

ADITIVOS ENZIMÁTICOS EM DIETAS DE SUÍNOS E AVES¹

INTRODUÇÃO

Segundo o decreto lei nº 76.986 de 06 de janeiro de 1976, atualmente em vigor, define-se como aditivo alimentar toda a substância intencionalmente adicionada ao alimento, com a finalidade de conservar, intensificar ou modificar as suas propriedades, desde que não prejudique o seu valor nutricional.

Os aditivos enzimáticos não possuem função nutricional direta, mas auxiliam o processo digestivo melhorando a digestibilidade dos nutrientes presentes na dieta.

Enzimas são proteínas globulares, de estrutura terciária ou quaternária (Figura 1), que agem como catalisadores biológicos, aumentando a velocidade das reações químicas no organismo, sem serem, elas próprias, alteradas neste processo (CHAMPE e HARVEY, 1989). São altamente específicas para os substratos e dirigem todos os eventos metabólicos. As enzimas digestivas têm um sítio ativo que permite que elas atuem na ruptura de uma determinada ligação química (PENZ JÚNIOR, 1998), sob condições favoráveis de temperatura, pH e umidade.

Esses aditivos alimentares têm sido incorporados aos alimentos dos animais com o propósito de melhorar o seu desempenho e, com isso, a sua rentabilidade. Até hoje, somente uma fração dos componentes das dietas animais são suplementados com estes aditivos. Esta situação deverá mudar rapidamente assim que o desenvolvimento de novas enzimas alimentares ou novas formas de aplicação desses produtos progredirem (COUSINS, 1999).

De acordo com a sua finalidade, as enzimas usadas em rações de suínos e aves podem se dividir em dois tipos: enzimas destinadas a complementar quantitativamente as próprias enzimas digestórias endógenas dos animais (proteases, amilases, fitases...) e enzimas que esses animais não podem sintetizar (β -glucanases, pentosanas e α -galactosidases).

¹ Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal (VET00036) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFRGS pelo aluno JOÃO DIONÍSIO HENN no primeiro semestre de 2002. Professor da disciplina: Félix H.D. González.

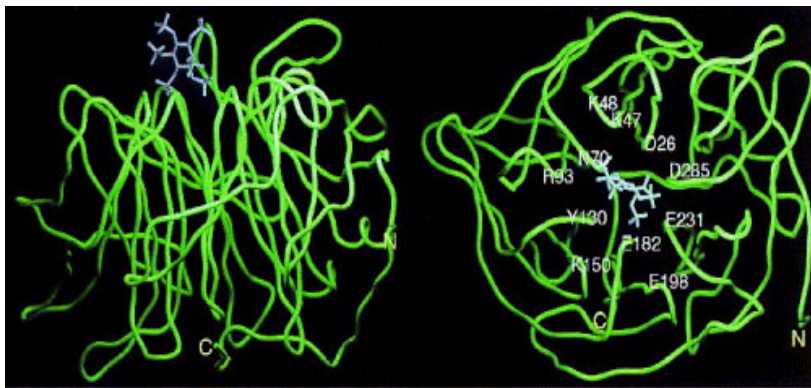


Figura 1: Modelo de uma enzima gerado por computador, ilustrando como resíduos de aminoácidos que são separados na estrutura primária se aproximam para formar sítios ativos nas estruturas terciária e quaternária.

Segundo GUENTER (2002), as principais metas da suplementação enzimática para aves e suínos são:

- remover ou destruir os fatores anti-nutricionais dos grãos;
- aumentar a digestibilidade total da ração;
- potencializar a ação das enzimas endógenas e;
- diminuir a poluição ambiental causada por nutrientes excretados nas fezes.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ENZIMAS

Substrato dependentes.

A secreção enzimática é ativada pela presença do substrato ao qual será responsável pela digestão. Cada enzima é, em algum grau, específica para certo substrato, apresentado estrutura espacial adequada para atuar neste substrato. Por exemplo, a quimiotripsina catalisa especificamente a hidrólise das ligações peptídicas, nas quais o grupo carbonila pertence a um resíduo de fenilalanina, tirosina ou triptofano.

Sítio ativo.

As moléculas de enzimas contêm uma fenda especial denominada sítio ativo, que contém aminoácidos cujas cadeias laterais criam uma superfície complementar ao substrato. Permite que as enzimas atuem na ruptura de uma determinada ligação química. O sítio ativo liga-se ao substrato, formando um complexo enzima-substrato que será convertido a enzima e produto, conforme pode ser visto na Figura 2.

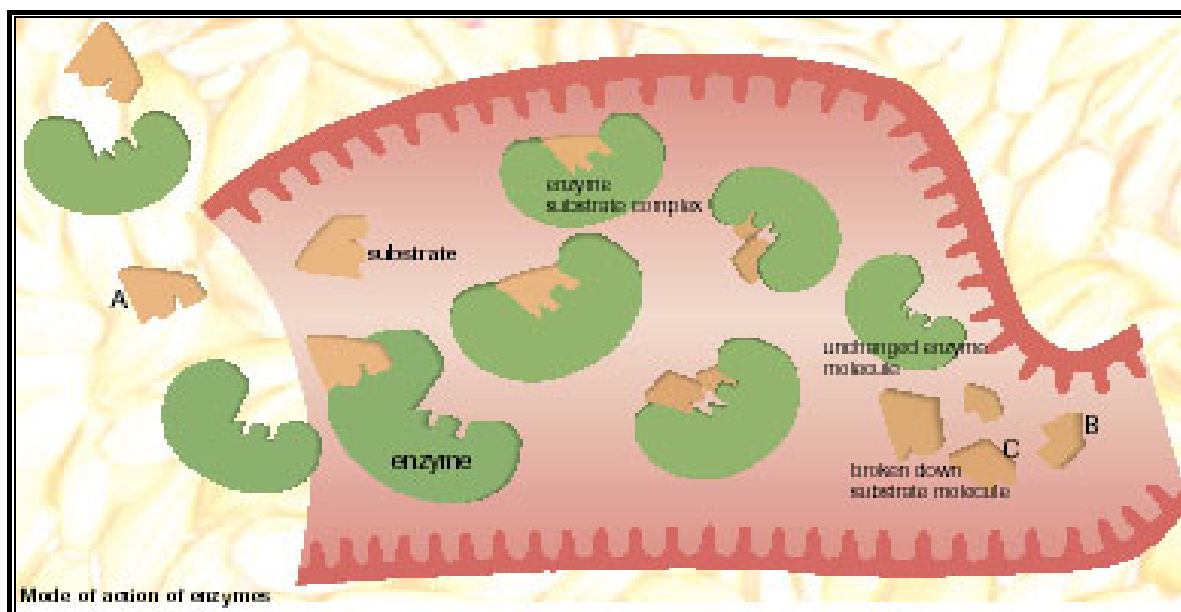


Figura 2: Ilustração do substrato, da enzima, do complexo enzima-substrato e do produto.

Temperatura.

Quando a temperatura aumenta, a velocidade da reação inicialmente aumenta em virtude da energia cinética aumentada das moléculas com o substrato. Em temperatura ótima, a velocidade de destruição da enzima pelo calor é equilibrada pelo aumento na reatividade enzima-substrato e a velocidade de reação é máxima. Temperaturas excessivas têm efeitos letais nas estruturas das enzimas. A peletização das dietas com temperaturas acima de 75°C desnatura as enzimas. Neste caso, deverão ser adicionadas à dieta após o processo de peletização.

As condições ambientais de estocagem das enzimas influenciam a estabilidade da fitase tanto pura, como no premix e na dieta. GÜNTHER(1996), mostrou que a fitase comercial estocada em um recipiente original fechado, em um ambiente seco e com temperatura menor que 20°C, a perda de atividade da fitase não excedeu 5% ao mês.

pH.

A concentração de H^+ afeta a velocidade das reações químicas. Extremos de pH podem levar a desnaturação da enzima. O pH ótimo varia para diferentes enzimas. Por exemplo, a pepsina digestiva do estômago, é ao máximo ativada em pH 2, enquanto que outras enzimas, destinadas a funcionar em pH neutro, são desnaturadas neste pH ácido, devendo ser protegidas ao passar pelo estômago.

Com relação à variação do pH no trato gastrointestinal, a acidificação da dieta com ácidos orgânicos e a capacidade tamponante da dieta influenciam a atividade da fitase, sendo que a adição de ácido orgânico diminui a atividade da fitase (KORNEGAY e YI, 1996).

Não são consumidas nas reações que catalisam.

Qualquer que seja o mecanismo catalítico de uma reação, uma vez que as moléculas de substrato tenham reagido, a enzima separa-se dos produtos, liberando a molécula de enzima para novas reações. Portanto, as enzimas não são consumidas nas reações que catalisam.

SECREÇÃO ENZIMÁTICA ENDÓGENA

Os suínos apresentam deficiência de certas enzimas nas primeiras semanas de idade (Figura 3), pois dispõem de um único substrato que é o leite. Em aleitamento, possuem a lactase como enzima fundamental para a digestão de açúcar, pois este é o glicídio disponível no leite. Na fase pós desmama (que poderá iniciar com 16 a 17 dias ou menos no desmame precoce ou 21 dias no desmame tradicional), dependendo do tipo de alimentação sólida que o animal recebeu durante a lactação (ração), ele poderá necessitar de alguns dias para ter as enzimas amilase, maltase e sacarase disponíveis em quantidades adequadas. Estas enzimas são responsáveis pela digestão do amido, e dos dissacarídeos maltose (glicose-glicose) e sacarose (glicose-frutose). O mesmo ocorre com a secreção de lipase e de protease, que também dependem dos substratos para a sua ativação.

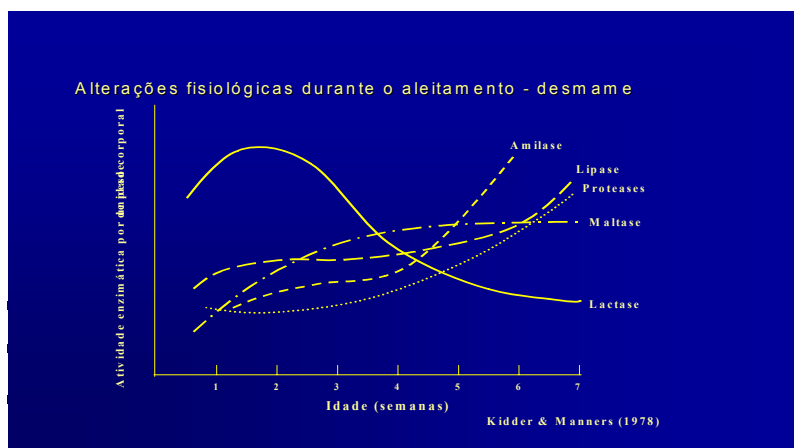


Figura 3: Enzimas endógenas dos leitões nas primeiras sete semanas de vida.

Na natureza o leitão consome leite até cerca dos 60 dias de idade, quando ocorrerá o desmame natural pela falta de leite da mãe. Nas criações industriais e intensivas, com o intuito de obter alta produtividade o desmame ocorre ainda com o leitão imaturo fisiologicamente, com produção muito pequena de enzimas, com exceção da lipase. Para contornar este problema, devem ser administradas dietas altamente digestíveis ou até pré-digeridas e a suplementação das dietas com enzimas exógenas, visto que nesta fase de vida do leitão a produção de enzimas é insuficiente.

No caso das aves, este fenômeno também ocorre. Os pintos ao eclodir não dispõem de enzimas que digerem os glicídios e os lipídios. Eles já dispõem de proteases, pois estas são ativadas por proteínas que entram no trato digestivo ainda durante a fase embrionária, confirmando o conceito de estímulo de secreção pelo substrato.

Existem, porém, enzimas que não são secretadas mesmo na presença de substrato. Entre elas estão a celulase, hemicelulase, xilanase, fitase e outras. Elas não são secretadas porque o código genético dos monogástricos não dispõe da indicação para sua síntese. Segundo Baldwin (1970) citado por PENZ JÚNIOR(1998), a lógica para um organismo ter em seu código genético a possibilidade da produção de determinada substância está relacionada com a real necessidade de produzi-la, seja porque o meio não a proporciona ou porque o substrato não está disponível para ser utilizado. No caso, esta teoria é questionada, pois os polissacarídeos não amídicos (PNA) e a fitina estão disponíveis em vários grãos ingeridos pelos não-ruminantes, que não produzem enzimas para digerir estes componentes vegetais.

A inclusão de enzimas digestivas exógenas nas dietas avícolas reduz a síntese de enzimas endógenas, em consequência, o organismo teria a disposição mais aminoácidos para a síntese protéica. Segundo Garcia (1997b) citado por ZANELLA et al. (1999), em situações normais, cerca de 25% das necessidades diárias de N podem ser destinadas para a síntese de enzimas endógenas. Os autores observaram que a tripsina, quimiotripsina, lipase e α -amilase, tiveram redução de 40% da secreção duodenal quando as dietas foram suplementadas com estas enzimas exógenas.

ZANELLA (1999) verificou em seu trabalho que a suplementação de amilase e protease na dieta à base de milho e soja para frangos de corte, reduziu a síntese destas enzimas endógenas em 23,4 e 35,5%, respectivamente.

Supõe-se que a secreção de enzimas pancreáticas seja afetada pela concentração de enzimas no intestino delgado e/ou substratos ou produtos de hidrólise.

POR QUE ADICIONAR ENZIMAS ÀS DIETAS?

Existem inúmeras justificativas para a adição de enzimas exógenas nas dietas de suínos e aves. Entre elas está a possibilidade de empregar ingredientes que possuem nutrientes pouco disponíveis aos animais (farelos de arroz e trigo, grãos de trigo, centeio, cevada e aveia), pelo fato dos animais não terem enzimas para a sua digestão. É o caso dos ingredientes ricos em PNA e em fósforo fítico.

Eliminar efeitos negativos de fatores anti-nutricionais (fatores anti-nutricionais são aqueles gerados em alimentos *in natura* pelo metabolismo normal da espécie da qual o material se origina e por mecanismos diferentes como decomposição ou inativação de alguns nutrientes, diminuição digestiva ou metabólica do alimento, exercendo efeitos contrários a nutrição adequada). Os fatores anti-nutricionais não são tóxicos para os animais, mas sua presença no alimento resulta em crescimento reduzido, conversão alimentar ruim, alterações hormonais e esporádicas lesões nos órgãos.

A poluição ambiental, pela excreção fecal de nitrogênio e fósforo, que pode ser maior ou menor dependendo da capacidade de utilização desses nutrientes pelo animal, que é diminuída com a adição de enzimas exógenas.

Produção industrial de enzimas.

A biotecnologia moderna possibilita a produção industrial de enzimas específicas para certas áreas de aplicação. Para utilização na nutrição animal, no final da década de 1980, a produção de enzimas atingiu escala comercial. Diversos tipos de fungos, bactérias e leveduras podem produzir enzimas, por meio de técnicas de recombinação de DNA e mutações.

A fitase industrial é obtida através da recombinação gênica dos fungos *Aspergillus niger* e *Aspergillus ficum*. O produto é um pó e apresenta-se misturado ao farelo de trigo, utilizado como veículo, que lhe dá a cor marrom claro. Apresenta uma atividade de 5000 unidades de fitase ativa (UFA/g).

A celulase é obtida através da extração da fermentação do *Trichoderma viride*. Tem atividade de 250 unidades de celulase ativa (UCA/g). Este produto também é um pó e é misturado ao amido de milho com corante amarelo.

Uma UFA é definida como uma quantidade de enzima que libera 1μmol de ortofosfato por minuto de uma solução a 0,0051 mol/l de fitato de sódio

($\text{C}_6\text{H}_6\text{Na}_{12}\text{O}_{24}\text{P}_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a uma temperatura de 37°C e pH 5,5. Já a UCA é definida como a quantidade de enzima que libera 1 μmol de glicose em uma solução com 5% (peso/volume) de celulose em uma hora a pH 5,0 e 37°C (duas horas de incubação).

Segundo ZANELLA (2001), existem 3 grupos de enzimas disponíveis no mercado: (1) enzimas para alimentos com baixa viscosidade (milho, sorgo e soja), (2) enzimas para alimentos de alta viscosidade (trigo, centeio, cevada, aveia, tritica e farelo de arroz) e (3) enzima para degradar o ácido fítico dos grãos vegetais.

Modo de ação das enzimas exógenas.

De acordo com SALANOVA (1996), os resultados de diversas pesquisas indicam que as enzimas exógenas apresentam 4 formas principais de atuação:

- provocando a ruptura das paredes celulares das fibras;
- reduzindo a viscosidade, devido à fibra solúvel, na digesta do intestino proximal;
- degradando as proteínas, por exemplo, do farelo de soja, reduzindo os efeitos dos fatores anti-nutricionais tais como os inibidores de protease, e tornando-os mais disponíveis ao animal;
- suplementando a produção de enzimas endógenas do animal, cuja ação é mais importante em animais jovens.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais enzimas utilizadas nas dietas de suínos e aves, os substratos que hidrolisam e os seus efeitos no mecanismo de digestão dos mesmos.

Tabela 1: Enzimas, substratos e efeitos das enzimas utilizadas em dietas para suínos e aves.

Enzima	Substrato	Efeitos
Xilanase	Arabinoxilanas	Redução da viscosidade da digesta.
Glucanases	β -glucanos	Redução da viscosidade da digesta. Menor umidade na cama.
Pectinases	Pectinas	Redução da viscosidade da digesta.
Celulases	Celulose	Degradação da celulose e liberação de nutrientes
Proteases	Proteínas	Suplementação das enzimas endógenas. Degradação mais eficiente de proteínas.
Amilases	Amido	Suplementação das enzimas endógenas. Degradação mais eficiente do amido.
Fitase	Ácido fítico	Melhora a utilização do fósforo dos vegetais. Remoção do ácido fítico.
Galactosidases	Galactosídios	Remoção de Galactosídios
Lipases	Lipídios e ácidos graxos	Melhora a utilização de gorduras animais e vegetais

Fitase.

A fitase é uma fosfatase que hidrolisa um ou mais grupos fosfato do fitato (KIES, 1996). Sabe-se que a maior parte do fósforo (P) contido nos ingredientes de origem vegetal (grãos), que são principais componentes das dietas de suínos e aves, está na forma de fitato. Por isso, considera-se que apenas 30% do P dos vegetais seja disponível para não-ruminantes (NRC, 1994). A indisponibilidade deve-se a quantidade de fósforo que está preso à molécula de ácido fítico (Figura 5), ou ácido mio-inositol hexafosfórico, ou simplesmente fitato. O fitato além de deixar indisponível o P, quelata cátions bivalentes como o Ca, Fe, Mg, Zn, Mn, Cu, etc., conforme pode ser verificado na figura 04, e interfere na absorção de aminoácidos e pode também inibir a atividade da tripsina e da pepsina. De acordo com COUSINS (1999), a interação entre fitatos e proteínas aparentemente se dá por uma ligação iônica que depende de condições de pH. Com pH baixo, o fitato forma ligações eletrostáticas com resíduos básicos como a arginina, lisina e histidina resultando num complexo insolúvel. Quando o pH se aproxima do ponto isoelétrico, a carga da proteína é neutra e ela não irá se ligar ao fitato.

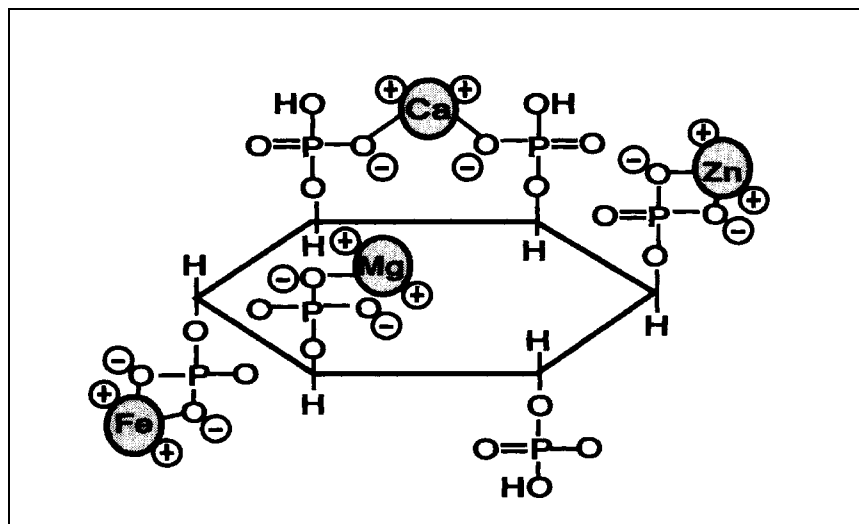


Figura 4: Esquema do ácido fítico quelatado com vários minerais bivalentes.

Os fitatos também são conhecidos por inibir várias enzimas digestivas endógenas, como a pepsina, amilase ou tripsina. Segundo COUSINS (1999), provavelmente estes efeitos são devido a natureza inespecífica dos complexos fitato-proteína ou a uma inibição devido ao efeito quelante dos íons Ca necessários para a atividade destas enzimas endógenas.

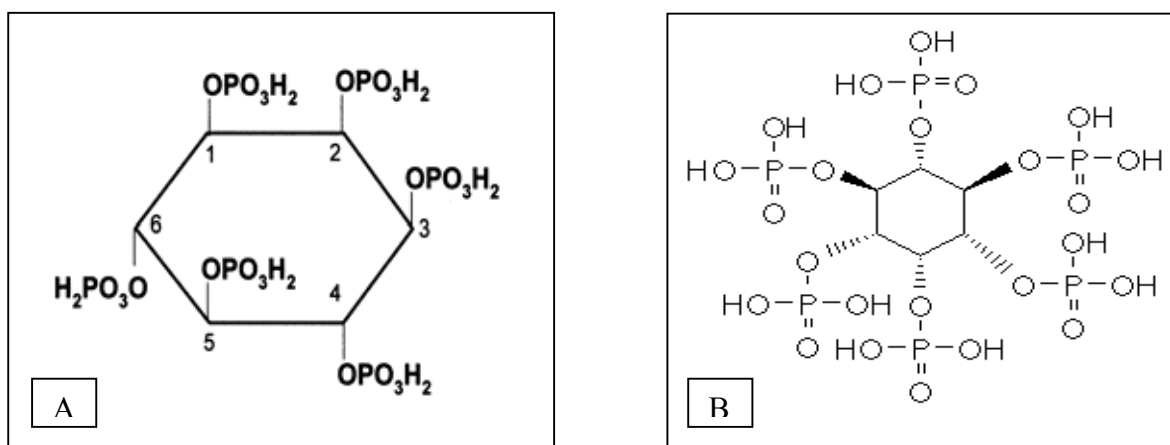


Figura 5: Estrutura do ácido fítico (A e B): mio-inositol 1,2,3,4,5 – hexafosfato ($\text{C}_6\text{H}_{18}\text{O}_{24}\text{P}_6$).

O modo de ação da enzima fitase consiste no mecanismo de transferência do grupo fosfato do substrato para a enzima e da enzima para a água. O fitato a ser hidrolisado produz 5 classes de produtos intermediários (mio-inositol penta, tetra, tri, bi e monofosfato e libera o fosfato inorgânico juntamente com o nutriente preso a sua estrutura para possível absorção (Figura 6).

Figure 3. Hydrolysis of phytic acid by microbial phytase (From Pallauf and Rimbach, 1996)

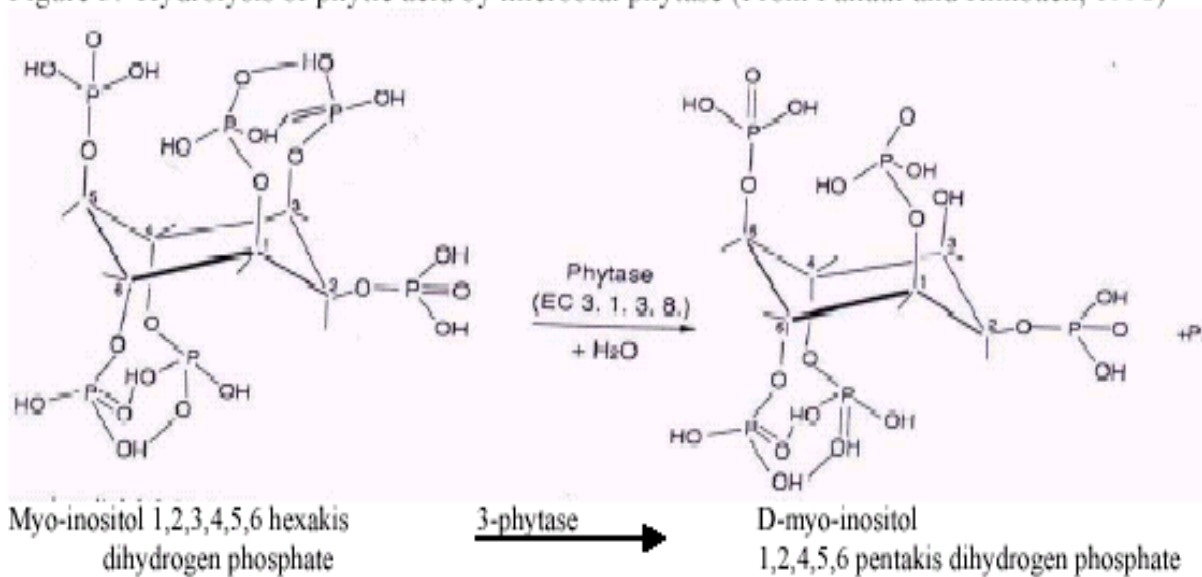


Figura 6: Esquema da hidrólise do ácido fítico pela enzima fitase

A ação da fitase começa na hidrólise do fosfato na posição 3, hidrolisa depois na posição 4, 5, 6 e depois na 1, enquanto o sexto grupo fosfato (na posição 2) não é hidrolisado pela fitase (KIES, 1996).

A absorção de fósforo é mais pronunciada no duodeno, por difusão ativa e passiva, na forma de fosfato inorgânico ou ortofosfato (PO_4^{-3}), embora alguns fosfolipídios também possam ser absorvidos.

As enzimas adicionadas ao alimento seco são ativadas no trato digestivo quando são misturadas aos fluidos digestivos e sob a temperatura do organismo (ROTTER, 1990). Sua ação máxima ocorre no estômago e porção inicial do intestino delgado, isto é, no duodeno (JONGBLOED et al., 1992).

Nos últimos anos, os nutricionistas têm trabalhado para estabelecer as exigências dos suínos em fósforo com base ao fósforo disponível. Entretanto, vários são os fatores que influenciam nos dados encontrados, como o estágio de maturação dos grãos, idade e estado

fisiológico dos animais. Existem dados na literatura (NRC, 1988) de valores estimados de disponibilidade biológica de fósforo em diferentes ingredientes (Tabela 2).

Tabela 2: Valores estimados de disponibilidade do fósforo de alguns ingredientes para suínos.

Ingredientes	Média (%)	Amplitude (%)
Fosfato bicálcico	100	–
Fosfato de rocha defluorinado	87	83 – 90
Trigo (grão)	50	40 – 56
Aveia	30	23 – 36
Sorgo (grão)	22	–
Farelo de soja	38	36 – 39
Farelo de trigo	35	–
Farelo de algodão	21	0 – 42
Milho (grão)	15	9 – 29

Trabalhando com suínos, CROMWELL et al. (1996) citados por PENZ et al. (1999), avaliaram a eficiência da adição de fitase (1250 UFA/Kg) em dois experimentos de digestibilidade, com níveis de fósforo total das dietas subestimados. Conforme dados apresentados na Tabela 3, a redução do fósforo total com a inclusão de fitase reduziu a excreção fecal, urinária e total de fósforo, sem interferência na retenção do mineral. Os autores observaram significativa redução total de fósforo excretado nas duas fases estudadas e um aumento da eficiência de retenção de fósforo. Na fase de crescimento a enzima promoveu um aumento na eficiência de retenção de 50% e na fase de terminação de 72%.

Tabela 3. Efeito da fitase no aproveitamento do fósforo da dieta de suínos.

Parâmetros		Experimento 1		Experimento 2	
		34 kg peso corporal		115 kg peso corporal	
		0,6% P	0,4% P + Fitase	0,5% P	0,3% P + Fitase
Consumo de P	g/d	9,5	6,7	15,3	9,1
P nas fezes	g/d	4,5	2,7	8,3	4,2
P na urina	g/d	1,6	0,4	2,7	0,5
P excretado	g/d	6,1	3,1	11,0	4,7
Retenção de P	g/d	3,4	3,6	4,3	4,4
Retenção de P	%	35,8	53,7	28,1	48,4

Adaptado de CROMWELL et al. (1996).

Complexos multienzimáticos.

Os suínos secretam enzimas capazes de degradar as ligações α -1,4 e α -1,6 ambas da glicose do amido, como também as ligações α -1,2 entre frutose e glicose da sacarose,

ligações β -1,4 entre glicose e galactose na lactose e as ligações α -1,1 de glicose na trealose.

No entanto, os suínos e as aves não degradam os polissacarídeos não-amiláceos (PNA) com a mesma facilidade que o amido. Os PNA são polímeros de açúcares simples, devido à natureza das cadeias de ligações das unidades de açúcares, são resistentes à hidrólise no trato gastrointestinal dos animais não-ruminantes. Os PNA fazem parte da parede celular e consistem principalmente de pentose, rafinose, estaquiose e sacarose, encontradas nas sementes de oleaginosas, β -glucanos que se encontram em altas concentrações na cevada e aveia e pentosanas como as arabinoxilanas, que são encontradas no trigo, no triticle e no centeio. As sementes de oleaginosas, como a soja e a canola, os grãos de cereais com os seus respectivos subprodutos, tais como o trigo, cevada, aveia, centeio, triticle, farelos de arroz e de trigo, apresentam em sua composição bromatológica, constituintes que os animais não-ruminantes não digerem ou sua digestão é incompleta, como os PNA.

As principais enzimas para a degradação dos PNA são as xilanases, celulasas e as glucanases, que não são sintetizadas pelos não-ruminantes. De acordo com Bedford (1996) citado por ZANELLA (2001), as aves são capazes de produzir certas enzimas digestivas, como a amilase para digerir o amido e as proteases para digerir as proteínas, porém não produzem as enzimas necessárias para degradar a fibra, presente na maioria dos alimentos. A fibra dificulta a digestão, impedindo que as enzimas digestivas endógenas atinjam o substrato alvo dos alimentos.

Segundo Breners (1992) citado por ZANELLA (2001), os β -glucanos e as pentosanas presentes nos grãos não são digeridos pelas aves, porém se tornam solúveis, durante o processo de digestão, produzindo aumento da viscosidade intestinal do quimo intestinal.

Nestas dietas de alta viscosidade, as enzimas adicionadas atuam reduzindo a viscosidade da digesta, degradando os complexos e fibras solúveis responsáveis em causar a viscosidade. Ocorrerá otimização da digestão dos nutrientes, diminuição no consumo de água, o no índice de umidade da cama. Também, mediante a decomposição da fibra presente nas paredes celulares pela adição de enzimas, facilita o acesso das enzimas endógenas aos nutrientes encapsulados dentro destas paredes ricas em fibra. A diminuição da viscosidade ocorre devido a degradação das arabinoxilanas solúveis das paredes celulares dos grãos, otimizando assim a digestibilidade de todos os nutrientes. Para dietas a

base de cereais de alta viscosidade como cevada, centeio, trigo e triticale, geralmente os complexos enzimáticos são compostos por carboidrases (glucanases, amilases, xilanases, arabinoxilanases, celulasas e hemicelulasas) (ZANELLA, 2001).

Para dietas de baixa viscosidade (milho, sorgo e soja), estão sendo pesquisadas enzimas para sua adição (amilase, protease, lipase e xilanase), visto que são os ingredientes mais utilizados nas condições brasileiras de produção animal e podem ter a digestibilidade melhorada. SALANOVA (1996) cita que estas enzimas já estão no mercado com resultados iniciais promissores, sendo que a adição destas enzimas poderá se tornar uma prática rotineira e com boa relação custo/benefício, como é o caso com dietas baseadas em trigo e cevada.

É importante ressaltar que nem sempre a suplementação de enzimas digestivas proporciona resposta positiva. Para uma enzima atuar, se faz necessário ter o substrato específico na dieta, dosagem correta de enzimas, capacidade das enzimas em ultrapassar barreiras encontradas no estômago, como o pH baixo e a ação das enzimas proteolíticas como a pepsina, a temperatura à qual a ração é submetida durante o processo de peletização.

As enzimas digestivas exógenas atuam da mesma forma que as endógenas, apresentando sítio ativo com a capacidade de atuar sobre um substrato específico, hidrolizando-o. Esta ação catalítica é específica e é determinada pelas estruturas primária, secundária, terciária e quaternária das enzimas, sendo que qualquer alteração na estabilidade das enzimas provoca uma alteração na sua estrutura e isto poderá provocar a perda de sua capacidade catalítica (PENZ JÚNIOR, 1998).

Poluição ambiental.

De acordo com SCHWARZ (1994), suínos e aves excretam mais da metade do fósforo e do nitrogênio consumido pelas suas dietas, conforme a Tabela 4.

Um melhor aproveitamento do fósforo e do nitrogênio contidos na dieta representa menor excreção destes nutrientes pelas fezes e urina. Isso representa menor poluição ambiental, pois o fósforo e o nitrogênio são dois nutrientes limitantes para o crescimento das algas e, quando estes nutrientes alcançam os mananciais hídricos, provocam o aceleramento da eutroficação e com isso, a poluição da água. Este fato é especialmente importante para regiões com grandes concentrações de criatórios de suínos e aves.

Tabela 4: Proporção de nitrogênio e de fósforo consumidos e excretados nas fezes.

Espécie Animal	Taxa de Excreta (% do consumo)	
	N	P
Frangos de corte	57	57
Poedeiras	67	85
Suínos em crescimento e terminação	71	67
Porcas em lactação (excluindo os leitões)	81	84
Leitões (até 25 kg PV)	55	58

Schwarz(1994).

A morte e a deteriorização destas algas diminui a quantidade de oxigênio na água, dificultando ou impedindo a vida neste ambiente. O nitrogênio pode-se transformar em nitrato, nitrito e amônia, que representam as principais substâncias poluentes do ar e das águas. Para amenizar este problema, estratégias nutricionais como formular dietas com base em nutrientes digestíveis (proteína ideal), alimentos processados, diminuir margens de segurança e utilizar enzimas exógenas são pertinentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O efeito das enzimas exógenas é influenciado pela concentração de seu substrato na dieta, pela categoria animal e estado fisiológico e pela concentração da enzima.

- O uso de enzimas exógenas permite a utilização de alimentos alternativos, possivelmente mais baratos, e ingredientes com alto conteúdo de PNA solúveis, além de aumentar a digestibilidade da energia por liberar nutrientes ricos em energia contidos junto à fibra.

- As enzimas digestivas exógenas atuam da mesma forma que as endógenas, apresentando sítio ativo com a capacidade de atuar sobre um substrato específico, hidrolizando-o.

- A ação catalítica das enzimas é específica e determinada pelas estruturas primária, secundária, terciária e quaternária das enzimas, sendo que qualquer alteração na estabilidade das enzimas provoca uma alteração na sua estrutura e isto poderá provocar a perda de sua capacidade catalítica.

- A fitase é efetiva para liberar o fósforo contido no fitato. Além de liberar cátions bivalentes e aminoácidos presos ao fitato, melhora a atividade da tripsina e pepsina e contribui para a conservação ambiental, que terá grande influência na produção animal do futuro.

- A inclusão de enzimas digestivas exógenas nas dietas avícolas reduz a síntese de enzimas exógenas, sobrando mais aminoácidos para a síntese protéica.

- Os resultados de pesquisa com enzimas são, na sua maioria, contraditórios, mas mostrando resultados biologicamente favoráveis, sendo o seu emprego não dependente da sua ação e sim da relação custo/benefício que proporcionarão.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BADWIN, E. 1970. *Comparative Biochemistry*. Cambridge University Press. Fourth Edition.
- CHAMPE, P.C.; HARVEY, R.A. Enzimas. In: *Bioquímica Ilustrada*, 2. ed. São Paulo: Artes médicas, 1989. 446 p. p. 53-66.
- CONTE, A. J.; TEIXEIRA, A S.; FIGUEIREDO, A V.; et al. Efeito da fitase na biodisponibilidade do fósforo do farelo de arroz em frangos de corte. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília, v. 37, n. 4, p. 537-552, abril de 2002.
- COUSINS, B. Enzimas na nutrição de aves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV-EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1. 1999, Concórdia, SC. *Anais...* Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. 129 P. P. 115-129.
- CROMWELL, G.L.; COFFEY, R.D.; MONEGUE, H.J. et al. 1995. Efficacy of low activity, microbial phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.*, 73: 449-456.
- FIREMAN, F.A.T.; FIREMANN, A.K.B.A.T. Enzimas na alimentação de suínos. *Ciência Rural*, v.28, n.1, p.173-178, 1998.
- FURLAN, A.C.; FRAIHA, M.; MURAKAMI, E. et al., 1997. Utilização de complexo enzimático em dietas de frangos de corte com triticales. 1. ensaio de digestibilidade. *Rev. Bras. Zootec.* 26 (4): 759-764, 1997.
- GUENTER, W. Practical experience with the use of enzymes. Capturado em 20 de maio de 2002. Online. Disponível na Internet <http://www.idrc.ca/books/focus/821/chp6.html>.
- KIES, A K. Phytase: mode of action. In: Coelho, M.C.; Kornegay, E.T. *Phytase in Animal Nutrition and Waste Management*: BASF Reference Manual 1996. New Jersey: BASF, 1996. p.205-212.
- LUDKE, M. C. M. M.; LOPEZ, J.; BRUM, P. A R.; LUDKE, J. V. Efeito da fitase sobre a disponibilidade do nitrogênio e energia para suínos em crescimento. Online, disponível na Internet: [www.sbz.org.br/eventos/Porto Alegre/homepages/Nut%5cnut090.htm](http://www.sbz.org.br/eventos/PortoAlegre/homepages/Nut%5cnut090.htm). Capturado em 01/07/2002.
- MORGAN, A.J.; GRAHAN, H.; BERFPRD, M.R. Xylanases improves wheart and rye diets by reducing chick viscosity. In: ENZYMES IN ANIMAL NUTRITION SYMPOSIUM, 1993. Kartuase Ittingen, *Procceding...Zurich*, p.73-78,1993.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Washington, USA). *Nutrient Requeriments of Poultry*. 9. ed. Washington: National Academy, 1994. 155p.
- PENZ JÚNIOR, A.M. Enzimas em rações para aves e suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1998, Botucatu-SP. P. 165-178.

- PENZ JÚNIOR, A.M.; MEINERZ, C.E.T.; MAGRO, N. Efeito da nutrição na quantidade e na qualidade dos dejetos de suínos. *Anais dos Simpósios e Wokshops. XXXVI REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*. Porto Alegre/RS, 343p. p.281-294, 1999.
- ROTTER, B.A. . The future of crude enzyme supplements in pig nutrition. *Pig News Information*. v. 11, n. 1, p. 15-17, 1990.
- SEBASTIAN, S.; TOUCHBURN, S.P.; CHAVEZ, E.R.; LAGUE, P.C. 1996. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper, and zinc in broiler chickens fed corn-soybeans diets. *Poultry Science*, 75 (2): 729-736.
- SALANOVA, M. S. The use of enzymes to improve the nutritional value of corn-soy diets for poultry and swine. In.: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES. Campinas, 1996. *Proceeedings...*Campinas:CBNA, p.-13.
- ZANELLA, I.; SOKOMURA, J. A.; PIZAURO, K.Z. et al. Efeito da adição de enzimas exógenas na dieta sobre a atividade enzimática da amilase e tripsina pancreática em frangos de corte. *Anais...CONFERÊNCIA APINCO 99 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS*, 92 p. p.45, São Paulo/SP, 1999.
- ZANELLA, I. Suplementação enzimática em dietas avícolas. *Anais...PRÉ-SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO ANIMAL*, Santa Maria/RS, 69p. p.37-49, 2001.