadas para obtenção de xilooligossacarídeos (XOS), os quais podem atuar como prebióticos (Lafond et al., 2011, p. 2; Barreto et al., 2015, p. 830), com capacidade de estimulação do crescimento e atividade de microrganismos benéficos no trato digestório de frangos de corte (Liu & Kim, 2016, p. 5), com resultados positivos sobre a metabolizabilidade dos nutrientes e desem-

penho das aves (Singh et al., 2012, p. 198; Masey-o Neill et al., 2014, p. 354).

Por muitos anos, o estudo da xilanase foi voltado para dietas baseadas em grãos viscosos pela alta concentração de substrato que possuem. Foi constatada que a utilização dessa enzima é capaz de aumentar a metabolizabilidade da energia e dos nutrientes dietéticos, devido à melhora na morfometria intestinal e ao menor gasto energético para a renovação de tecidos e a energia destinada para o crescimento muscular (Yang et al., 2008, p. 1662; Souza et al., 2014, p. 245).

Ao avaliar a inclusão de xilanase (400 BXU/kg) em dietas para frangos de corte contendo trigo e reduzidas em 150 Kcal/kg de energia metabolizável para obtenção de 2.850 Kcal/kg, Nian et al. (2011, p. 403) relataram que a conversão alimentar melhorou em 4,3% em relação à aves alimentadas com dietas sem enzimas, além aumentar a metabolizabilidade ileal do nitrogênio e da hemicelulose e reduzir a concentração de coliformes no intestino das aves.

A redução da viscosidade pela xilanase pode acelerar a velocidade de esvaziamento do trato gastrintestinal, reduzindo a fermentação intestinal inibindo o crescimento de microrganismos anaeróbicos e, conseqüentemente, reduzindo a incidência de doenças

intestinais (Nian et al. 2011, p. 404), além de diminuir a necessidade de migração de células imunológicas para o intestino, otimizando assim o desempenho (Guo et al., 2014, p. 100).

A melhora na eficiência energética ao utilizar xilanase em dietas de frangos de corte formuladas com farelo de trigo também foi constatada por Wang et al. (2005, p. 878), em que a inclusão da enzima diminuiu a secreção de proteínas endógenas e ácidos graxos, melhorando o desempenho dos frangos principalmente na fase de crescimento com a utilização de 2.480 BXU/kg da enzima. Ao reduzir a viscosidade da digesta no trato digestório, a xilanase também reduz a quantidade de lipídios a serem englobados juntamente com outros nutrientes que seriam eliminados do organismo (Choct, 1997, p. 18; Conte et al., 2003, p. 1154; Sakomura et al., 2014).

A redução da gordura abdominal observada em frangos evidencia os benefícios da suplementação de carboidrases sobre a energia metabolizável dos alimentos, uma vez que há maior disponibilização de nutrientes por estas enzimas para a síntese muscular, sem a necessidade da utilização de aminoácidos para o fornecimento de energia (Montanhini Neto et al., 2012, p. 513).

O ganho de peso, a altura de vilo, proporção vilo:cripta do duodeno, jejuno e íleo e o número de *Lactobacillus* no intestino de frangos durante a fase de crescimento aumentaram linearmente quando os frangos foram alimentados com níveis crescentes de xilanase (1.875, 3.750 e 5.625 BXU/kg) em dieta contendo trigo. Além disso, Gao et al. (2008, p. 178) também relataram redução linear da conversão alimentar, excreção de amônia e na contagem ileal e cecal de *E. coli*.

Embora o teor de PNAs do milho e farelo de soja sejam bem menores que os apresentados em outros grãos como o trigo, estudos demonstraram que a inclusão da xilanase em dietas contendo esses ingredientes podem ter sua metabolizabilidade melhorada. Como o observado com o uso de 8.000 BXU/kg de β -xilanase em dietas contendo milho e farelo de soja para frangos com 25 dias de idade, em que a metabolizabilidade ileal da energia melhorou em 100 Kcal (Cowieson et al., 2010, p. 251).

Além disso, a utilização de complexos enzimáticos que incluem a xilanase, podem melhorar em aproximadamente 2 e 9% a energia metabolizável do milho e farelo de soja, respectivamente (Souza et al., 2008, p. 587), além de melhorar a metabolizabilidade da proteína de 3,3 até 7,1 % (Novak et al., 2008, p. 29; Li et al., 2010, p. 583), com reflexos diretos sobre o ganho de peso e eficiência alimentar das aves (Yu & Chung, 2004, p. 180; Jia et al., 2009, p. 136).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação de enzimas exógenas nas dietas avícolas possibilita a redução de fatores antinutricionais e melhora o desempenho das aves. Em especial, a fitase e xilanase isoladamente são enzimas com alto poder de redução de fitatos e polissacarídeos não amiláceos, respectivamente. Porém, quando associadas

atuam de forma sinérgica no aumento da metabolizabilidade dos nutrientes, possibilitando redução nos níveis de energias, fósforo, cálcio e sódio nas formulações sem alterar o desempenho dos frangos em relação à aves alimentadas com dieta convencional. No entanto, há necessidade de mais estudos com a finalidade de estabelecer uma matriz nutricional para essa associação enzimática.

BIBLIOGRAFIA

- Ahmed, S, Riaz, S, & Jamil, A 2009, 'Molecular cloning of fungal xylanases: an overview', *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 84, no.1, pp.19-35.
- Angkanaporn, K, Choct, M, Bryden, WL, Annison, EF, & Annison, G 1994, 'Effects of wheat pentosans on endogenous amino acid losses in chickens', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 66, no. 3, pp.399-404.
- Araujo, JA, Silva, JHV, Amâncio, ALL, Lima, MR, & Lima, CB 2007, 'Uso de aditivos na alimentação de aves', *Acta Veterinaria Basílica*, vol. 1, no. 3, pp. 69-77.
- Augsburger, NI, Webel, DM, Lei, XG, & Baker DH 2003. 'Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs', *Journal Animal Science*, vol. 81, no. 2, pp.474-483.
- Barbosa, FJV, Lopes, JB, Figuerêdo, AV, Abreu, LMT, Dourado, LRB, Farias, LA, & Pires, JEP 2008, 'Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 37, no. 5, pp. 849-855.
- Barbosa, NAA, Sakomura, NK, & Bonato, MA 2012, 'Enzimas exógenas em dietas de frangos de corte: desempenho', *Ciência Rural*, vol. 42, no. 8, pp.1497-1502.
- Barreto, AR, Zancan, LR, & Menezes, CR 2015, 'Obtenção de Xilooligosacarídeos por resíduos lignocelulósicos: alternativa para produção de compostos funcionais para alimentos', *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, vol. 19, no. 3, pp. 821-836.
- Bedford, MR, & Schulze, H 1998, 'Exogenous enzymes for pigs and poultry', *Nutrition Research Reviews*, vol. 11, no. 1, pp. 91-114.
- Bertechini, AG 2014, 'Exigências de minerais para aves, in NK Sakomura, JHV Silva, FGP Costa, JBK Fernandes, L Hauschild, *Nutrição de não ruminantes*, Funep, Jaboticabal pp. 375-388.
- Bertechini, AG 2012, '*Nutrição de monogástricos*', 2nd edn, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Brand-Miller, JC, Holt, Sha, Pawlak, DB, & McMillan, J 2002, 'Glycemic index and obesity', *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 76, no. 1, pp. 281-255.
- Brito, MS, Oliveira, CFS, Silva, TRG, Lima, RB, Morais, SN, & Silva, JHV 2008. 'Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de monogástricos - Revisão', *Acta Veterinaria Basílica*, vol.2, no.4, pp.111-117.
- Centeno, C, Viveros, A, Brenes, A, Canales, R, Lozano, A, & Cuadra, C 2001, 'Effect of several germination conditions on total P, phytate P, phytase, and acid phosphatase activities and inositol phosphate esters in rye and barley', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, no. 7, pp. 3208-3215.
- Choct, M 1997, 'Feed non-starch polysaccharides: Chemical strictures and nutritional significance', *Feed Milling International*, vol. no. pp. 13-26.
- Conte, AJ, Teixeira AS, Figueirêdo, AV, Vitti, DMSS, & Silva Filho, JC 2002, 'Efeito da fitase na biodisponibilidade do fósforo do farelo de arroz em frangos de corte', *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 37, no. 4, pp. 547-552.
- Conte, AJ, Teixeira, AS, Fialho, ET, Schoulten, NA, & Bertechini, AG 2003, 'Efeito da fitase e xilanase sobre o desempenho e as características ósseas de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de arroz', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 32, no. 5, pp. 1147-1156.
- Costa, FGP, Clementino, RH, Jácome, IMTD, Nascimento, GAJ, & Pereira, WE 2004, 'Utilização de um complexo multienzimático em dietas de frangos de corte', *Ciência Animal Brasileira*, vol. 5, no. 2, pp. 63-7.

- Cowieson, AJ, Acamovic, T, & Bedford, MR 2006, 'Phytic acid and phytase: implications for protein utilization by poultry', *Poultry Science*, vol. 85, no. 5, pp. 878-885.
- Cowieson, AJ, & Adeola, O 2005, 'Carbohydrases, protease and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks', *Poultry Science*, vol. 84, no. 12, pp. 1860-1867.
- Cowieson, AJ, Bedford, MR, & Ravindran, V 2010, 'Interactions between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers', *British Poultry Science*, vol. 51, no. 2, pp. 246-257.
- Cowieson, AJ, Bedford, MR, Ravindran, V, & Selle, PH 2011, 'Increased dietary sodium chloride concentrations reduce endogenous amino acid flow and influence the physiological response to the ingestion of phytic acid by broiler chickens', *British Poultry Science*, vol. 52, no. 5, pp. 613-624.
- Dairo, FAS, Adesehinwa, AOK, & Oluwasola, TA 2010, 'High and low dietary energy and protein levels for broiler chickens', *African Journal of Agricultural Research*, vol. 5, no. 15, pp. 2030-2038.
- Damiani, D, & Damiani, D 2011, 'Sinalização cerebral do apetite', *Revista Brasileira de Clínica Médica*, vol. 9, no. 2, pp. 138-145.
- De Lange, CFM, & Birkett, SH 2005, 'Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients', *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 85, pp. 269-280.
- Donato, DCZ, Albuquerque, R, Garcia, PDSR, & Balieiro, JCC 2011, 'Desempenho de frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes níveis de cálcio suplementadas com fitase', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. 10, pp. 2161-2166.
- Emmans, GC 1994, 'Effective energy: A concept of energy utilization applied across species', *British Journal Nutrition*, vol. 71, no. 6, pp. 801-821.
- Fengxia, L, Mei, L, Zhaoxin, L, Xiaomei, B, Haizhen, Z, & Yi, W 2008, 'Purification and characterization of xylanase from *Aspergillus ficuum* AF-98', *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 13, pp. 5938-5941.
- Freitas, ER, Sakomura, NK, Ezequiel, JMB, Neme, R, & Mendonça, MO 2006, 'Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte', *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 41, no. 1, pp. 107-115.
- Fukayama, EH, Sakomura, NK, Dourado, LRB, Neme, R, Fernandes, JBK, & Marcato, SM 2008, 'Efeito da suplementação de fitase sobre o desempenho e a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 37, no. 4, pp. 629-635.
- Gao, F, Jiang, Y, Zhou, GH, Han, & ZK 2008, 'The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 142, no. 1-2, pp. 173-184.
- Garcia, ERM, Murakami, AE, Branco, AF, Furlan, AC, & Moreira, I 2000, 'Efeito da suplementação enzimática em rações com farelo de soja e soja integral extrusada sobre a digestibilidade de nutrientes, o fluxo de nutrientes na digesta ileal e o desempenho de frangos', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 29, no. 5, pp. 1414-1426.
- Gomide, EM, Rodrigues, PB, Bertechini, AG, Freitas, RTF, Fassani, EJ, Reis, MP, Rodrigues, NEB, & Almeida, EC 2011, 'Rações com níveis reduzidos de proteína bruta, cálcio e fósforo com fitase e aminoácidos para frangos de corte', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. 11, pp. 2405-2414.
- Goswami, GK, & Pathak, RR 2013, 'Microbial xylanases and their biomedical applications: a review', *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, vol. 2, no. 3, pp. 237-246.
- Guo, S, Liu, D, Zhao, X, Li, C, & Guo, Y 2014, 'Xylanase supplementation of a wheat-based diet improved nutrient digestion and mRNA expression of intestinal nutrient transporters in broiler chickens infected with *Clostridium perfringens*', *Poultry Science*, vol. 93, no. 1, pp. 94-103.
- Hetland, H, Choct, M, & Svihus, B 2004, 'Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition', *World's Poultry Science Journal*, vol. 60, no. 4, pp. 415-422.
- Jia, W, Slominski, BA, Bruce, HL, Blank, G, Crow, G, & Jones, O 2009, 'Effects of diet type and enzyme addition on growth performance and gut health of broiler chickens during subclinical *Clostridium perfringens* challenge', *Poultry Science*, vol. 88, no. 1, pp. 132-140.
- Juturu, V, & Wu, JC 2011, 'Microbial xylanases: Engineering, production and industrial applications', *Biotechnology Advances*, vol. 30, no. 6, pp. 1219-1227.
- Lafond, M, Tauzin, A, Desseaux, V, Bonnin, E, Ajandouz, H, & Giardina, T 2011, 'GH10 xylanase D from *Penicillium funiculosum*: biochemical studies and xylooligosaccharide production', *Microbial Cell Factories*, vol. 10, no. 20, pp. 1-8.
- Laurentiz, AC, Junqueira, OM, Filardi, RS, Duarte, KF, Assuena, V, & Sgavioli, S 2009, 'Desempenho, composição da cama, das tíbias, do fígado e das excretas de frangos de corte alimentados com rações contendo fitase e baixos níveis de fósforo', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 38, no. 10, pp. 1938-1947.
- Lawrence, TLJ & Fowler, VR 2002, 'Growth of farm animals', 2nd edn, CAB International, Wallingford.
- Le, DM, Fojan, P, Azem, D, Pettersson, P, & Rangel, N 2013, 'Visualization of the anticaking effect of Ronozyme WX xylanase on wheat substrates', *Cereal Chemistry*, vol. 90, no. 5, pp. 439-444.
- Lee, JW, Park, JY, Kwon, M, & Choi, IG 2009, 'Purification and characterization of a thermostable xylanase from the brown-rot fungus *Laetiporus sulphureus*', *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 107, no. 1, pp. 33-37.
- Leite, JLB, Rodrigues, PB, Fialho, ET, Freitas, RTF, Nagata, AK, & Cantarelli, VS 2008, 'Efeito da peletização e adição de enzimas e vitaminas sobre o desempenho e aproveitamento da energia e nutrientes em frangos de corte de 1 a 21 dias de idade', *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, no. 4, pp. 1292-1298.
- Leis, GR, Albino, LFT, Silva, CR, Rostagno, HS, Gomes, PC, & Borsatto, CG 2010, 'Suplementação dietética de fitase sobre o metabolismo de nutrientes de frangos de corte', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 39, no. 8, pp. 1768-1773.
- Li, Y, Chen, X, Chen, Y, Li, Z, & Cao, Y 2010, 'Effects of β -mannanase expresses by *Pichia pastoris* in corn soybean meal diets on broiler performance, nutrient digestibility, energy utilization and immunoglobulin levels', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 159, no. 1, pp. 59-67.
- Lima, MR, Silva, JHV, Araujo, JA, Lima, CB, & Oliveira, ERA 2007, 'Enzimas exógenas na alimentação de aves', *Acta Veterinaria Brasileira*, vol. 1, no. 4, pp. 99-110.
- Liu, N, & Ru, YJ 2010, 'Effect of phytase and phytase on the ileal flows of endogenous minerals and amino acids for growing broiler chickens fed purified diets', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 156, no. 3-4, pp. 126-130.
- Liu, W, & Kim, I 2016, 'Effects of dietary xylanase supplementation on performance and functional digestive parameters in broilers fed wheat-based diets', *Poultry Science*, vol. 96, no. 3, pp. 556-573.
- Malathi, V, & Devegowda, G 2001, 'In vitro evaluation of nonstarch polysaccharide digestibility of feed ingredients by enzymes', *Poultry Science*, vol. 80, no. 3, pp. 302-305.
- Manangi, MK, Maharjan, P, & Coon, CN 2018, 'Effect of different concentrations of dietary P and Ca on plasma inorganic P and urinary P excretion using noncolostomized and colostomized broilers', *Poultry Science*, vol. 97, no. 2, pp. 522-530.
- Masey-o Neill, HV, Singh, M, & Cowieson, AJ 2014, 'Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat or maize-based diet', *British Poultry Science*, vol. 55, no. 3, pp. 351-359.
- Mello, HHC, Gomes, PC, Rostagno, HS, Albino, LFT, Souza, RM, & Calderano, AA 2009, 'Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 38, no. 5, pp. 863-868.
- Meneguetti, C, Bertechini, AG, Rodrigues, PB, Fassani, EJ, Brito, JAG, Reis, MP, & Garcia JR, AAP 2011, 'Altos níveis de fitase em rações para frangos de corte', *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 63, no. 3, pp. 624-632.

- Montanhini Neto, R, Ceccantini, ML, & Fernandes, JI 2012, 'Productive performance, intestinal morphology and carcass yield of broilers fed conventional and alternative diets containing commercial enzymatic complex', *International Journal of Poultry Science*, vol. 11, no. 8, pp. 505-516.
- Monteiro, VN, & Silva, RB, 'Aplicações industriais da biotecnologia enzimática', *Revista Processos químicos*, vol. 3, no. 5, pp. 9-23.
- Mullaney, EJ, & Ullah, AHJ 2003, 'The term phytase comprises several different classes of enzymes', *Biochemical and Biophysical Research Communications*, vol. 312, no. 1, pp. 179-184.
- Nascif, CCC, Gomes, PC, & Albino, LFT 2004, 'Determinação dos valores energéticos de alguns óleos e gorduras para pintos de corte machos e fêmeas aos 21 dias de idade', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 33, no. 2, pp. 375-385.
- Nelson, DL & Cox, MM 2014, 'Princípios de Bioquímica de Lehninger', 6 edn, Artmed, Porto Alegre.
- Nian, F, Guo, YM, Ru, YJ, Li, FD, & Péron, A 2011, 'Effect of exogenous xylanase supplementation on the performance, net energy and gut microflora of broiler chickens fed wheat-based diets', *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 24, no. 3, pp. 400-406.
- Novak, CL, Yakout, HM, & Remus, J 2008, 'Response to varying dietary energy and protein with or without enzyme supplementation on leghorn performance and economics. 2. Laying Period', *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 17, no. 1, pp. 17-33.
- NRC - National Research Council 1998, 'Nutrients requirements of swine', National Academic Press, Washington.
- Oliveira, MC, Gravena, RA, Marques, RH, Guandolini, GC, & Moraes, VMB 2008, 'Utilização de nutrientes em frangos alimentados com dietas suplementadas com fitase e níveis reduzidos de fósforo não-fítico', *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 60, no. 2, pp. 436-441.
- Olukosi, OA, Cowieson, AJ, & Adeola, O 2007, 'Age-related influence of a cocktail of xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in broilers', *Poultry Science*, vol. 86, no. 1, pp. 77-86.
- Olukosi, OA, Cowieson, AJ, & Adeola, O 2008, 'Energy utilization and growth performance of broilers receiving diets supplemented with enzymes containing carbohydrase or phytase activity individually or in combination', *British Journal of Nutrition*, vol. 99, no. 3, pp. 682-690.
- Onderci, M, Sahin, N, Sahin, K, Cikim, G, Aydin, A, Ozercan, I, & Aydin, S 2006, 'Efficacy of supplementation of alpha-amylase-producing bacterial culture on the performance, nutrient use, and gut morphology of broiler chickens fed a corn-based diet', *Poultry Science*, vol. 85, no. 3, pp. 505-510.
- Onyango, EM, Bedford, MR, & Adeola, O 2005, 'Phytase activity along the digestive tract of the broiler chick: a comparative study of an *Escherichia coli* derived and *Peniophora lycii* phytase', *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 85, no. 1, pp. 61-68.
- Onysko, KA 1993, 'Biological bleaching of chemical pulps: a review', *Biotechnology advances*, vol. 11, no. 2, pp. 179-198.
- Parra-Martín, JA, Albino, LFT, Rostagno, HS, Hannas, MI, Zamora-Jeréz, E 2015, 'Redução da exigência de fósforo disponível em dietas com adição de fitase para frangos de corte machos de oito aos 21 dias de idade', *Spei Domus*, vol. 11, no. 22, pp. 9-16.
- Pillai, PB, Connor-Dennie, TO, Owens, CM, & Emmert, JL 2006, 'Efficacy of an *Escherichia coli* phytase in broilers fed adequate or reduced phosphorus diets and its effect on carcass characteristics', *Poultry Science*, vol. 85, no. 10, pp. 1737-1745.
- Pinheiro, SRF, Sakomura, NK, Nascimento, DCN, Dourado, LRB, Fernandes, JBK, & Thomaz, MC 2011, 'Níveis nutricionais de fósforo disponível para aves de corte ISA Label criadas em semiconfinamento', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. 2, pp. 361-369.
- Qian, H, Kornegay, ET, & Denbow, DM 1997, 'Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium: total phosphorus ratio in broiler diets', *Poultry Science*, vol. 76, no. 5, pp. 37-46.
- Rahman, A, Pasha, TN, Younus, M 2014, 'Effect of multi-enzymes supplementation on growth performance of broiler', *Pakistan Journal of Zoology*, vol. 46, no. 2, pp. 417-422.
- Ravindran, V, Morel, P, Partridge, G, Hruby, M, & Sands, JS 2006, 'Influence of an *Escherichia coli*-derived phytase on nutrient utilization in broiler starters fed diets containing varying concentrations of phytic acid', *Poultry Science*, vol. 85, no. 1, pp. 82-89.
- Ravindran, V, Ravindran, G, Sivalogan, S 1994, 'Total and phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin', *Food Chemistry*, vol. 50, no. 2, pp. 133-136.
- Richards, MP 2003, 'Genetic regulation of feed intake and energy balance in poultry', *Poultry Science*, vol. 82, no. 6, pp. 907-916.
- Richards, MP, & Proszkowiec-Welglarz, M 2007, 'Mechanisms of regulating feed intake, energy expenditure, and body weight in poultry', *Poultry Science*, vol. 86, no. 7, pp. 1478 - 1490.
- Rostagno, HS, Albino, LFT, Donzele, JL, Gomes, PC, Oliveira, RF, Lopes, DC, Ferreira, AS, Barreto, SLT, & Euclides, RF 2011, 'Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais)', 2nd edn, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rostagno, HS, Albino, LFT, Donzele, JL, Gomes, PC, Oliveira, RF, Lopes, DC, Ferreira, AS, & Barreto, SLT 2005, 'Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais)', 3rd edn, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rostagno, HS, Albino, LFT, Hannas, MI, Donzele, JL, Sakomura, NK, Perazzo, FG, Saraiva, A, Abreu, MLT, Rodrigues, PB, Oliveira, RT, Barreto, SLT, & Brito, CO 2017, 'Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais)', 4 edn, Faculdade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ruiz, US, Thomaz, MC, Hannas, MI, Fraga, AL, Watanabe, PH, & Silva, SZ 2008, 'Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 37, no. 3, pp. 458-468.
- Runho, RC, Gomes, PC, Rostagno, HS, Albino, LFT, Lopes, PS, & Pozza, PC 2001, 'Exigência de Fósforo Disponível para Frangos de Corte Machos e Fêmeas de 1 a 21 Dias de Idade', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 30, no. 1, pp. 187-196, 2001.
- Santos, LM, Rodrigues, PB, Alvarenga, RR, Neves, LP, Hespanhol, R, Lima, GFR, Lara, MCC, & Silva, LR 2011, '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*, vol. 40, no. 11, pp. 2486-2495.
- Schoulten, NA, Teixeira, AS, Freitas, RTF, Bertechini, AG, Conte, AJ, & Silva, HO 2003, 'Níveis de cálcio em rações de frangos de corte na fase inicial suplementadas com fitase', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 32, no. 5, pp. 1190-1197.
- Schramm, VG, Durau, JF, Barrilli, LNE, Sorbara, JOB, Cowieson, AJ, Félix, AP, & Maiorka, A 2017, 'Interaction between xylanase and phytase on the digestibility of corn and a corn/soy diet for broiler chickens', *Poultry Science*, vol. 96, no. 5, pp. 1204-1211.
- Selle, PH, Cadogan, DJ, Ru, YJ, & Partridge, GG 2010, 'Impact of exogenous enzymes in sorghum - or wheat - based broiler diets on nutrient utilization and growth performance', *Journal of Poultry Science*, vol. 1, no. 9, pp. 53-58.
- Selle, PH, Walker, AR, & Bryden, WL 2003, 'Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 43, no. 5, pp. 475-479.
- Silva, MR, & Silva, MAAP 1999, 'Aspectos nutricionais de fitatos e taninos', *Revista de Nutrição*, vol. 12, no. 1, pp. 5-19.
- Singh, A, Masey O'Neill, HV, Ghosh, TK, Bedford, MR, & Haldar, S 2012, 'Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize-soybean based diets', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 177, no. 3-4, pp. 194-203.
- Sousa, JPL, Albino, LFT, Vaz, RGMV, Rodrigues, KF, Stringhini, JH, Knopp, RM, Kaneko, IN, & Kreuz, BS 2014, 'Balanços nutricionais e excreção

- de nutrientes para frangos alimentados com dietas contendo fitase do 14º ao 24º dias de idade', *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, vol. 15, no. 2, pp. 493-503, 2014.
- Souza, KMR, Faria, DE, Araújo, RB, Sakamoto, MI, Santos, TT, Kikuchi, CG, Nakashima, DT, & Caetano, VC 2014, 'Performance and morphometry of the intestinal mucosa of laying hens fed diets containing xylanase', *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 16, no. 3, pp. 241-247.
- Souza, RM, Bertechini, AG, Sousa, RV, Rodrigues, PB, Carvalho, JCC, & Brito, JAG 2008, 'Efeitos da suplementação enzimática e da forma física da ração sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte', *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, no. 2, pp. 584-590.
- Stefanello, C, Vieira, SL, Carvalho, PS, Sorbara, JOB, & Cowieson, AJ 2016, 'Energy and nutrient utilization of broiler chickens fed corn-soybean meal and corn-based diets supplemented with xylanase', *Poultry Science*, vol. 95, no. 8, pp. 1881-1887.
- Sturkie, PD 1986, '*Avian Physiology*', 4 edn, Springer-Verlag, New York.
- Sugahara, K 2003, 'Energy utilization of growing chicks in various nutritional conditions', *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 16, no. 6 pp. 903-909.
- Tejedor, AA, Albino, LFT, Rostagno, HS, & Vieites, FM 2001, 'Efeito da adição da enzima fitase sobre o desempenho e a digestibilidade ileal de nutrientes', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 30, no. 3, pp. 802-808.
- Underwood, EJ & Suttle, NF 1999, '*The mineral nutrition of livestock*', 3rd edn, British, Londres.
- Vats, P, & Banerjee, UC 2004, 'Production studies and catalytic properties of phytases (myo-inositolhexakisphosphate phosphohydrolases): an overview', *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 35, no. 1, pp. 3-14.
- Vieites, FM, Fraga, AL, Moraes, GHK, Vargas Júnior, JG, Nalon, RP, Corrêa, GSS, & Nunes, RV 2011, 'Cálcio, fósforo e proteína total no sangue de frangos de corte em função de níveis de balanço eletrolítico da ração', *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 63, no. 4, pp.887-894.
- Vohra, P, Gray GA, Kratzer, FH 1965, 'Phytic acid-metal complexes', *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, vol. 120, no. 2, pp. 447-449.
- Wang, ZR, Qiao, SY, Lu, WQ, & Li, DF 2005, 'Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology, and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat-based diets', *Poultry Science*, vol. 84, no. 6, pp. 875-881.
- Yang, Y, Iji, PA, Kocher, A, Mikkelsen, LL, & Choct, M 2008, 'Effects of xylanase on growth and gut development of broiler chickens given a wheat-based diet', *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 21, no. 11, pp. 1659-1664.
- Yu, B, & Chung, TK 2004, 'Effects of multiple-enzyme mixtures on growth performance of broilers fed corn-soybean meals diets', *Journal Applied Poultry Research*, vol. 13, no. 2, pp. 178-182.