

FABIANA MIUKI HIGA ABE

**SUPLEMENTAÇÃO DE CARBOIDRASES E FITASE EM DIETAS PARA LEITÕES
EM FASE DE CRECHE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Orientador: Paulo Henrique Reis Furtado Campos

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A138s
2021 Abe, Fabiana Miuki Higa, 1983-
Avaliação da inclusão de carboidrases e superdoses de
fitase nas dietas de leitões em fase de creche / Fabiana Miuki
Higa Abe. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (45 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Orientador: Paulo Henrique Reis Furtado Campos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Zootecnia, 2021.

Referências bibliográficas: f. 29-32.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.044>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Suínos - Nutrição. 2. Enzimas na nutrição animal.
3. Fósforo na nutrição animal. I. Campos, Paulo Henrique Reis
Furtado, 1984-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 636.40852

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

FABIANA MIUKI HIGA ABE

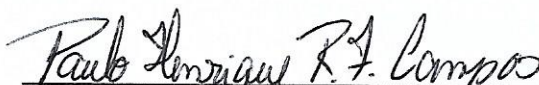
**AVALIAÇÃO DA INCLUSÃO DE CARBOIDRASES E SUPERDOSES DE FITASE
NAS DIETAS DE LEITÕES EM FASE DE CRECHE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 10 de novembro de 2021.

Assentimento:


Fabiana Miuki Higa Abe
Autora


Paulo Henrique Reis Furtado Campos
Orientador

Dedico este trabalho a minha família pelo incentivo e colaboração para que eu pudesse concluir mais uma etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força e saúde para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a ampliar meus conhecimentos

Ao meu orientador Paulo Henrique Reis Furtado Campos por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram meu aprendizado.

Aos meus colegas de trabalho e a empresa pela confiança.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço em especial ao professor Gabriel Cipriano Rocha por todo seu empenho, mesmo com o risco em uma pandemia, fez com que este trabalho fosse concluído.

Muito Obrigada.

RESUMO

ABE, Fabiana Miuki Higa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2021. **Avaliação da inclusão de carboidrases e superdoses de fitase nas dietas de leitões em fase de creche.** Orientador: Paulo Henrique Reis Furtado Campos.

O estudo foi realizado para avaliar o efeito da inclusão de carboidrases e suplementação de fitase em dietas para leitões na fase de creche sobre o desempenho e viabilidade econômica das estratégias nutricionais. Foram utilizados 320 leitões, machos castrados e fêmeas, com peso inicial de $4,8 \pm 0,7$ kg. O delineamento experimental para disposição dos tratamentos foi o de blocos ao acaso, de acordo com o peso inicial dos animais, com 5 tratamentos (dietas experimentais), 8 repetições e 8 animais por unidade experimental representada pela baia. O período experimental foi dividido em três: pré-inicial – dos 20 aos 30 dias; inicial 1 – dos 31 aos 40 dias; e inicial 2 – dos 41 aos 61 dias de idade dos leitões. Em cada fase, as dietas experimentais consistiram em T1, dieta controle sem adição de enzimas exógenas; T2, dieta controle negativo com desvalorização de 0,14% de P disponível, 0,14% de Ca e 90 kcal de EM; T3, dieta T2 suplementada com 500 FTU de fitase e 100 g de carboidrase; T4, dieta T2 suplementada com 1000 FTU de fitase e 100 g de carboidrase; T5, dieta T2 suplementada com 1500 FTU de fitase e 100 g de carboidrase. Durante cada fase, foi avaliado o consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA). Os dados de desempenho foram analisados pelo modelo linear geral, via procedimento GLM do SAS, e as médias ajustadas foram comparadas pelo teste Tukey e os efeitos considerados significativos caso $P < 0,05$. A análise de viabilidade econômica foi realizada através da determinação do custo de ração em R\$/kg de peso vivo ganho e o cálculo do índice de eficiência econômica. Na fase pré-inicial, a desvalorização de P, Ca e EM do T2 resultou na redução no GPD e piora na CA ($p < 0,01$) se comparado ao T1, T3, T4 e T5. Na fase inicial I, animais T1 tiveram CRD superior aos animais T2 e similar aos tratamentos T3 a T5. Também, animais do grupo T1 tiveram GPD superior e melhor CA quando comparados aos tratamentos T2 ao T5. Na fase inicial II, o CRD não foi influenciado pelos tratamentos. Animais do grupo T1 tiveram CPD superior aos demais tratamentos (T2-T5) e melhor CA em relação aos tratamentos T2 e T3. Considerando o período total de avaliação, o CRD não foi influenciado pelos

tratamentos. No entanto, animais T1 tiveram CRD superior aos animais T2 e similar aos tratamentos T3 a T5, e melhor CA quando comparados aos tratamentos T2 ao T5. Em termos de viabilidade econômica, o T1 obteve o melhor resultado quando comparado aos tratamentos T2 e T3. As dietas com inclusão de enzimas obtiveram melhores resultados em comparação a dieta desvalorizada sem enzimas. No entanto, a super dose de fitase não foi suficiente para promover a liberação de P e Ca necessários para melhorar o desempenho dos animais.

Palavras-chave: Aditivos. Enzimas. Fósforo fítico. Nutrição. Suínos.

ABSTRACT

ABE, Fabiana Miuki Higa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November 2021. **Evaluation of the inclusion of carbohydrases and phytase overdoses in the diets of piglets.** Advisor: Paulo Henrique Reis Furtado Campos.

The effect of including carbohydrates and phytase supplementation in diets for piglets on the performance and economic viability of nutritional strategies was evaluated. 320 piglets, castrated males and females, with initial weight of 4.8 ± 0.7 kg were used. A randomized block experimental design was used, according to the initial weight of the animals, with 5 treatments (experimental diets), 8 replicates and 8 animals per experimental unit represented by the pen. The experimental period was divided into three: pre-initial – from 20 to 30 days; initial 1 – from 31 to 40 days; and initial 2 – from 41 to 61 days of age for piglets. In each phase, the experimental diets consisted of T1, control diet (without addition of exogenous enzymes); T2, negative control diet with devaluation of 0.14% of available P, 0.14% of Ca and 90 kcal of EM; T3, T2 diet supplemented with 500 FTU phytase and 100 g carbohydrase; T4, T2 diet supplemented with 1000 FTU of phytase and 100 g of carbohydrase; T5, T2 diet supplemented with 1500 FTU phytase and 100 g carbohydrase. Daily feed intake (DFI), daily weight gain (DWG) and feed conversion (FC) were measured. The performance data were analyzed by the general linear model, via the SAS GLM procedure, and the adjusted means were compared by the Tukey test and the effects considered significant if $P < 0.05$. The economic viability analysis was determined by the cost of feed in R\$/kg of live weight gained and the calculation of the economic efficiency index. In the pre-initial phase, the devaluation of P, Ca and EM in T2 resulted in a reduction in DWG and worsening in FC ($p < 0.01$) when compared to T1, T3, T4 and T5. In initial phase 1, T1 animals had higher DFI than T2 animals and similar to treatments T3 to T5. Also, animals from the T1 group had higher DWG and better FC when compared to treatments T2 to T5. In initial phase 2, DFI was not influenced by treatments. Animals in group T1 had higher DWG than the other treatments (T2-T5) and better FC compared to treatments T2 and T3. Considering the total evaluation period, the DFI was not influenced by the treatments. However, T1 animals had higher DFI than T2 animals and similar to treatments T3 to T5, and better FC when compared to treatments T2 to T5. In terms of economic viability, T1 had the best result when

compared to treatments T2 and T3. The enzyme-included diets had better results compared to the devalued diet without enzymes. However, the super dose of phytase was not enough to promote the release of P and Ca necessary to improve the animal's performance.

Keywords: Additives. Enzymes. Phytic Phosphorus. Nutrition. Pigs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Atividade enzimática em leitões nas primeiras semanas após desmame.	33
Figura 2. Estrutura do intestino delgado.....	34
Figura 3. Estrutura do ácido fítico	35
Figura 4. Liberação de fósforo de ácido fítico pela ação da fitase (Pedersen, 2007).	36

LISTAS DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição de fitato nos principais alimentos utilizados na nutrição de monogástrico.....37
- Tabela 2.** Características básicas de diferentes fitases.....38
- Tabela 3.** Composição em kg das rações experimentais fornecidas de 20 a 30 dias de idade.....39
- Tabela 4.** Composição em kg das rações experimentais fornecidas dos 31 a 40 dias de idade.....41
- Tabela 5.** Composição em kg das rações experimentais fornecidas de 41 a 61 dias de idade.....43
- Tabela 6.** Desempenho dos leitões recebendo 5 dietas diferentes em 3 fases (Pré-Inicial, Inicial 1 e Inicial 2) diferentes da vida dos leitões na creche.....44
- Tabela 7.** Custo por quilograma de ração (R\$/kg de ração), custo de ração por quilograma de peso vivo de ganho (R\$/kg de ganho) e índice de eficiência econômica (IEE%), nas fases Pré-Inicial, Inicial 1 e Inicial 2.....45

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
Características e adaptações fisiológicas do trato digestório do leitão desmamado..	13
Dietas para leitões e seus nutrientes: carboidratos, proteínas e fósforo.....	14
Enzimas na alimentação de animais jovens.....	15
CAPÍTULO 2.....	19
Introdução.....	20
Hipótese.....	21
Objetivo.....	21
Material e Métodos.....	22
Animais, dietas e desenho experimental.....	22
Período experimental, alojamento e manejo alimentar.....	22
Avaliação econômica.....	23
Análise estatística.....	24
Resultados.....	24
Discussão.....	25
Conclusão.....	27
Referência Bibliográfica.....	29
Anexos.....	33

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Características e adaptações fisiológicas do trato digestório do leitão desmamado

O desmame precoce tem sido caracterizado um período crítico no qual os leitões são expostos a diversos eventos estressores que incluem a separação da mãe, mistura com animais de diferentes leitegadas, alojamento em novo ambiente, disputas por hierarquia, e modificação brusca na composição da dieta. Nessa fase, ocorre a transição da alimentação líquida (leite materno) para a alimentação sólida, na qual o leitão passa a ser alimentado com uma ração rica em proteínas vegetais, amido e óleos (Le Dividich e Herpin, 1994). Assim, ocorre significativa alteração no perfil enzimático. Notadamente, verifica-se redução nos níveis de lactase e aumento das enzimas amilase, lipase e protease para digestão das dietas ricas em cereais (Figura 1). O aumento na síntese das proteases está associado à concentração e fonte de proteínas da ração ingerida. No caso da tripsina e da quimiotripsina, sabe-se que após o sexto dia de desmame a ingestão de ração proporciona aumento significativo de síntese e atividade enzimática (Makkink et al., 1994).

O intestino delgado é a maior parte do trato gastrointestinal e a principal região de absorção de nutrientes. A mucosa do intestino delgado e suas vilosidades têm como característica a alta capacidade e superfície de absorção de nutrientes e está em contato com o lúmen intestinal. Essas vilosidades são formadas pelos enterócitos que migram da base (cripta) para a zona alta em um processo de maturação e síntese contínuo (Figura 2). O suco entérico produzido na borda em escova das vilosidades é rico em enzimas e sua produção é estimulada pela alimentação, através do estímulo mecânico da mucosa.

De acordo com o criticidade do desmame, Hampson e Kidder (1986) reportaram redução da altura das vilosidades, aumento da profundidade das criptas e perda da atividade das enzimas intestinais em resposta ao desmame. A diminuição na altura das vilosidades resulta em menor estrutura de enterócitos e, conseqüentemente, menor quantidade de enzimas na borda em escova por vilosidade.

Por ser um período crítico, a dieta dos leitões após o desmame deve ser de fácil digestão e em equilíbrio com o potencial de desenvolvimento enzimático dos

leitões. Assim, as dietas nas fases iniciais da creche possuem alta inclusão de lactose devido à alta concentração da enzima lactase (Ribeiro et. al., 2018). No entanto, com a inclusão de cereais, e aumento dos níveis de inclusão desses ao longo da fase de creche, o uso de tecnologias (enzimas) para melhoria da digestibilidade das dietas é importante alternativa para adaptação e do desempenho dos animais.

Dietas para leitões e seus nutrientes: carboidratos, proteínas e fósforo

A principal fonte energética na dieta de aves e suínos tem sido os carboidratos. Eles se encontram na forma de polissacarídeos amiláceos e não amiláceos. Os polissacarídeos não amiláceos (PNA's) celulose, hemicelulose, pectinas e ligninas possuem ligações beta (β) que os animais monogástricos têm pouca capacidade de digerir. A saber, os PNA's aumentam a viscosidade da ingesta, o que dificulta a ação das enzimas endógenas. Assim, devido maior passagem de substrato pode ocorrer aumento do processo de fermentação no intestino com consequente liberação de ácidos graxos voláteis (Ribeiro, 2018). Carboidratos de baixa digestibilidade na dieta de leitões aumentam a viscosidade intestinal com efeitos negativos na digestibilidade de outros ingredientes na dieta. Tal fato deve-se a uma inaccessibilidade das enzimas endógenas ao substrato (Choct, 2001).

O farelo de soja, tem sido a principal fonte proteica na ração de suínos e apresenta baixa digestibilidade quando utilizado em dietas de leitões recém-desmamados. O farelo de soja possui proteínas antigênicas responsáveis por reações de hipersensibilidade no trato gastrointestinal dos leitões, o que limita sua inclusão desse nas dietas de leitões nas fases pré-iniciais (Bertol et al, 2001). Assim, nas primeiras semanas pós-desmame, as dietas devem ser formuladas com fontes proteicas de alta digestibilidade e palatabilidade para aumento do consumo alimentar pós-desmame, maximização do uso dos nutrientes e desempenho dos animais (Milani, 2021).

Os inibidores de proteases são encontrados com frequência em alimentos como a soja e são classificados em duas principais categorias: os de alto peso molecular e baixo peso molecular, como consequência esses inibidores de enzimas reduzem a digestão proteica dos alimentos e o ganho de peso dos animais. O pâncreas sofre uma sobrecarga devido a ação proteolíticas dessas enzimas, ele vai

continuar secretando mais enzimas que vão ser inibidas pelos fatores antitrípsicos e reduz a digestão em todos alimento presente do lúmen intestinal acarretando em uma hipertrofia do pâncreas (CHAMONE, et al 2010).

Por isso é de extrema importância que a soja passe por alguns processamentos que envolvam elevação da temperatura para reduzir o efeito dos fatores antinutricionais na soja, dentre eles podem-se citar a tostagem, micronização, extrusão e cozimento. A eficiência desses tratamentos está no tempo e intensidade de aquecimento, bem como sua associação com outras formas físico-químicas de tratamentos como umidade e pressão (LIMA et al., 2014).

O fósforo é um elemento de origem mineral amplamente encontrado nos alimentos de origem animal (Vieira, 2010). O fósforo é ingrediente essencial para o crescimento e desenvolvimento de animais de produção por fazer parte da estrutura óssea, participar no desenvolvimento de membranas e na diferenciação celular, transferência de energia na forma de ATP, além de atuar no controle do apetite e eficiência alimentar (Runho et al., 2001). O fósforo armazenado na forma de fitato nos ingredientes vegetais é de baixa biodisponibilidade para suínos e aves. O termo fitato refere-se ao sal misto de ácido fítico (myo-inositol hexafosfato) (Cruz, 2013; Quirrenbach et. al., 2009; Fernandes, 2014). A tabela 1 mostra o conteúdo de fitato em alguns alimentos.

Os animais monogástricos não apresentam enzima fitase suficiente, o que compromete a digestão do fitato e consequente disponibilização do P. Assim, uma estratégia para atender às exigências de P dos animais de produção, consiste na suplementação de fósforo inorgânico nas dietas. Também, segundo O'Dell e Debolland (1976), o fitato (hexafosfatado de mio-inositol) tende a se complexar com outros nutrientes, sendo caracterizado fator antinutricional. Ou seja, contribui para diminuição da biodisponibilidade de minerais e proteínas.

Por essa razão, o uso da enzima exógena fitase tornou-se muito frequente nas rações comerciais de animais monogástricos. Por meio do seu uso, os animais conseguem aproveitar o fósforo de origem fítica na dieta reduzindo a necessidade de suplementação de P inorgânico nas dietas. (Acamovic, 2001). A figura 3 mostra a estrutura química da molécula do fitato.

Enzimas na alimentação de animais jovens

As enzimas são proteínas de estrutura tridimensional classificadas de acordo com os substratos que atuam (Angel e Sorbara, 2014; Serafini, 2015). As amilases atuam nos carboidratos, a amilase nos amidos, a protease nas proteínas e a fitase no fitato (Campestrini, 2005).

A suplementação enzimática nas dietas dos animais de produção resultou na remoção/destruição dos fatores antinutricionais dos grãos, aumento da digestibilidade total da ração e eficiência alimentar, potencialização das enzimas endógenas e diminuição da poluição ambiental causada por nutrientes excretados nas fezes (Guenter, 2002).

As enzimas exógenas nas rações devem desempenhar seu efeito durante um curto período de tempo no trato gastrointestinal. Os processos digestivos podem afetar a eficácia das enzimas. Assim, torna-se essencial entender as características do trato gastrointestinal e as particularidades de cada enzima (Svihus, 2011). A saber, a passagem pelo trato digestivo dos suínos é mais lenta do que nas aves, com um tempo médio de retenção variando entre 32 e 85h (Freire et al., 2000; Partanen et al., 2007; Van Leeuwen e Jansman, 2007; Wilfart et al., 2007). O intestino delgado dos suínos é a parte mais relevante e efetiva quanto à ação das enzimas (Partanen et al., 2007; Van Leeuwen e Jansman, 2007; Wilfart et al., 2007).

A fitase, por ser uma enzima que atua na disponibilidade do fósforo, é importante tecnologia nutricional para diminuição da excreção do fitato e, conseqüentemente, da poluição ambiental por este nutriente. Vários autores verificaram a eficácia na degradação de diferentes proporções de fósforo fítico nos ingredientes de origem vegetal por meio do uso dessa enzima (Aureli, 2011; Batista, 2014). Pengu et al. (2017) reportou melhor aproveitamento do fósforo e diminuição da poluição ambiental utilizando a fitase como substituto parcial do fosfato bicálcico.

De acordo com Nascimento et al. (2018), uma unidade de fitase é definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de fosfato inorgânico por minuto, dentro das condições padrão (pH 5,5 e temperatura 37° C). É expressa em FTU ou U (unidade de fitase ativa). A tabela 2 mostra as características de algumas fitases. As fitases de maior relevância são classificadas quanto a sua origem, podendo ser fúngica ou bacteriana, ou quanto ao local onde fazem a primeira hidrólise na molécula de fitato (3-fitase, liberando o ortofosfato inorgânico inicialmente sobre o carbono 3 da molécula de fitato ou 6-Fitase, atuando inicialmente sobre o carbono 6

da molécula de fitato). As fitases derivadas da *E. coli* são mais resistentes à degradação proteolítica da pepsina comparada a outras fitases. Essa maior estabilidade à ação proteolítica é devido a fitase de *E. coli* apresentar maior valor de equivalência de fósforo, isto é, conseguem liberar maior quantidade de fósforo em relação à fitase fúngica (Adeola et al., 2004).

A capacidade de uma fitase em hidrolisar o fitato no trato digestório é determinada por suas propriedades enzimáticas. No que diz respeito à desfosforilação do fitato no trato gastrointestinal, é importante considerar o pH do estômago de suínos (Simon, Igbasan, 2002). Geralmente, os valores médios de pH estão entre 3,0 e 5,0 (Potkins et al., 1991; Baas e Thacker, 1996).

A fitase transfere o grupo fosfato do substrato para a enzima e depois para a água. Essa ruptura e a hidrólise acontecem no estômago e termina no início do intestino delgado do animal, onde ocorre a maior disponibilidade e aproveitamento dos nutrientes e minerais contidos nos alimentos de origem vegetal (Figura 4; Salanona, 1996; Ferlin, 2006). Dados mostram que 52% do inositol 6-fosfato é degradado no estômago do suíno e esse valor aumentou para 65% no íleo (Kemme et al., 2006). Ou seja, o estômago é o local mais importante para a degradação enzimática do fitato; (Kemme et al., 1998). A ação da fitase inicia com a hidrólise do fosfato na posição 3, seguida de hidrólise nas posições 4, 5, 6 e depois na posição 1, enquanto o sexto grupo fosfato, na posição 2, não é hidrolisado pela fitase (Kies, 1996).

Doses mais elevadas de fitase podem melhorar a disponibilidade de macro e microminerais, liberação dos cátions que estão ligados ao fitato e ainda aumentar a utilização de energia e aminoácidos (Selle e Ravindran, 2008).

Uma prática mais recente de superdosagem, aumentando dose de fitase até ≥ 1500 FTU / kg na ração, tem sido utilizada para melhorar desempenho do animal. Estudos mostraram que os produtos de degradação do fitato, IP5, IP4, IP3 e IP2 também podem ter efeitos antinutricionais no animal impedindo a digestibilidade de proteínas e minerais (Yu et al., 2012, Beeson et al., 2017, Lee et al., 2018).

A biodisponibilidade do fósforo varia de acordo com sua fonte e da quantidade de inclusão na ração, podendo influenciar na eficiência da enzima (Selle et al., 2010). Gama (2016), em uma dieta deficiente em Ca e P e suplementadas com uma superdose de fitase de 1000 FTU/kg de ração promoveu a liberação de P e Ca

necessários para atender às exigências de desempenho quando comparado com a ração controle.

As β -Glucanas são formadas por blocos de resíduos de glicose e a maioria das suas ligações estão na forma de β -(1-4), formando de 5 a 10 blocos e são responsáveis por aumentar a viscosidade do quimo no intestino. Também, ligações na forma de β -(1-3) impedem a liberação de alguns nutrientes no momento da digestão. (Hatfield, 1989; Zhng et., 2015). Devido a essas características, enzimas produzidas pelo organismo de animais monogástricos não conseguem fazer a digestão necessitando de enzimas exógenas na dieta (Krabbe; Lorandi, 2014).

As β -glucanases são enzimas que conseguem atuar em substratos que apresentam ligações β -(1-4) e β -(1-3). Essas enzimas são extraídas e purificadas da fermentação de fungos do tipo *Trichoderma* e geralmente estão associadas à enzima xilanase formando um complexo enzimático (Krabbe; Lorandi, 2014, Marques, 2007). A enzima β -glucanase contribui para a redução na viscosidade do alimento, sem modificar significativamente a digestibilidade do amido, nitrogênio e o desempenho dos leitões (Jensen et al. 1998). A hemicelulose contida nos carboidratos estruturais é constituída de xilose e arabinose. A xilose, em maior concentração, é composta por unidades de D-glicose 19 associadas por ligações xilopiranosídicas β (1-4) (Ferreira; Rodrigues; Alvesprado, 2013). Com essas ligações, as enzimas endógenas não têm a capacidade de fazer a digestão e com isso a viscosidade intestinal aumenta. (Bedford; Patridge, 2001).

Com isso, a enzima xilanase se torna relevante para ajudar na digestão. Elas são caracterizadas como carboidrases, obtidas através do metabolismo dos fungos *Aspergillus niger* e *Trichoderma longibrachiatum* (Ferreira; Rodrigues; Alvesprado, 2013). As xilanases quebram as ligações β (1-4), aumentam a disponibilidade das moléculas de glicose para absorção resultando em melhora do ganho de peso e conversão alimentar (Freitas, 2011). Conforme Schulze et al. (1995) e Bedford e Cowieson (2012) a presença de fibras na dieta resultam em perdas de nitrogênio e aminoácidos endógenos. As enzimas carboidrases melhoram a utilização destes nutrientes. No entanto, existe variabilidade nos resultados em virtude dos tipos de dietas, ingredientes, fatores antinutricionais e tipos de enzimas (Adeola e Cowieson, 2011).

CAPÍTULO 2

Introdução

A nutrição de leitões no período pós desmame possui como desafios o fornecimento de dietas com alta digestibilidade e de acordo com o perfil enzimático dos animais. Essas características propiciam uma melhor transição da dieta líquida (leite materno) para dieta sólida (ração), consumo alimentar, baixa incidência de diarreia e desempenho de acordo com o potencial genético dos animais. O uso de enzimas exógenas possibilita não apenas aumentar o aproveitamento dos ingredientes, reduzindo a quantidade de dejetos mas, também, melhorar o desempenho dos animais em especial na fase crítica após desmame, onde a produção de enzimas não está completamente desenvolvida (Oliveira, 2011).

O leite materno é rico em proteínas lácteas de alta digestibilidade e lactose como fonte de carboidratos. No período do desmame, as dietas dos leitões passam a ser secas e complexas com alta inclusão de fontes lácteas (soro de leite, lactose, leite integral) e fontes proteicas de alta digestibilidade (plasma, farinha de peixe). Essas dietas, por possuírem ingredientes de custo elevado, devem ter alta digestibilidade e aproveitamento máximo dos nutrientes pelos animais para evitar desperdícios e excreção de nutrientes no meio ambiente (Einecke et al., 2019).

Embora em pequenas quantidades, as dietas nas fases iniciais da creche possuem ingredientes como milho e soja que possuem em sua composição polissacarídeos não amiláceos (PNAs) e fitato, que interferem na digestão e absorção de nutrientes na dieta. O conteúdo de PNAs na parede celular vegetal, ao passar pelo sistema digestório, absorve água, formando um gel viscoso que dificulta a eficácia das enzimas endógenas. Sendo assim, as carboidrases têm proporcionado melhor aproveitamento de nutrientes. A enzima hidrolisa parcialmente os PNAs e produz substrato capaz de modular a atividade microbiana (Dadalt, 2015).

Assim como a enzima carboidrase, a enzima fitase tem demonstrado resultados satisfatórios no desempenho dos animais. Para atender as exigências nutricionais de fósforo na dieta, o mesmo deve ser liberado da molécula de fitato indisponibilizado nos ingredientes de origem vegetal. Os suínos não apresentam produção de fitase sendo necessário grande quantidade de fonte inorgânica de fósforo para atender as exigências nutricionais (Adeola & Cowieson, 2011).

A enzima fitase hidrolisa a molécula de fitato e aumenta a biodisponibilidade do fósforo nas rações de leitões liberando fósforo da molécula de fitato como fósforo inorgânico biodisponível diminuindo a inclusão de ingredientes na dieta de leitões.

Geralmente, a suplementação dietética de fitase exógena varia entre 250 e 1000 FTU/kg, no entanto acredita-se que doses maiores de fitase podem maximizar a disponibilização do fósforo da dieta (Walk et al., 2014). Há pouco tempo, considerava-se que uma dose de fitase de 500FTU/kg era suficiente para atingir a hidrólise de 70% de todo fitato, mas hoje, quando adicionadas em altas doses (1500FTU/kg ou 2000FTU/kg), o propósito é a quebra de 90% do fitato dietético (Hamdi et al., 2018). Além da maior liberação de fósforo, aminoácidos e outros minerais também podem ser liberados, como cálcio, o zinco, o manganês e o ferro, podendo melhorar o desempenho do animal (Bertechini, 2012).

Dessa forma, ao minimizar os efeitos dos fatores antinutricionais e promoverem a disponibilização de nutrientes, as enzimas podem contribuir para melhoria do desempenho de suínos recém-desmamados através dos benefícios no trato gastrointestinal, melhorando a digestibilidade de nutrientes.

Hipóteses

A suplementação de carboidrases e fitase (em superdoses ou não) em dietas para leitões recém-desmamados melhora a disponibilidade de nutrientes e energia das dietas.

A suplementação de níveis recomendados de carboidrases e níveis elevados de fitase em dietas para leitões permite a redução dos níveis de P, Ca e EM sem comprometimento significativo do desempenho dos animais.

Objetivo

Avaliar se a suplementação de fitase (em superdoses ou não) disponibilizaria 0,14% de cálcio e 0,14% de fósforo equivalente a dieta controle.

Avaliar se a inclusão de 560U de xilanase e 250U de β -glucanase aumentaria a digestibilidade dos ingredientes disponibilizando 90 Kcal aos animais.

Avaliar a viabilidade econômica do uso de enzimas na ração de leitões.

Material e Métodos

O experimento foi realizado de acordo com as normas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (Protocolo CEUAP-UFV nº 021/2020).

Animais, dietas e desenho experimental

O experimento foi conduzido no galpão creche da granja de suínos no Campo Experimental Vale do Piranga / EPAMIG, localizado no município de Oratórios – MG.

Foram utilizados 320 leitões híbridos comerciais (PIC), machos castrados e fêmeas, desmamados aos 20 dias de idade, com peso inicial de $4,8 \pm 0,7$, distribuídos em delineamento experimental de blocos ao acaso, composto por 5 dietas experimentais, 8 repetições e 8 animais por unidade experimental representada pela baia. Utilizou-se o peso inicial dos leitões como critério para formação dos blocos.

Período experimental, alojamento e manejo alimentar

O período experimental teve duração de 41 dias subdividido em três períodos, de acordo com o estágio de crescimento dos animais: período pré-inicial (20 a 30 dias de idade), período inicial 1 (31 a 40 dias de idade) e período inicial 2 (41 dias a 61 dias de idade). Os animais foram alojados em gaiolas metálicas suspensas (1,90 × 1,00 m), com piso e laterais telados, dotadas de campânulas com lâmpadas incandescentes, comedouros semiautomáticos e bebedouros tipo chupeta, localizadas em prédio de alvenaria com piso de concreto e teto de madeira rebaixado. A temperatura ambiente foi mantida dentro da zona de termoneutralidade durante o período experimental, por meio de campânulas de aquecimento e manejo de cortina.

As rações experimentais (Tabelas 3 a 5) foram formuladas para atender às exigências nutricionais dos animais, de acordo com cada fase de crescimento, com base nas recomendações da Kansas State University (1997). Para as relações dos aminoácidos com a lisina foi utilizado como referência as recomendações de Rostagno et al. (2017). As dietas experimentais foram:

T1 – Dieta controle sem adição de enzimas;

T2 – Dieta controle negativo com desvalorização de 0,14% de fósforo disponível, 0,14% de cálcio e 90 kcal de E.M.;

T3 – dieta T2 suplementada com 500 FTU, 560 U de xilanase e 250 U de β -glucanase;

T4 – dieta T2 suplementada com 1000 FTU, 560 U de xilanase e 250U de β -glucanase;

T5 – dieta T2 suplementada com 1500 FTU, 560U de xilanase e 250U de β -glucanase.

As dietas experimentais e água foram fornecidas à vontade durante todo período experimental. Os animais foram pesados aos 20 (início do experimento), 31, 41 e 61 (final do experimento) dias de idade, para mensuração de peso vivo (PV) e ganho de peso diário (GPD). A quantidade de ração fornecida bem como as sobras foram mensuradas para estimativa do consumo de ração diário (CRD) e conversão alimentar (CA) por período.

Avaliação econômica

A avaliação de viabilidade econômica foi realizada para cada fase, somente para os tratamentos T1, T2 e T3. Foram levantadas o custo da ração (em reais R\$) por quilograma de peso vivo ganho (Bellaver et al., 1985) e baseadas nos preços de matérias-primas da região de Viçosa/MG (Tabela 7) e os custos dos núcleos informados pelo fabricante (núcleo 1, núcleo 2, núcleo 3). Em seguida, foi calculado o Índice de Eficiência Econômica (IEE), conforme sugerido por Tavernari et al. (2009),

$$Y_i = (P_i * Q_i) / G_i$$

Onde:

Y_i = custo da ração por quilograma de peso vivo ganho no i-ésimo tratamento;

P_i = preço por quilograma da ração utilizada no i-ésimo tratamento;

Q_i = quantidade de ração consumida no i-ésimo tratamento;

G_i = ganho de peso do i-ésimo tratamento.

E o índice de eficiência econômica:

$$IEE = (M_{Ce} / C_{Tei}) * 100$$

Onde:

M_{Ce} = menor custo da ração por quilograma de ganho observado entre os tratamentos;

C_{Tei} = custo do tratamento i considerado.

Análise estatística

Os dados de desempenho foram analisados pelo modelo linear geral via procedimento GLM do SAS (SAS Institute Inc) considerando os efeitos fixos das dietas experimentais e dos blocos. As médias ajustadas foram comparadas pelo teste de Tukey e os efeitos considerados significativos caso $P < 0,05$.

Resultados

Os resultados obtidos para peso vivo dos leitões, ganho de peso diário, consumo de ração e conversão alimentar estão apresentados na tabela 6.

No início do experimento, os leitões foram pesados e distribuídos com peso vivo similar. Durante a fase pré-inicial (20 a 30 dias de idade) a desvalorização de P, Ca e EM das dietas não afetou o CRD dos animais. Entretanto, o GPD foi superior ($P < 0,01$) nos animais do T1 em relação aos demais tratamentos. O PV final foi maior ($P < 0,01$) para os animais do T1 em relação aos animais do T2. No período observado, os animais do T1 apresentaram melhor ($P < 0,01$) CA, enquanto animais do T2 tiveram pior CA dentre os diferentes tratamentos.

No período inicial I (30 – 40 d), animais que consumiram a ração T1 apresentaram CRD superior ($p < 0,01$) aos animais do tratamento T2, e similar em relação aos tratamentos T3, T4 e T5. Para os índices de GPD, CA e peso final animais T1 tiveram os melhores resultados quando comparados aos animais dos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Entre os tratamentos T3, T4 e T5, não houve diferença para as variáveis GPD e CA ($P > 0,10$).

Na fase inicial II (40 – 61d), não foi observado diferença ($P > 0,10$) no consumo de ração entre os tratamentos. No entanto, o GPD e PV dos animais T1 foram superiores ($P < 0,01$) quando comparado aos demais tratamentos. Para os mesmos índices de GPD e PV o resultado entre os tratamentos T3, T4 e T5 foi semelhante. Para CA dos animais que consumiram o T1 foi a menor, enquanto a do T2 foi a maior dentre os tratamentos estudados. Os demais tratamentos (T3, T4 e T5) apresentaram valores intermediários e não houveram diferenças entre eles.

Durante todo o período experimental (20-61 d), o desempenho dos animais que consumiram o T1 foi superior ($P < 0,05$) aos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Já os animais que consumiram o T2 obtiveram o pior desempenho. Os tratamentos T3, T4 e T5

tiveram resultados intermediários em comparação ao T1 e T2, porém resultados semelhantes entre eles.

O índice de eficiência econômica (IEE) mostrou melhores resultados no controle positivo (T1) em todas as fases (Pré-Inicial, Inicial 1 e Inicial 2). Na fase pré-inicial o IEE do T1 foi de 100% enquanto que no T2 foi de 46,67%, o T3 foi de 69,31%, o T4 foi de 65,94% e o T5 foi de 67,00%. Na fase inicial 1, o IEE do T1 foi de 100% enquanto que no T2 foi de 62,93%, o T3 foi de 83,95%, o T4 foi de 79,85% e o T5 foi de 77,95% e na fase inicial 2 o IEE do T1 foi de 100%, o resultado do T2 foi de 79,41%, o T3 foi de 96,18%, o T4 foi de 95,21% e o T5 foi de 94,5% (Tabela 7). Sendo assim, o controle negativo + complexo enzimático (T3) mostrou melhor IEE em comparação ao controle negativo (T2; Tabela 7).

Discussão

A dieta suplementada com o complexo enzimático não foi capaz de atingir o mesmo desempenho dos leitões que consumiram o tratamento 1, podendo sugerir que as desvalorizações nutricionais apontadas neste trabalho tenham sido superestimadas.

As variações nos resultados com a inclusão de enzimas dependem de muitos fatores como a fase animal e tipo de ingredientes da dieta. As dietas de leitões geralmente são de alta digestibilidade e pobres em ingredientes fibrosos, resultando em uma diminuição no substrato para as atividades das carboidrases.

Apesar de inúmeros estudos sobre a inclusão da fitase, poderiam ter mais estudos com valores superiores aos usuais que possam eliminar os fatores antinutricionais pela completa degradação do fitato solúvel da dieta e verificar o efeito de super dose da fitase sobre o desempenho dos animais. Atualmente, a maioria das granjas utilizam complexos enzimáticos na ração, pois é um conceito já bem definido. No entanto, segue uma discussão até quanto é possível aumentar a quantidade de enzimas para favorecer os animais.

O zinco (Zn) é um micromineral essencial para o organismo animal por ser um componente de proteínas, cofator enzimático e participar de diversos processos bioquímicos (Solomons, 2013). Em leitões é usual a utilização de zinco, na forma de

óxido de zinco (ZnO) em concentração de 2.000 a 3.000 mg/kg para o combate de diarreias e assim melhorar o desenvolvimento e ganho de peso (Hu et al., 2012).

Esses níveis de ZnO em dietas de leitões de até 15 kg pode comprometer a digestibilidade do cálcio e fósforo, recomendando um incremento de 4% a 9,5% nos níveis nutricionais destes minerais na dieta, ou a suplementação com fitase, que amenizaria o efeito (Blavi et al., 2017).

No presente trabalho, a adição de enzimas nas dietas que tiveram desvalorização dos níveis de Ca, P e EM permitiu melhoria do ganho de peso e conversão alimentar dos animais em relação desempenho dos animais que receberam a dieta desvalorizada sem adição de enzima (controle negativo). Esses resultados confirmam o papel crucial das enzimas na melhoria da eficiência da produção de carne (Pereira, 2017). Com a melhora da disponibilidade de nutrientes, conseguiu diminuir a inclusão de ingredientes de custo elevado em uma ração. No caso da enzima fitase, as fontes de fósforo e no caso da carboidrase, as fontes energéticas (Sitanaka, 2016).

Um ponto que é bem definido sobre a inclusão de fitase em rações de animais monogástricos é a diminuição de excreção de fósforo ao meio ambiente. Além de ressaltar esse efeito positivo em seu trabalho, Guggenbuhl et al (2016) mostrou resultado significativo no ganho de peso (25% melhor quando adicionou 2000 u/kg) e conversão alimentar dos leitões (12% melhor na mesma dosagem de 2000u/kg) quando testou dietas de milho, soja, atendendo os requerimentos dos nutrientes e com doses de fitase de 0, 1000, 2000, 3000 e 4000 unidades/kg.

Lucca (2014) mostrou a eficiência do uso de enzimas na ração de suínos sobre a digestibilidade de ingredientes alternativos e que foi possível de ser utilizado nas rações como uma estratégia nutricional para reduzir custo e preocupações ambientais. Lucca (2014) observou que houve um aumento do fósforo absorvido quando utilizou 750FTU/kg de fitase. Mostrou uma melhora de 23,13% quando aumentou a inclusão de farelo de arroz na dieta contribuindo para reduzir a excreção de nutrientes o ambiente.

Assim como Lee et al. (2018), o autor Blavi et al (2017) verificou em seu estudo melhora na digestibilidade aparente de cálcio com a adição de fitase.

A enzima xilanase quebra a ligação β -1,4 do polissacarídeo xilana existente na parede celular dos principais ingredientes e de alguns subprodutos utilizados na formulação de dietas de suínos (Freitas, 2011). Com a adição da xilanase, Duarte

(2018) melhorou a degradação dos arabinoxilanos com redução de 13% na viscosidade da digesta ileal.

Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Sitanaka et al. (2016), utilizando um complexo enzimático (alfa-amilase, beta-glucanase, fitase, celulase, xilanase e proteases) em dietas com redução energética de suínos em crescimento e terminação aonde os tratamentos com adição enzimática obtiveram respostas positivas, igualando – se ao controle positivo, comprovando um aumento da disponibilidade de nutrientes com o uso da enzima.

No entanto, Pereira (2017) não encontrou diferença significativa sobre as variáveis de desempenho quando utilizou complexo multienzimático (base de 20.000u/g de xilanase, 120.000u/g de amilase, 7.500u/g de beta-glucanase e 250u/g de mananase) em leitões na fase inicial de 15 a 30 kg.

Ao avaliar o IEE dos tratamentos em todas as fases, o tratamento 1 foi mais eficiente, no entanto, se compararmos a dieta com complexo enzimático (tratamento 3) e a dieta apenas com a desvalorização de nutrientes sem inclusão de enzimas (tratamento 2), a eficácia foi maior no tratamento 3, comprovando que o uso de enzimas pode favorecer o ganho de peso dos animais.

Se avaliarmos o custo da ração do tratamento 2 com o tratamento 3, considerando um consumo por animal na fase pré-inicial de 3 kg, inicial 1 de 7 kg, inicial 2 de 20 kg, o custo da ração/consumo/leitão do tratamento 2 em comparação ao tratamento 3 foi 0,4% menor, mas foi obtido no final do experimento 2,96kg a mais no peso final dos leitões do tratamento 3 em relação ao tratamento 2.

Além do fósforo, se considerássemos a valorização da energia na dieta, ao adicionarmos 100g/tonelada da enzima carbohidrase, conseguimos diminuir a inclusão de óleo em aproximadamente 20kg/tonelada com um custo de R\$4,5/kg. É possível observar que as dietas contendo o complexo enzimático apresentaram custo inferior se comparado ao tratamento 1. Tendo em vista que nas dietas com enzimas houve desvalorização de energia, fósforo e cálcio, foi possível verificar uma economia em relação ao custo.

Conclusão

As dietas com inclusão de enzimas fizeram com que o desempenho dos leitões fosse maior em relação aos leitões que consumiram a dieta desvalorizada e sem

adição de enzimas, devido ao aumento do aproveitamento do fósforo fítico e a capacidade de melhorar a digestibilidade dos polissacarídeos não-amiláceos da dieta.

No entanto, em dietas de leitões, como estes ingredientes com polissacarídeos não amiláceos são reduzidos, concluiu-se que a desvalorização dos nutrientes como P, Ca e energia das dietas tenham sido muito elevadas. Devido a isso a super dose da enzima fitase não foi suficiente para promover a liberação de P e Ca necessários para melhorar o desempenho dos animais.

A utilização das enzimas já é uma realidade na suinocultura devido aos benefícios econômicos e ambientais. No entanto, a quantidade de inclusão das enzimas, a ação das enzimas nos diferentes vegetais, a estabilidade no trato digestivo do animal e a interação das mesmas com outros nutrientes não está totalmente esclarecido.

Referência Bibliográfica

Bedford, M. R. and Patridge, G.G. 2010. Enzymes in farm animal nutrition, 2nd edition. CABI.

Bedford, M. R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition – their current value and future benefits. In.: Animal Feed Science and Technology.

Blavi, L.; Sola-Oriol, D.; Perez, J. F. and Stein, H. H. Effects of zinc oxide and microbial phytase on digestibility of calcium and phosphorus in maize-based diets fed to growing pigs. Journal of animal Science 95.2 (2017): 847-854. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1149>.

Campestrini, E.; Silva, V. T. M. e Appelt, M. D. 2005. Utilização de enzimas na alimentação animal. Disponível em:

http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigosBK/027V2N6P259_272_NOV2005.pdf>. Acessado em: Setembro 09, 2020.

Dadalt, J. C. 2015. Balanço de nutrientes e digestibilidade ileal dos aminoácidos de alguns ingredientes, na presença de multi-carboidrase e fitase, usando leitões recém-desmamados. Dissertação (D.Sc.). Universidade de São Paulo, São Paulo.

de Brito, M. S.; de Oliveira, C. F. S.; da Silva T. R. G.; de Lima, R. B.; Moraes, S. N. e da Silva, J. H. V. 2008. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de monogástricos–revisão. p.111-117. In: Acta Veterinaria Brasilica.

de Souza Santos, L.; Mascarenhas, A. G. and de Oliveira, H. F. 2016. Fisiologia digestiva e nutrição pós desmame em leitões. Disponível em:

http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/364_4570-4584_NRE_13-1_jan-fev_2016.pdf>. Acessado em: Outubro 10, 2020.

Delmaschio, I. 2018. Enzimas na alimentação de animais monogástricos-revisão de literatura. p. 06-20. In: Revista Científica de Medicina Veterinária.

Ferreira, A. H.; Carraro, B.; Dallanora, D.; Machado, G.; Machado, I. P.; Pinheiro, R. e Rohr, S. 2014. Produção de suínos: teoria e prática. 1th ed. Brasília, Brasil.

Ferreira, R. C. 2015. Efeito das enzimas fitase e xilanase sobre a disponibilidade de fósforo em dietas para suínos dos 63 aos 103 dias de idade. Dissertação (M.Sc). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Guggenbuhl, P.; Calvo E.P. and Fru F. 2016. Effect of high dietary doses of a bacterial 6-phytase in piglets fed a corn–soybean meal diet. *Journal of Animal Science* 94.suppl_3 (2016): 307-309. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9807>.

Krabbe, E. L. e Lorandi, S. 2014. Atualidades e tendências no uso de enzimas na nutrição de aves. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, São Pedro, SP.

Kummer, A. D.; Baroncello, E.; Pinheiro, M. L.; Bernardi, M. L.; Bortolozzo, F. P. e Wentz, I. 2015. Efeitos do fornecimento oral de suplementos nutricionais na sobrevivência e crescimento de leitões de baixo peso ao nascer. *Acta Scientiae Veterinariae* 43 (2015): 1336. <http://hdl.handle.net/10183/189583>

Lee, S. A.; Dunne, J.; Febery, E.; Wilcock, P.; Mottram, T. and Bedford, M. R. 2018. Superdosing phytase reduces real-time gastric pH in broilers and weaned piglets. *British poultry science* (2018): 1-10. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1440379>

Lucca, W. 2014. Peso corporal e fitase na digestibilidade verdadeira do fósforo no farelo de arroz integral para suínos. Dissertação (D.Sc.). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Mansbridge, S. C. 2016. Strategies and efficacy of phytase supplementation and its interaction with pharmaceutical zinc oxide in newly weaned pigs. Dissertation (D.Sc.). Harper Adams University, UK.

Martins, A. A.; Campanini, D.; de Carvalho, P. G. B.; de Carvalho, R. H. 2018. Aspectos gerais do desmame de leitões. In: *Ciência Veterinária UniFil*.

Melo, A. D. B.; de Oliveira, A. C. F.; da Silva, P.; dos Santos, J. B.; de Moraes, R.; de Oliveira G. R.; Wernick, B.; Carvalho, P. L. O.; Artoni, S. M. B. and Costa, L. B. 2020. 6-phytase and / or endo- β -xylanase and -glucanase reduce diarrhea in the newly weaned piglet and improve bone parameters. *Livestock Science* (2020): 104034.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104034>

Monteiro, A. N. T. R.; Bertol, T. M. and Kessler, A. M. 2017. Aplicação da alimentação de precisão para melhorar a eficiência do nitrogênio na produção de suínos: revisão de possíveis práticas e obstáculos. *Ciência Rural* 47.7 (2017).

<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr2160596>.

Pascoal, L. A. F. e da Silva, L. P. G. 2005. Adição de enzimas exógenas nas dietas de leitões desmamados. Disponível em:

<http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigosBK/028V2N6P268_278_NOV2005.pdf>. Acessado em: Agosto 15, 2020.

Pereira, L. K. 2017. Efeito de um complexo multienzimático sobre desempenho zootécnico e parâmetros sanguíneos de leitões na fase inicial . Dissertação (M.Sc.). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná.

Schlegel, P., and Gutzwiller, A. 2016. Effect of dietary calcium level and source on mineral utilisation by piglets fed diets containing exogenous phytase. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 101.5 (2017): e165-e174.

<https://doi.org/10.1111/jpn.12582>

Scottá, B. A., Gomide, A. P. C., Campos, P. F., Barroca, C. C., da Silva Formigoni, A., e Ferreira, S. V. 2014. Utilização de fitase na alimentação de aves e suínos. p. 0084-0229. In: PUBVET

Sitanaka, N. Y.; Budiño, F. H. L.; de Oliveira, S. R.; Vilas Boas, A. D. C. and Moraes, J. E. 2018. Enzyme complex supplementation on the performance of swine in growth and finishing phases. p. 748-758. In: Revista Caatinga.

Soares, T. G. 2004. Efeito da desmama com 12, 15 e 18 dias de idade sobre o desempenho de leitões. Dissertação (M.Sc.). Universidade Federal de Viçosa, Minas gerais.

Tavernari, F.C. ; Dutra Junior, W.M.; Albio, L.F.T.; Rostagno, H.S.; Vieira, R.A.; Silva, C.R. Efeito da utilização de farelo de girassol na dieta sobre o desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p.1745-1750, 2009.

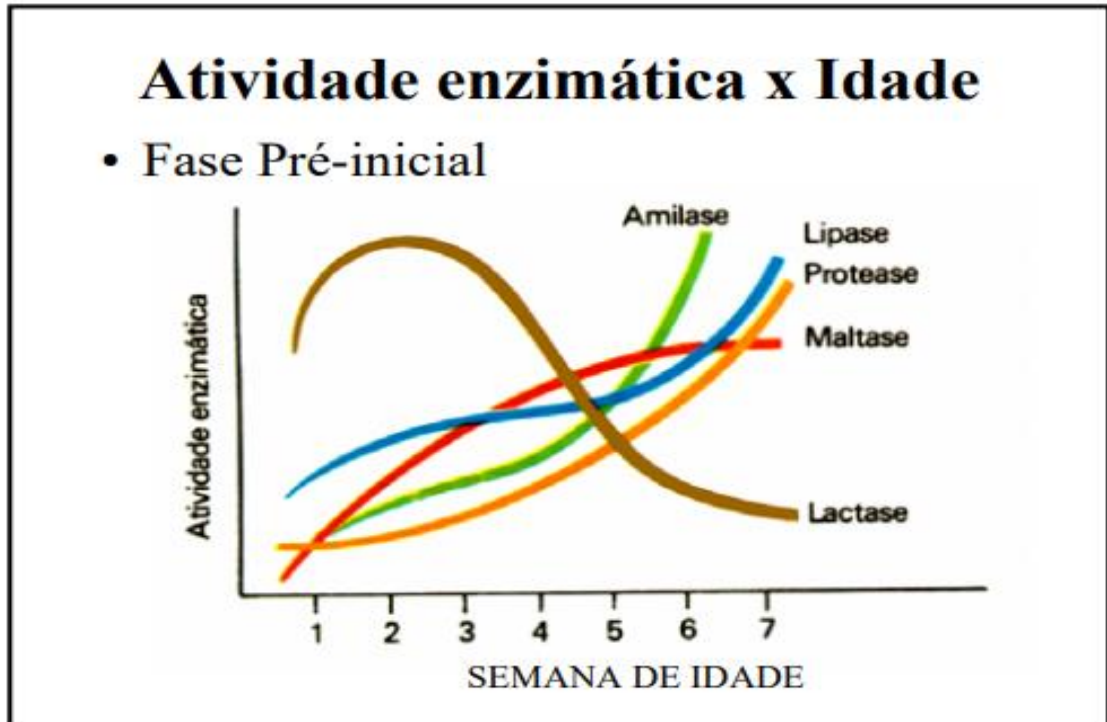
Tucci, F. M.; Thomaz, M. C.; Pizauro Junior, J. M.; Hannas, M. I.; Scandolera, A. J. e Budiño, F. E. L. 2011. Agentes tróficos na dieta de leitões desmamados sobre a atividade das enzimas digestivas e o desempenho. p. 289-298. In: Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science.

Yano, R. H. 2020. Análise da evolução da produtividade total dos fatores na produção de frangos e suínos no Brasil. Dissertação (M.Sc.). Fundação Getúlio Vargas, São Paulo

Zlotowski, P.; Driemeier, D. e de Barcellos, D. E. S. N. 2008. Patogenia das diarréias dos suínos: modelos e exemplos. In.: Acta scientiae veterinariae.

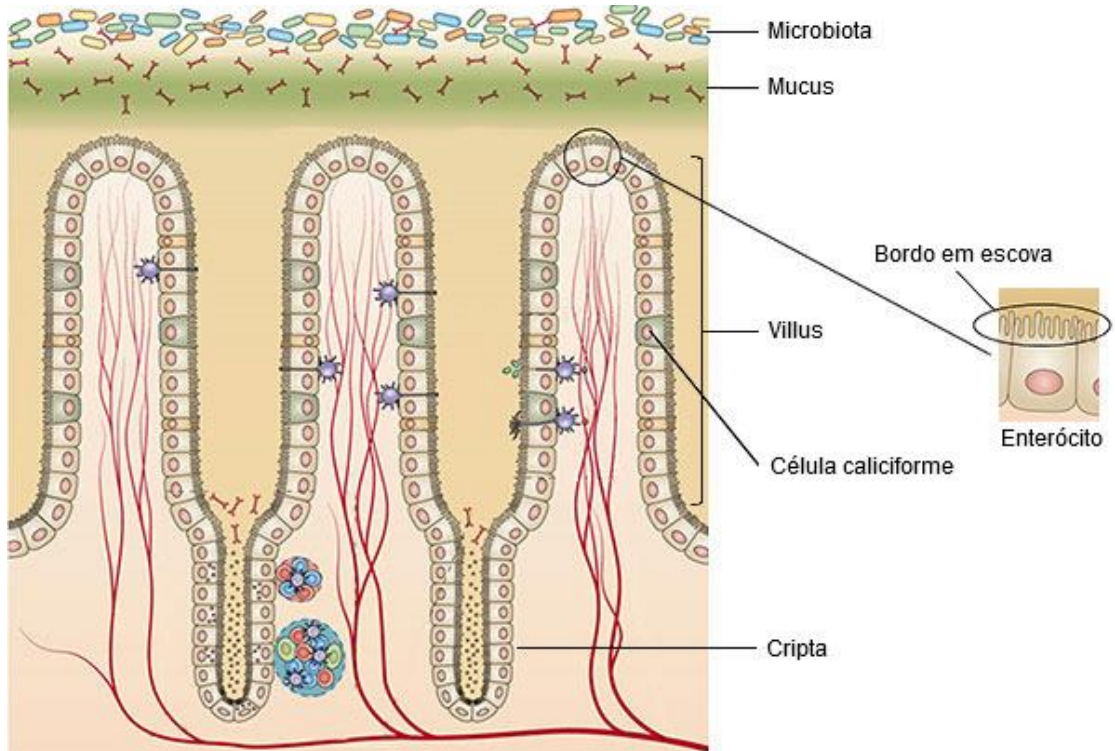
Anexos

Figura 1. Atividade enzimática em leitões nas primeiras semanas após desmame.



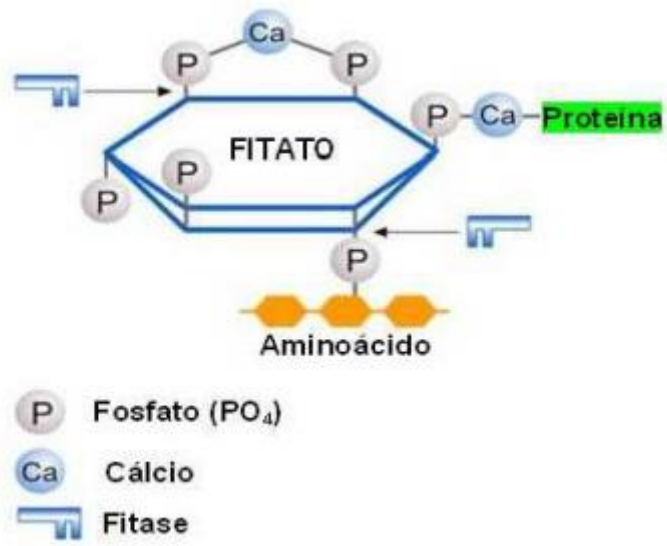
Adaptado de: Kidder e Manners (1978)

Figura 2. Estrutura do intestino delgado



Adaptado de: Sommer e Bäckhed (2013).

Figura 3. Estrutura do ácido fítico



Adaptado de: Alves (2014).

Figura 4. Liberação de fósforo de ácido fítico pela ação da fitase (Pedersen, 2007).

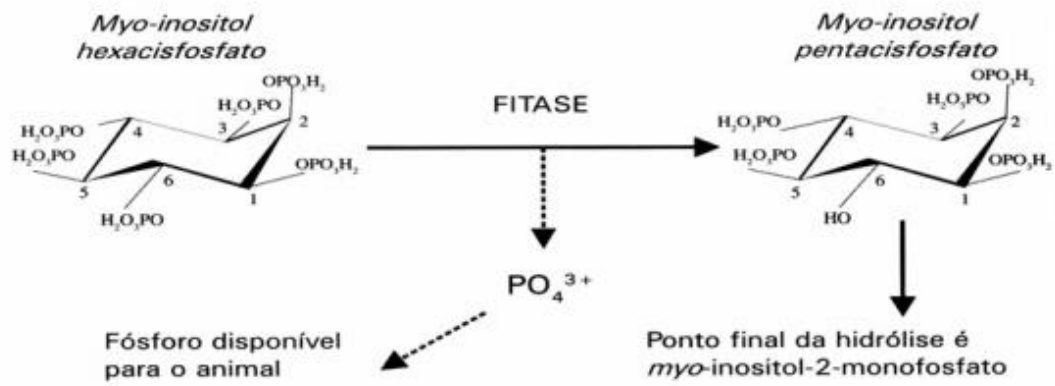


Tabela 1. Composição de fitato nos principais alimentos utilizados na nutrição de monogástrico.

Alimentos	Fósforo Fítico (g/100g de MS)	Fósforo Fítico (% de P total)
Milho (<i>Zea mays</i>)	0,24	72
Cevada (<i>Hordeoum volgare</i>)	0,27	64
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	0,27	69
Aveia (<i>Avena sativa</i>)	0,29	67
Sorgo (<i>Sourghum vulgare</i>)	0,24	66
Mileto (<i>Setaria italica</i>)	0,19	70
Mileto (<i>Eleusine ccoracana</i>)	0,14	58
Arroz (<i>Oryza sativa</i>), sem polimento	0,27	77
Arroz polido	0,09	51
Farinha de Arroz	10,31	80
Farinha de Trigo	0,92	71

Ravindran Brydenand Kornegay, 1995 (modificado)

Tabela 2. Características básicas de diferentes fitases

Origem da Fitase	Condições Ótimas		Atividade específica em 37°C (U MG ⁻¹)	Classificação da Fitase
	pH	T°C		
<i>Aspergillus niger</i>	5,0-5,5	55-58	50-133	3-Fitase
<i>Aspergillus terreus</i>	5,0-5,5	70	142-196	3-Fitase
<i>Aspergillus fumigatus</i>	5,0-6,0	60	23-28	3-Fitase
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	6,0	65	110	-
<i>Penicillium simplicissimum</i>	4,0	55	3	-
<i>Periophora lycii</i>	5,5	58	1080	6-Fitase
<i>Candida krusei</i>	4,6	40	1210	-
<i>Debaromyces castellii</i>	4,0-4,5	55-60	-	3-Fitase
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	4,5	45	135	3-Fitase
<i>Neurospora crassa</i>	5,5	60	125	3-Fitase
<i>Escherichia coli</i>	4,5	55-60	750-811	6-Fitase
<i>Selenomonas ruminantium</i>	4,5-5,0	55	668	3-Fitase
<i>S. ruminantium subsp. lactilytica</i>	4,5	55	16	5-Fitase
<i>S. lactificex</i>	4,5	40	440	3-Fitase
<i>Megasphaera elsdenii</i>	5,0	60	269	3-Fitase
<i>Klebsiella terrigena</i>	5,0	58	205	3-Fitase
<i>Pantoea agglomerans</i>	4,5	60	23	3-Fitase
<i>Citrobacter braakii</i>	4,0	50	3457	-
<i>Pseudomonas syringae</i>	5,5	40	769	3-Fitase
<i>Bacillus subtilis</i>	6,5-7,5	55-60	9-15	3-Fitase
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	7,0-8,0	70	20	3-Fitase

Bedford e Partridge, 2010 (modificado)

Tabela 3. Composição em kg das rações experimentais fornecidas de 20 a 30 dias de idade

Ingredientes	Tratamentos¹				
	T1	T2	T3	T4	T5
Milho moído	296,47	328,95	328,80	328,75	328,70
Farelo de soja	180,00	174,00	174,00	174,00	174,00
Proteína concentrada de soja	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Bolacha	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Plasma	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Farinha de peixe	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Soro de leite	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Óleo vegetal	30,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Fosfato Bicálcico (19%)	7,50	0,10	0,10	0,10	0,10
Calcário Calcítico (37%)	6,30	7,40	7,40	7,40	7,40
Açúcar	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sal moído	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60
Premix vitamínico e mineral ²	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41
DL-Metionina	1,93	1,83	1,83	1,83	1,83
L-Lisina HCl (78%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Treonina (98,5%)	1,24	1,20	1,20	1,20	1,20
Triptofano	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
L-Arginina (99%)	3,21	3,22	3,22	3,22	3,22
L-Valina (96,5%)	1,23	1,18	1,18	1,18	1,18
Fitase 10000 FTU	0,00	0,00	0,05	0,10	0,15
Xilanase + Beta-Glucanase	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10
Halquinol	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Palatabilizante	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Antioxidante	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Total	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Níveis nutricionais³					
Proteína bruta (%)	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
Gordura (%)	6,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fibra bruta (%)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
E.M.S (kcal/kg)	3.440,00	3.350,00	3.350,00	3.350,00	3.350,00
Calcio (%)	0,92	0,78	0,78	0,78	0,78
Fósforo total (%)	0,65	0,51	0,51	0,51	0,51
Fósforo disponível (%)	0,51	0,37	0,37	0,37	0,37
Lactose (%)	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Lisina digestível (%)	1,58	1,56	1,56	1,56	1,56
Metionina + Cistina digestível (%)	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
Treonina digestível (%)	1,03	1,01	1,01	1,01	1,01
Triptofano digestível (%)	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31
Valina digestível (%)	1,15	1,14	1,14	1,14	1,14

¹T1: Controle positivo formulado conforme recomendações Kansas State University e Rostagno et al. (2017); T2: Controle negativo (controle positivo desvalorizando 0.14% de fósforo disponível, 0.14% de cálcio e 90 kcal); T3: T2 + 500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T4: T2 + 1000FTU +

560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T5: T2 + 1500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase.

²Suplementação vitamínica: vit. A - 12000 UI; vit. D3 - 3000 UI; vit. E - 72 mg; vit. K3 – 12 mg; vit. B1 – 3.6 mg; Vit B2 – 9mg; vit. B6 – 4.5 mg; vit. B12 - 60 mcg; Niacina – 72 mg; Pantotenato de Cálcio - 36mg; ácido fólico – 2.5 mg; biotina – 0.33 mg. 2- Suplementação mineral: cloreto de colina – 1.72g; manganês - 45g; ferro – 157.5g; zinco - 3000 mg; cobre - 27 g; iodo – 1.8 g; selênio – 0.495 mg;

³Composição calculada (%) das dietas experimentais.

Tabela 4. Composição em kg das rações experimentais fornecidas dos 31 a 40 dias de idade.

Ingredientes	Tratamentos¹				
	T1	T2	T3	T4	T5
Milho moído	466,06	497,61	497,46	497,41	497,36
Farelo de soja	260,00	257,00	257,00	257,00	257,00
Bolacha	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Plasma	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Farinha de peixe	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Soro de leite	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
Óleo vegetal	32,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Fosfato bicálcico (19%)	10,00	2,60	2,60	2,60	2,60
Calcário calcítico (37%)	5,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Açúcar	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Sal moído	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Premix vitamínico e mineral ²	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78
DL-Metionina	1,47	1,42	1,42	1,42	1,42
L-Lisina HCl (78%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Treonina (98,5%)	1,23	1,20	1,20	1,20	1,20
Triptofano	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
L-Arginina (99%)	1,57	1,54	1,54	1,54	1,54
L-Valina (96,5%)	0,89	0,85	0,85	0,85	0,85
Fitase 10000 FTU	0,00	0,00	0,05	0,10	0,15
Xilanase + Beta-Glucanase	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10
Halquinol	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Palatabilizante	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Antioxidante	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Total	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Níveis nutricionais³					
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Gordura (%)	5,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Fibra bruta (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
E.M.S (kcal/kg)	3.340,00	3.250,00	3.250,00	3.250,00	3.250,00
Calcio (%)	0,86	0,72	0,72	0,72	0,72
Fósforo total (%)	0,66	0,52	0,52	0,52	0,52
Fósforo disponível (%)	0,48	0,34	0,34	0,34	0,34
Lactose (%)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Lisina digestível (%)	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Metionina + Cistina digestível (%)	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Treonina digestível (%)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Triptofano digestível (%)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Valina digestível (%)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

¹T1: Controle positivo formulado conforme recomendações Kansas State University e Rostagno et al. (2017); T2: Controle negativo (controle positivo desvalorizando 0.14% de fósforo disponível, 0.14% de cálcio e 90 kcal); T3: T2 + 500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T4: T2 + 1000FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T5: T2 + 1500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase.

²Suplementação vitamínica: vit. A - 12000 UI; vit. D3 - 3000 UI; vit. E - 72 mg; vit. K3 – 12 mg; vit. B1 – 3.6 mg; Vit B2 – 9mg; vit. B6 – 4.5 mg; vit. B12 - 60 mcg; Niacina – 72 mg; Pantotenato de Cálcio - 36mg; ácido fólico – 2.5 mg; biotina – 0.33 mg. 2- Suplementação mineral: cloreto de colina – 1.72g; manganês - 45g; ferro – 157.5g; zinco - 2500 mg; cobre - 27 g; iodo – 1.8 g; selênio – 0.495 mg;

³Composição calculada (%) das dietas experimentais.

Tabela 5. Composição em kg das rações experimentais fornecidas de 41 a 61 dias de idade

Ingredientes	Tratamentos ¹				
	T1	T2	T3	T4	T5
Milho Moído	600,71	635,27	635,16	635,15	635,14
Farelo de Soja	324,00	318,00	318,00	318,00	318,00
Óleo Vegetal	32,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Fosfato Bicálcico (19%)	16,80	9,40	9,40	9,40	9,40
Calcário Calcítico (37%)	6,30	7,30	7,30	7,30	7,30
Sal Moído	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Premix vitamínico e mineral ²	6,51	6,51	6,51	6,51	6,51
DL-Metionina	1,48	1,41	1,41	1,41	1,41
L-Lisina HCl (78%)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Treonina (98,5%)	1,36	1,32	1,32	1,32	1,32
Triptofano	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
L-Valina (96,5%)	0,44	0,39	0,39	0,39	0,39
Fitase 10000 FTU	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
Xilanase + Beta-Glucanase	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10
Halquinol	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Palatabilizante	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Antioxidante	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Total	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Níveis nutricionais³					
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Gordura (%)	5,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Fibra bruta (%)	3,50	3,00	3,00	3,00	3,00
E.M.S (kcal/kg)	3.260,00	3.170,00	3.170,00	3.170,00	3.170,00
Calcio (%)	0,79	0,65	0,65	0,65	0,65
Fósforo total (%)	0,66	0,53	0,53	0,53	0,53
Fósforo disponível (%)	0,44	0,30	0,30	0,30	0,30
Lactose (%)					
Lisina digestível (%)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Metionina + Cistina digestível (%)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Treonina digestível (%)	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Triptofano digestível (%)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Valina digestível (%)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

¹T1: Controle positivo formulado conforme recomendações Kansas State University e Rostagno et al. (2017); T2: Controle negativo (controle positivo desvalorizando 0.14% de fósforo disponível, 0.14% de cálcio e 90 kcal); T3: T2 + 500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T4: T2 + 1000FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase; T5: T2 + 1500FTU + 560U de xilanase e 250U de β -glucanase.

²Suplementação vitamínica: vit. A - 12000 UI; vit. D3 - 3000 UI; vit. E - 72 mg; vit. K3 - 12 mg; vit. B1 - 3.6 mg; Vit B2 - 9mg; vit. B6 - 4.5 mg; vit. B12 - 60 mcg; Niacina - 72 mg; Pantotenato de Cálcio - 36mg; ácido fólico - 2.5 mg; biotina - 0.33 mg. 2- Suplementação mineral: cloreto de colina - 1.72g; manganês - 45g; ferro - 157.5g; zinco - 1500 mg; cobre - 27 g; iodo - 1.8 g; selênio - 0.495 mg;

³Composição calculada (%) das dietas experimentais.

Tabela 6. Desempenho dos leitões recebendo 5 dietas diferentes em 3 fases (Pré-Inicial, Inicial 1 e Inicial 2) diferentes da vida dos leitões na creche.

	Dietas experimentais ¹					RMSE ²	(P-valor)	
	T1	T2	T3	T4	T5		Trat	Bloco
Fase pré-inicial (20-30 d)								
Peso vivo inicial (kg)	4,78	4,80	4,74	4,78	4,77	0,26	0,99	<0,01
Peso vivo final (kg)	6,62 ^a	5,65 ^b	5,99 ^{ab}	5,97 ^{ab}	5,98 ^{ab}	0,45	<0,01	<0,01
CRD ² (g/d)	218	211	220	216	220	23	0,91	<0,01
GPD ³ (kg/d)	184 ^a	84 ^b	125 ^b	119 ^b	121 ^b	29	<0,01	0,01
CA ⁴ (kg/kg)	1,21 ^c	2,58 ^a	1,82 ^b	1,86 ^b	1,92 ^b	0,30	<0,01	0,04
Fase inicial I (30-40 d)								
Peso vivo inicial (kg)	6,62 ^a	5,65 ^b	5,99 ^{ab}	5,97 ^{ab}	5,98 ^{ab}	0,45	<0,01	<0,01
Peso vivo final (kg)	10,15 ^a	8,07 ^c	9,11 ^b	8,94 ^{bc}	8,84 ^{bc}	0,64	<0,01	<0,01
CRD (g/d)	361 ^a	319 ^b	352 ^{ab}	343 ^{ab}	324 ^{ab}	29	0,02	<0,01
GPD (kg/d)	282 ^a	172 ^c	230 ^b	219 ^b	214 ^b	25	<0,01	<0,01
CA (kg/kg)	1,28 ^c	1,86 ^a	1,53 ^b	1,56 ^b	1,51 ^b	0,11	<0,01	0,07
Fase inicial II (40-61 d)								
Peso vivo inicial (kg)	10,15 ^a	8,07 ^c	9,11 ^b	8,94 ^{bc}	8,84 ^{bc}	0,65	<0,01	<0,01
Peso vivo final (kg)	23,32 ^a	18,69 ^c	21,65 ^b	21,56 ^b	21,44 ^b	1,15	<0,01	<0,01
CRD (g/d)	760	736	763	757	743	27	0,23	<0,01
GPD (kg/d)	452 ^a	339 ^c	412 ^b	409 ^b	407 ^b	24	<0,01	<0,01
CA (kg/kg)	1,69 ^c	2,18 ^a	1,86 ^b	1,85 ^{bc}	1,83 ^{bc}	0,12	<0,01	0,07
Período total (20-61 d)								
Peso vivo inicial (kg)	4,78	4,80	4,74	4,78	4,77	0,26	0,99	<0,01
Peso vivo final (kg)	23,32 ^a	18,69 ^c	21,65 ^b	21,56 ^b	21,44 ^b	1,15	<0,01	<0,01
CRD (g/d)	446	422	445	439	429	238	0,99	0,55
GPD (kg/d)	306 ^a	198 ^b	255 ^{ab}	249 ^{ab}	247 ^{ab}	122	0,05	0,29
CA (kg/kg)	1,39 ^c	2,21 ^a	1,73 ^b	1,76 ^b	1,76 ^b	0,29	<0,01	0,43

¹Valores seguidos por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey.

²CR = Consumo de Ração Diário

³GPD = Ganho de Peso Diário

⁴CA = Conversão Alimentar

Tabela 7. Custo por quilograma de ração (R\$/kg de ração), custo de ração por quilograma de peso vivo de ganho (R\$/kg de ganho) e índice de eficiência econômica (IEE%), nas fases Pré-Inicial, Inicial 1 e Inicial 2.

	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5
Fase pré-inicial (20-30 d)					
R\$/kg Ração	4,551	4,452	4,46	4,463	4,666
Custo da Ração Consumida R\$/Kg Ganho	24,73	53	35,68	37,50	36,91
IEE%	100	46,67	69,31	65,94	67,00
Fase inicial I (30-40 d)					
R\$/kg Ração	3,039	2,946	2,954	2,957	2,96
Custo da Ração Consumida R\$/Kg Ganho	10,78	17,13	12,84	13,50	13,83
IEE%	100	62,93	83,95	79,85	77,95
Fase inicial II (40-61 d)					
R\$/kg Ração	1,707	1,612	1,62	1,623	1,626
Custo da Ração Consumida R\$/Kg Ganho	3,78	4,76	3,93	3,97	4,00
IEE%	100	79,41	96,18	95,21	94,50