

PEDRO ESPERIDIÃO ASSONI

DOSE DE FITASE E EFEITO EXTRA FOSFÓRICO EM DIETAS PARA LEITÕES

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

Orientadora: Melissa Izabel Hannas

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

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

T

A849d Assoni, Pedro Esperidião, 1990-
2021 Dose de fitase e efeito extra fosfórico em dietas para leitões
/ Pedro Esperidião Assoni. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (32 f.): il.

Orientador: Melissa Izabel Hannas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 19-21.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.121>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Suínos - Nutrição. 2. Fitases. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.085

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

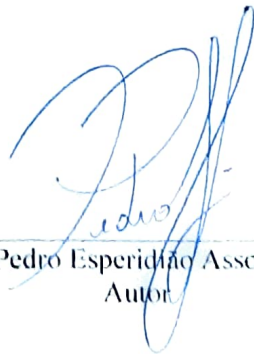
PEDRO ESPERIDIÃO ASSONI

DOSE DE FITASE E EFEITO EXTRA FOSFÓRICO EM DIETAS PARA LEITÕES

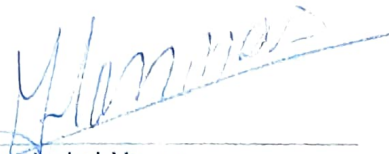
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 09 de setembro de 2021.

Assentimento:



Pedro Esperidião Assoni
Autor



Melissa Izabel Hannas
Orientadora

RESUMO

ASSONI, Pedro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2021. **Dose de fitase e efeito extra fosfórico em dietas para leitões.** Orientadora: Melissa Izabel Hannas.

Um total de 1.000 leitões ($9,80 \pm 0,07$ kg) foram usados em um estudo para avaliar os efeitos dos níveis de fitase na dieta sobre o desempenho de crescimento de 40 a 70 dias de idade, alimentados com uma dieta com limitação de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia. Cinco tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos ao acaso com base no peso corporal (PC), com oito repetições de 25 suínos por unidade experimental. Os tratamentos consistiram de: dieta controle positivo (CP), dieta controle negativo (CN), e dietas CN suplementadas com 750, 1.375 e 2.000 FTU Quantum Blue 10 G fitase/kg. As dietas CN foram formuladas com redução de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia. Ração e água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o experimento. Foram avaliados os efeitos dos tratamentos sobre o peso corporal final (PC final), consumo diário de ração (CDR), ganho diário de peso (GDP) e taxa de conversão alimentar (CA). Diferenças nos parâmetros de desempenho dos leitões foram observadas entre leitões alimentados com dietas CP vs. CN. O PC final dos leitões, o CDR e o GDP aumentaram (linear, $P < 0,05$ e quadrático, $P < 0,05$) com o aumento da dose de fitase. A suplementação de fitase reduziu (linear, $P < 0,05$ e quadrático $P < 0,05$) a CA. As doses ótimas de fitase para PC final, CDR, GDP e CA foram 1.222, 1.000, 1.272 e 1.309 FTU/kg, respectivamente. Em conclusão, a suplementação de fitase em doses entre 750 e 2.000 FTU/kg permite a redução dos níveis nutricionais de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia, sem prejudicar o desempenho dos leitões entre 40 e 70 dias de idade.

Palavras-chave: Fitase. Superdosagem de fitase. Efeitos extra fosfóricos. Nutrição. Suínos.

ABSTRACT

ASSONI, Pedro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2021. **Phytase dose and extra phosphoric effect in piglets diets.** Adviser: Melissa Izabel Hannas.

A total of 1,000 piglets (9.80 ± 0.07 kg) were used in a study to evaluate the effects of dietary phytase levels on growth performance from 40 to 70 days of age, feeding a diet with limiting phosphorus, calcium, amino acids and energy. Five treatments were distributed in a completely randomized block design based on body weight (BW), with eight replicates of 25 pigs per experimental unit. The treatments consisted of a positive control diet (PC), a negative control diet (NC), and the NC diet supplemented with 750, 1,375 and 2,000 FTU Quantum Blue 10 G phytase/kg. NC were formulated with reduced of phosphorus, calcium, amino acids and energy. Feed and water were provided *ad libitum* during all experiment. The effects of dietary treatments on final body weight (BW), daily feed intake (DFI), daily weight gain (DWG) and feed conversion rate (FCR) were evaluated. Differences in piglets performance parameters were observed between piglets fed diets CP vs. CN. Piglets final BW, ADG and ADFI increased (linear, $P < 0.05$ and quadratic, $P < 0.05$) as phytase increased. Phytase supplementation reduced (linear, $P < 0.05$ and quadratic, $P < 0.05$) FCR. The optimal phytase dose for final BW, ADFI, ADG and FCR were 1,222, 1,000, 1,272 and 1,309 FTU/kg, respectively. In conclusion, phytase supplementation in doses between 750 and 2,000 FTU/kg allows the reduction of the nutritional levels of phosphorus, calcium, amino acids and energy, without harming animal performance for piglets between 40 and 70 days of age.

Keywords: Phytase. Super dosing phytase. Extra phosphoric effects. Nutrition. Swines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para peso corporal final, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase 22

Figura 2 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para consumo diário de ração, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase 23

Figura 3 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para ganho diário de peso, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase 24

Figura 4 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para conversão alimentar, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase 25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais.....	26
Tabela 2 – Matriz do equivalente nutricional da fitase Quantum Blue 10 G e contribuição final na dieta para 750 FTU/kg ¹ de ração.....	28
Tabela 3 – Atividade de fitase e composição química das dietas experimentais ¹	29
Tabela 4 – Estimativa da emissão de dióxido de carbono equivalente para suínos suplementados com fitase de 40 a 70 dias de idade	30
Tabela 5 – Efeito da superdosagem de fitase no desempenho de crescimento para suínos na fase de 40 a 70 dias de idade	31
Tabela 6 – Estimativas de dose ótima de fitase (FTU/kg ¹) por diferentes procedimentos matemáticos para suínos na fase de 40 a 70 dias de idade.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1 Animais, alojamento e delineamento experimental.....	10
2.2 Dietas experimentais.....	11
2.3 Análises laboratoriais.....	11
2.4 Parâmetros avaliados	12
2.5 Análise estatística	12
3 RESULTADOS	13
3.1 Análises laboratoriais.....	13
3.2 Desempenho	13
4 DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

A produção de suínos se destaca pela eficiência na conversão de alimentos de origem vegetal e coprodutos da indústria, em proteínas de elevado valor biológico, sendo uma das cadeias produtivas de maior desenvolvimento. Suínos apresentam alta taxa de produção, conversão de carne e eficiência no uso de alimentos, tornando-se imprescindível o atendimento de suas exigências nutricionais em relação a proteína e suas frações de aminoácidos digestíveis, gordura, minerais, vitaminas, água e energia.

As dietas formuladas para suínos apresentam em sua base a mistura de ingredientes de origem vegetal, em especial o milho, o sorgo e o farelo de soja. No entanto, nestes alimentos estão presentes substâncias que não são passíveis de digestão pelas enzimas digestivas e/ou interferem negativamente na absorção de nutrientes, sendo denominadas como fatores antinutricionais (Ferreira et al., 2015).

Os fitatos representam uma classe complexa de compostos de ocorrência natural, formados durante o processo de maturação de sementes e grãos de cereais (Maga, 1982; Torre et al., 1991). O fitato ou ácido fítico constitui a principal forma de armazenamento do fósforo nos grãos de cereais, leguminosas e oleaginosas (Ferreira et al., 2015). No entanto, o fósforo presente no fitato é apenas parcialmente disponível para suínos, uma vez que a atividade de fitase endógena na mucosa do intestino delgado é insuficiente para desfosforilar o fitato de maneira efetiva (Zeng et al., 2014). Além de tornar indisponível o fósforo presente nos cereais, o fitato também é capaz de se complexar com uma variedade de cátions (Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+}), grupo amina de alguns aminoácidos (lisina, histidina e arginina), moléculas conjugadas de glicose (especialmente amido), enzimas digestivas (tripsina e pepsina) e proteínas da dieta (Lehninger, 1993).

Desta forma, a propriedade antinutricional do ácido fítico está além do não aproveitamento do fósforo, como também na redução da digestibilidade de minerais, proteínas e energia (Howson e Davis, 1983; Lehninger, 1995), podendo afetar negativamente o desempenho dos animais pela queda no ganho de peso e piora na conversão alimentar (Magnago et al., 2015).

Em estudos realizados por Ravindran et al. (2008) e Liu et al. (2008), constatou-se a capacidade do fitato para diminuir a eficiência da bomba de sódio e potássio, comprometendo a digestibilidade dos nutrientes da dieta. Estudos demonstram que o fitato aumenta a excreção de sódio no intestino, indicando que isso poderia prejudicar a digestibilidade de aminoácidos,

como por exemplo a lisina, e outros nutrientes que dependem do transporte de sódio (Selle et al., 2007; Cowieson et al., 2008).

Enzimas exógenas são utilizadas para proverem maior quantidade de nutrientes dos alimentos, permitindo aos nutricionistas maior flexibilidade na escolha de ingredientes utilizados na formulação, bem como reduzindo o impacto ambiental negativo da produção animal através da redução da excreção de resíduos (Broch et al., 2018).

A inclusão de fitase na ração tem a finalidade de aumentar o aproveitamento do fósforo orgânico, ligado à molécula do ácido fítico nos ingredientes de origem vegetal, e reduzir os custos inerentes à adição de fontes de fósforo inorgânico na dieta (Brandão et al., 2007). Além de melhorar a digestibilidade do fósforo, a fitase pode também melhorar o aproveitamento de cálcio, aminoácidos e energia (Dersjant-Li et al., 2014). Neste sentido, superdosagens de fitase têm sido empregadas para determinar os efeitos extra fosfóricos, isto é, a resposta à adição de altas doses de fitase que não estejam meramente associadas à liberação de fósforo do fitato (Gomes, 2013).

A eficácia das diferentes fitases para liberar fósforo e outros nutrientes ligados ao fitato diferem entre si e quando consideradas as espécies de monogástricos (Grela et al., 2020). Em decorrência do amplo efeito antinutricional do fitato e seus reflexos negativos no aproveitamento dos nutrientes pelos animais, torna-se necessário a realização de novas pesquisas com inclusões de fitase acima da dosagem padrão. Também se faz importante avaliar curvas de resposta obtidas com a inclusão de diferentes doses de fitase, uma vez que, como todas as enzimas, as fitases exibem cinética de Michaelis-Menten, com diminuição dos retornos marginais conforme descrito por Shirley e Edwards (2003). Ainda neste sentido, segundo Broch et al. (2018), respostas a adição de fitase são melhor descritas ou modeladas por métodos capazes de descrever de maneira sutil a transição entre a porção ascendente e o plateau para os critérios de resposta avaliados.

Efeitos da superdosagem de fitase no desempenho de suínos são encontrados na literatura. Holloway et al. (2019), comparando o desempenho de leitões de creche entre duas dietas (balanceada ou deficiente em energia e aminoácidos) e entre dois níveis de fitase (0 ou 2.500 FTU/kg), verificaram aumento no ganho de peso e na eficiência alimentar dos animais. Grela et al. (2020) avaliaram os efeitos da suplementação de uma fitase derivada de *Aspergillus oryzae*, com doses entre 0 e 1.500 FTU/kg, sobre o desempenho de suínos alimentados com dietas deficientes em fósforo durante as fases de crescimento e terminação. Os autores observaram melhorias no ganho de peso e na conversão alimentar com o aumento das doses de fitase. Moran et al. (2019) comparou o impacto da suplementação de inositol (0, 0,15 ou 0,30%)

com uma superdosagem de fitase (0 ou 2.500 FTU/kg) sobre o desempenho de leitões de creche, alimentados com dietas adequadas em fósforo e cálcio, em condições comerciais. Os resultados deste estudo apontaram para uma melhoria da eficiência alimentar equivalente entre a suplementação de inositol e a superdosagem de fitase durante o período inicial de creche.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi validar a hipótese de que a inclusão de fitase em dietas com níveis reduzidos de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia afeta a digestibilidade de nutrientes e previne a redução de desempenho de suínos. Além disso, também se buscou definir o nível ótimo de suplementação para as distintas variáveis de resposta avaliadas, utilizando modelos lineares e não-lineares, e definir a equivalência da dose de fitase em relação a dieta basal através do uso da curva padrão invertida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção (CEUAP-UFV) da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa (nº 12/2020).

2.1 Animais, alojamento e delineamento experimental

Um ensaio de desempenho foi conduzido em uma granja comercial de produção de suínos, localizada no município de Piranga, na mesorregião Zona da Mata, em Minas Gerais, situada a 20°42'24" de latitude sul, 43°11'31" de longitude oeste e altitude de 730 metros, no período de março a abril de 2020.

Foram utilizados 1.000 suínos (AGPIC 337 x Camborough, Agrocere PIC), machos castrados e fêmeas, com peso inicial de $9,80 \pm 0,07$ kg e idade média de 40 dias, distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados, com cinco dietas experimentais e oito repetições. As unidades experimentais consistiram de baias contendo vinte e cinco animais.

Os animais foram alojados na creche, em baias localizadas em um galpão de alvenaria, com piso de concreto e teto de madeira coberto com telhas de fibrocimento onduladas, e pé direito com 2,50 m de altura. As baias experimentais tinham 12,65 m² (5,50 m x 2,30 m), com 0,506 m²/animal, sendo dividida em uma área de piso com concreto e outra com estrados vasados, e laterais de alvenaria e grade metálica com 60 cm de altura. Cada baia era dotada de um comedouro semiautomático com saídas próprias para água, ocupando uma área de 0,24 m², e bebedouros tipo chupeta.

A ventilação, temperatura e luminosidade do ambiente foram controladas por abertura ou fechamento de cortinas e através do acionamento de lâmpadas.

2.2 Dietas experimentais

As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com minerais, vitaminas e aminoácidos, e fornecidas aos animais na forma farelada, de maneira irrestrita, em um programa nutricional de uma única fase, por 30 dias.

Neste estudo foram utilizados cinco tratamentos dietéticos: 1) dieta controle positivo (CP) ração basal, atendendo às exigências nutricionais recomendadas por Rostagno et al. (2017); 2) dieta controle negativo (CN), ração basal com redução de nutrientes (0,175% de fósforo disponível e 0,192% de cálcio) e de energia (61 kcal/kg de energia metabolizável); 3-5) dieta CN suplementada com 750, 1.375 e 2.000 FTU/kg da enzima fitase, perfazendo respectivamente os tratamentos CN+750 FTU, CN+1375 FTU e CN+2000 FTU. O conceito de superdosagem foi adotado para os níveis de 1.375 e 2.000 FTU/kg, sendo 750 FTU/kg considerado como dosagem padrão.

A enzima utilizada no experimento foi a Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), uma fitase bacteriana produzida à base de uma *Escherichia coli* modificada (gene doador) e replicada em *Trichoderma reesei* (organismo produtor). A matriz nutricional dessa enzima e a sua contribuição final na dieta estão apresentados na Tabela 2. A atividade da fitase é, comumente, expressa em unidades de fitase (FTU), sendo que uma FTU é definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

2.3 Análises laboratoriais

Amostras das rações experimentais foram coletadas e enviadas ao laboratório Mercolab (Chapecó, SC, Brasil) para a determinação da atividade de fitase e dos teores de proteína bruta (PB), matéria seca (MS), matéria mineral (MM), cálcio (Ca) e fósforo (P).

A atividade de fitase de cada ração experimental foi definida pelo teste imunoenzimático de ELISA, por meio de um kit de diagnóstico específico para a fitase em estudo, desenvolvido pela empresa Envirologix (Jaguariúna, SP, Brasil), e um aparelho espectrofotômetro (ELX800™ - BIOTEK).

Para as análises químicas das rações foram aplicados métodos analíticos para o controle de alimentos para uso animal, pautados na Portaria nº 108 de 04 de setembro de 1991 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O teor de PB foi determinado por titulometria, segundo a metodologia proposta por Kjeldahl, conforme descrito por Nogueira e Souza (2005). Os teores de MS e MM foram determinados por termogravimetria sendo, para MS, pela secagem da amostra até peso constante em estufa a 105°C e, para MM, pela incineração em mufla a 550-570°C até a obtenção de um resíduo isento de carvão, com coloração branca acinzentada (IAL, 2008). O teor de Ca foi obtido por titulometria de complexação, método baseado na reação do cálcio com o EDTA (sal dissódico do ácido etilenodiaminotetracético) e formação de quelatos estáveis para serem aplicados em titulações. O teor de P foi determinado por espectrofotometria e fundamenta-se na absorção de radiação por um complexo de cor amarelada formado pela reação de íons ortofosfato com íons molibdato e vanadato (Willians, 1979).

Dados de desempenho dos animais e da composição das dietas experimentais foram enviados à Intellync (Lynch Wood Park, Peterborough, Reino Unido) para estimar a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) por quilograma de ganho de peso dos suínos, de acordo com os métodos estabelecidos pelo IPCC (2016).

2.4 Parâmetros avaliados

As variáveis de desempenho avaliadas neste estudo foram o peso corporal (PC) final, o consumo diário de ração (CDR), o ganho diário de peso (GDP) e a conversão alimentar (CA) obtidos durante o período de 30 dias para cada unidade experimental.

Os animais foram pesados ao início e término do período experimental para determinação do ganho de peso, que foi dividido pelo número de dias para determinar o GDP. O CDR foi estimado com base na quantidade de ração fornecida subtraindo as sobras de ração mensuradas ao término do período experimental, e o valor foi dividido pelo número de dias. A CA dos animais foi obtida através da divisão do CDR pelo GDP.

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à ANOVA usando o procedimento MIXED do SAS (Statistical Analyses System, versão 9.4). Cada baia foi considerada como uma unidade experimental. As diferenças entre as médias foram apontadas pelo teste de médias de Tukey. O

efeito da adição ou não da enzima foi testado pelo teste de Dunnett, considerando o tratamento Controle Positivo como controle. Para estimar a recomendação de inclusão da enzima foram aplicados contrastes ortogonais (linear e quadrático) usando o procedimento MIXED do SAS e modelos não-lineares (broken-line plateau e quadrático plateau) usando o procedimento NLIN do SAS, bem como a primeira interseção do modelo linear quadrático com o modelo não-linear broken-line plateau. Foi considerado efeito significativo como $P < 0,05$ e tendência como $0,05 < P \leq 0,1$. Os modelos de dose-resposta foram comparados com base nos critérios de informação de Akaike (AIC), Akaike corrigido (AICc) e Bayesiana (BIC), onde quanto menor o valor, melhor o ajuste (Johnson & Milliken, 2009). A diminuição dos critérios de informação maior que 3 foi considerada como melhora significativa no ajuste. Os resultados apresentados correspondem as inferências obtidas pelos melhores modelos de ajuste.

3 RESULTADOS

3.1 Análises laboratoriais

Os resultados das análises de atividade de fitase e da composição química das dietas experimentais são apresentados na Tabela 3. As dietas CP e CN, formuladas sem fitase, não apresentaram atividade de fitase. Valores crescente de atividade de fitase foram determinados para as dietas CN suplementadas com 750, 1.375 e 2.000 FTU/kg de fitase, respectivamente. As rações CN apresentaram, em valores absolutos, menores teores de matéria mineral, fósforo e cálcio.

Os resultados estimados para a emissão de CO₂e são apresentados na Tabela 4. A suplementação das dietas CN com níveis crescentes de fitase influenciou a emissão de CO₂e pelos suínos, sendo observada uma redução linear de CO₂e emitido com o aumento das doses de fitase nas dietas. A maior emissão de CO₂e ocorreu para os animais submetidos ao tratamento CN, sem adição de fitase.

3.2 Desempenho

Os resultados de desempenho são apresentados na Tabela 4. Não foram observadas diferenças ($P < 0,05$) entre as médias de respostas para os suínos que consumiram a dieta CP e aqueles que consumiram as dietas CN com inclusões da enzima fitase (CN+750 FTU, CN+1350

FTU e CN+2000 FTU). Os animais submetidos ao CN apresentaram as piores respostas para os parâmetros de desempenho avaliados, frente a todos os tratamentos ($P < 0,05$).

A suplementação das dietas com níveis crescentes de fitase, de 750 até 2.000 FTU/kg, aumentou (linear, $P < 0,05$ e quadrático, $P < 0,05$) o PC final, o CDR e o GDP dos animais. Por outro lado, a CA dos animais foi reduzida (linear, $P < 0,05$ e quadrático, $P < 0,05$) com o aumento da suplementação de fitase nas dietas.

Foram verificados efeitos significativos ($P < 0,05$) para as variáveis de resposta avaliadas, tanto no modelo linear quadrático, como nos modelos não-lineares, resposta linear platô e resposta quadrático platô (Tabela 5).

Os valores de dose ótima da fitase em estudo para alcançar as respostas máximas de cada parâmetro avaliado, de acordo com os modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP) e resposta quadrático platô (QRP), e com a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), estão também descritos na Tabela 5 e Figuras 1 a 4.

Conforme o polinômio de maior grau, os valores de AIC, AICc e BIC, com diferenças maiores que 3, e as características dos modelos em subestimar ou superestimar os níveis ótimos, o modelo resposta quadrático platô apresentou os melhores ajustes para todos os parâmetros avaliados. Assim, considerando o modelo resposta quadrático platô, ajustado e não-linear, as doses ótimas de fitase na dieta para otimizar as variáveis de desempenho PC final, CDR, GDP e CA foram estimadas em 1.222, 1.000, 1.272 e 1.309 FTU/kg, respectivamente.

4 DISCUSSÃO

Este estudo investigou os potenciais efeitos extra fosfóricos da superdosagem de fitase sobre o desempenho de leitões em fase de creche e se esses efeitos estão relacionados a uma degradação mais completa da molécula de fitato e melhor digestibilidade dos nutrientes da dieta. A hipótese foi que suínos alimentados com dietas com menor teor de nutrientes e energia e com adição de fitase, apresentariam desempenho equivalente a suínos alimentados com dietas completamente balanceadas e sem adição de fitase. Essa resposta foi observada ao final do experimento para todos os parâmetros de desempenho avaliados, já que não houve diferenças significativas entre as médias das respostas para os leitões que consumiram a dieta CP e aqueles que consumiram as dietas CN suplementadas com fitase.

As reduções de nutrientes e energia na dieta CN implicaram na piora do CDR, GDP e CA em 13,4, 22,8 e 12,0% comparado ao CP, respectivamente. A magnitude da piora de desempenho observada é relacionada não apenas a redução dos níveis de fósforo e cálcio como

também de energia e aminoácidos. Estes resultados são condizentes com as reduções de desempenho relatadas na literatura para dietas com deficiência semelhante de nutrientes (Dersjant-Li et al., 2017; Zeng et al., 2014; Kies et al., 2006). Todavia, as reduções no desempenho devido a deficiência de nutrientes na dieta CN nesse estudo foram revertidas com a adição de fitase.

A suplementação com 750, 1.375 e 2.000 FTU/kg aumentou o GDP em 22,4, 27,0 e 27,7% e reduziu a CA em 8,4, 10,9 e 10,1% comparado com a dieta CN. Na maior dose de fitase suplementada nesse estudo, 2.000 FTU/kg, foram observadas melhorias numéricas no GDP (4,3%) e CA (1,8%) acima da dosagem considerada como padrão (750 FTU/kg).

O aumento linear da resposta de desempenho dos animais com o aumento da dose de fitase já foi reportado em outros estudos (Zeng et al., 2014; Dersjant-Li et al., 2017), o que pode estar relacionado ao aumento da taxa de degradação do fitato com o aumento da dose de fitase. Essa suposição é suportada por Grella et al. (2020) ao afirmarem que o uso de fitase exógena melhora a biodisponibilidade de fósforo, cálcio e ferro, bem como de proteínas, aminoácidos e outros minerais e nutrientes quelatados com fitato, para espécies monogástricas como aves e suínos. Além disso, altas doses de fitase (maior que 1.000 FTU/kg) levam à degradação do fitato ainda no estômago e porções proximais do intestino delgado, o que reduz os efeitos anti-nutricionais do fitato, resultando em aumento da digestibilidade dos nutrientes e melhora dos parâmetros de desempenho em leitões (Dersjant-Li et al., 2017). Vários pesquisadores sugeriram que uma melhoria no desempenho de suínos devido a suplementação de dietas com fitase em níveis de superdosagem, isto é, acima de 750 FTU/kg, pode ser atribuído a mecanismos relacionados não apenas ao atendimento do requerimento de fósforo, mas também a uma hidrólise mais completa do fitato, liberando moléculas quelatadas e aumentando a digestibilidade de energia e/ou nutrientes (Cowieson et al., 2011).

A suplementação de enzima fitase em dietas animais é uma prática nutricional capaz de influenciar também a composição de nutrientes dos dejetos produzidos e moderar a emissão de gases como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), os quais contribuem para a destruição da camada de ozônio e ocorrência do aquecimento global. A eficácia desta prática é baseada em como a composição da dieta afeta a digestibilidade de nutrientes que, por sua vez, influencia indiretamente as características e as emissões de gases dos dejetos (Dinuccio, Berg, & Balsari, 2008). Neste sentido, Lala et al. (2020), ao encontrarem efeitos positivos da suplementação de fitase sobre a taxa de conversão alimentar de suínos, sugeriram que a fitase havia melhorado a disponibilidade dos nutrientes da dieta, como a utilização de PB e P, reduzindo os teores de nitrogênio (N) e P nos dejetos e, por consequência,

reduzindo também as emissões e os riscos ambientais. Monteiro, Dourmad, & Pozza (2017) também observaram uma redução da excreção de N relacionada à suplementação de fitase em dietas para suínos e, como resultado, menor emissão de óxido nitroso (N_2O).

Além do mais, a ação da enzima fitase sobre o teor de PB reduz a capacidade de tamponamento da dieta e também o pH dos dejetos produzidos (Kerr et al., 2006). Vale lembrar que é necessário meio ácido (pH abaixo de 7,0) para manter o nitrogênio liberado no estado não volátil. Em concordância, Petersen, Andersen, & Eriksen (2012) confirmaram que as emissões podem ser reduzidas pela acidificação dos dejetos animais, que limita a emissão de nitrogênio. Estas alterações nas características dos dejetos impactam as bactérias produtoras de metano, as quais são sensíveis às condições ambientais, principalmente de pH (6,8 – 7,4). A redução da produção de metano observada no estudo de Lala et al. (2020) foi atribuída ao acúmulo de ácidos orgânicos nos dejetos, favorecendo o crescimento de bactérias produtoras de ácido que, por sua vez, acidificaram ainda mais o meio e inibiram as bactérias produtoras de metano. Além do metano, estes mesmos pesquisadores também observaram uma queda na emissão de sulfeto de hidrogênio (H_2S) como um efeito da acidificação dos dejetos, causando a inibição de microrganismos anaeróbicos. Wang et al. (2014) observaram um efeito maior na redução das emissões de CH_4 , amônia (NH_3) e H_2S em decorrência da acidificação dos dejetos.

Por fim, o aumento da eficiência de utilização de nutrientes pelos suínos, um efeito positivo que pode ser proporcionado pela suplementação de fitase nas dietas, foi indicado por Clark et al. (2005) como o responsável por reduzir a emissão de CO_2 de dejetos de suínos.

Além de investigar o impacto do uso de altas doses de fitase e seus efeitos extra fosfóricos para leitões de creche, o presente estudo buscou também definir os níveis ótimos de suplementação de fitase para a máxima resposta de cada uma das variáveis avaliadas. Para esta finalidade, podem ser aplicados diferentes modelos matemáticos, de natureza linear ou não-linear, com características positivas ou negativas, capazes de influenciar diretamente a descrição das respostas e os critérios adotados para determinação do nível ótimo. Dentre os modelos utilizados para estimar a dose ótima de fitase, exibidos na Tabela 5, o quadrático platô foi o que melhor se ajustou aos dados, uma vez que apresentou as melhores estatísticas dos critérios de informação e de ajuste, isto é, os menores valores de AIC, AICc e BIC, e os maiores valores de R^2 , respectivamente.

Os modelos lineares LRP e QUA são amplamente utilizados para interpretar resultados de experimentos conduzidos com base no método dose-resposta por serem facilmente implementados nas análises estatísticas e pela sua interpretação simplificada das respostas biológicas (Siqueira et al., 2009). Entretanto, com o interesse de determinar a dose de fitase

para proporcionar o máximo desempenho dos leitões, esses dois modelos não foram os mais adequados, pois além de não serem capazes de descrever de maneira detalhada os pequenos acréscimos na resposta animal, apresentam estimativas divergentes para os níveis ótimos, em outras palavras, conduzem a subestimativas no LRP e superestimativas no QUA.

No modelo correspondente à primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP os valores de dose ótima de fitase obtidos são coerentes, já que proporcionaram estimativas intermediárias àquelas encontradas com o LRP e QUA, esquivando das críticas feitas a esses modelos, individualmente.

Os valores de dose ótima de fitase observados para a obtenção da máxima resposta dos animais, variando entre 1.000 e 1.309 FTU/kg, estão de acordo com a revisão de Kornegay (2001) a qual estimou estar entre 500 e 1.500 FTU/kg a suplementação de fitase necessária para alcançar o efeito máximo sobre o desempenho. A resposta quadrática observada para os valores de dose ótima de fitase é aceitável, pois Da Silva et al. (2019) esclareceram que a eficácia da fitase depende de alguns fatores, como categoria animal, tipo de dieta e fonte de fitase, e que, portanto, aumentar a dosagem da enzima não representa necessariamente uma melhoria linear da utilização de nutrientes.

Contudo, vale ressaltar que outros autores alcançaram máximas resposta de desempenho com doses de fitase muito elevadas, acima de 10.000 FTU/kg. Zeng et al. (2014) avaliaram o desempenho de leitões em fase de creche, alimentados com dietas limitantes em cálcio e fósforo e suplementadas com níveis crescentes de fitase (0, 500, 1.000 e 20.000 FTU/kg). Estes autores verificaram melhorias no ganho de peso e eficiência alimentar dos suínos alimentados com a superdosagem de fitase de 20.000 FTU/kg, comparados aos que foram alimentados com 500 FTU/kg. No mesmo sentido, Kies et al. (2006), avaliando o impacto de doses crescentes de fitase (0, 100, 250, 500, 750, 1.500 e 15.000 FTU/kg) sobre a digestibilidade de minerais para leitões de creche alimentados com dietas deficientes em fósforo, encontraram efeitos positivos para consumo de ração médio diário, ganho de peso médio diário e conversão alimentar até 15.000 FTU/kg. Uma possível explicação para as respostas lineares crescentes observadas nestes dois trabalhos é a diferença expressiva entre as doses de fitase adicionadas ao último e aos demais tratamentos de cada experimento, impelindo uma resposta linear crescente.

No presente estudo foram elaboradas dietas comerciais para suínos em fase de creche, a base de milho e farelo de soja, com níveis reduzidos de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia a partir da redução da inclusão da fonte de fósforo inorgânico, aminoácidos industriais e gordura animal. A suplementação dessas dietas com enzima fitase com doses entre 750 e 2.000 FTU/kg permitiu aos suínos apresentar desempenho semelhante ao grupo que consumiu a dieta com

níveis recomendados de nutrientes e energia para a fase de 40 a 70 dias. Essa constatação sugere que a fitase foi eficaz na melhoria da digestibilidade dos nutrientes da dieta e representa uma oportunidade interessante para reduzir os custos da ração sem provocar prejuízo ao desempenho animal.

5 CONCLUSÃO

A suplementação com fitase em 750, 1.375 e 2.000 FTU/kg em dietas a base de milho e farelo de soja, com níveis reduzidos de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia, melhorou o desempenho de suínos em fase de creche com idade entre 40 e 70 dias. A suplementação de fitase pode comportar uma redução dos níveis de fósforo, cálcio, aminoácidos e energia na dieta, sem inibir o desempenho animal. Os valores de dose ótima de fitase encontrados para a expressão da máxima resposta dos animais, acima da inclusão padrão recomendada pela indústria, podem ser viabilizados dado as possíveis reduções do custo das fórmulas de ração e ao aumento dos preços dos ingredientes, e precisam ser avaliados de maneira específica.

REFERÊNCIAS

- BRANDÃO, P. A. *et al.* Efeito da adição de fitase em rações de frangos de corte, durante as fases de crescimento e final. *Ciência e Agrotecnologia*, 2007. v. 31, n. 2, p. 492-498.
- BROCH, J. *et al.* High levels of dietary phytase improves broiler performance. *Animal Feed Science and Technology*, 2018. v. 244, p. 56-65.
- CLARK, O. G. *et al.* Manipulation of dietary protein and nonstarch polysaccharide to control swine manure emissions. *Journal of Environment Quality*, 2005. v. 34, n. 5, p. 1461-1466.
- COWIESON, A. J.; RAVINDRAN, V.; & SELLE, P. H. Influence of dietary phytic acid and source of microbial phytase on ileal endogenous amino acid flows in broiler chickens. *Poultry Science*, 2008. v. 87, n. 11, p. 2287-2299.
- COWIESON, A. J.; WILCOCK, P.; & BEDFORD, M. R. Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics. *World's Poultry Science Journal*, 2011. v. 67, n. 2, p. 225-236.
- DA SILVA, C. A. *et al.* Increasing doses of phytase from *Citrobacter braakii* in diets with reduced inorganic phosphorus and calcium improve growth performance and lean meat of growing and finishing pigs. *PLoS ONE*, 2019. v. 14, n. 5, e. 0217490.
- DERSJANT-LI, Y. *et al.* Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014. v. 95, n. 5, p. 878-896.
- DERSJANT-LI, Y. *et al.* Effect of increasing *Buttiauxella* phytase dose on nutrient digestibility and performance in weaned piglets fed corn or wheat based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 2017. v. 234, p. 101-109.
- DINUCCIO, E.; BERG, W.; & BALSARI, P. Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmospheric Environment*, 2008. v. 42, n. 10, p. 2448-2459.
- ENGELN, A. J. *et al.* Simple and rapid determination of phytase activity. *Journal of AOAC Internacional*, Washington, 1994. v. 77, n. 3, p. 760-764.
- FERREIRA, C. B. *et al.* Associação de carboidrases e fitase em dietas valorizadas e seus efeitos sobre desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras leves. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 2015. v. 67, n. 1, p. 249-254.
- GOMES, G. A. *Fitase e suas implicações na digestão e absorção de nutrientes*. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/fitase-implicacoes-digestao-absorcao-t38021.htm>. Acesso em: 13 ago. 2021.
- GRELA, E. R. *et al.* Influence of phytase supplementation at increasing doses from 0 to 1500 FTU/kg on growth performance, nutrient digestibility, and bone status in grower–finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. *Animals*, 2020. v. 10, n. 5, p. 847.

- HOLLOWAY, C. L. *et al.* *The impact of “super-dosing” phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods.* *Translational Animal Science*, 2019. v. 3, n. 1, p. 419-428.
- HOWSON, S. J.; & DAVIS, R. P. *Production of phytate-hydrolysing enzyme by some fungi.* *Enzyme and Microbial Technology*, 1983. v. 5, n. 5, p. 377-382.
- IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos.* 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. p. 1018.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2016. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 12 out. 2021.
- JOHNSON, D. E.; & MILLIKEN, G. A. *Analysis of Messy Data Volume 1: Designed Experiments.* 2. ed. Chapman and Hall/CRC, 2009.
- KERR, B. J. *et al.* *Manure composition of swine as affected by dietary protein and cellulose concentrations.* *Journal Animal Science*, 2006. v. 84, p. 1584-1592.
- KIES, A. K. *et al.* *Effect of graded doses and a high dose of microbial phytase on the digestibility of various minerals in weaner pigs1.* *Journal of Animal Science*, 2006. v. 84, n. 5, p. 1169-1175.
- KORNEGAY, E. T. *Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity.* CABI Publishing, London. p. 237-271.
- LALA, A. O. *et al.* *Impact of reduced dietary crude protein levels and phytase enzyme supplementation on growth response, slurry characteristics, and gas emissions of growing pigs.* *Animal Science Journal*, 2020. v. 91, n. 1.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Principles of biochemistry.* 2. ed. New York: Worth Publishers, 1993. p. 1013.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de Bioquímica.* São Paulo: Sarvier, 1995.
- LIU, N. *et al.* *Effect of diet containing phytate and phytase on the activity and messenger ribonucleic acid expression of carbohydrase and transporter in chickens.* *Journal of Animal Science*, 2008. v. 86, n. 12, p. 3432-3439.
- MAGA, J. A. *Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington DC, 1982. v. 30, n. 1, p. 1-9.
- MAGNAGO, J. G. P. *et al.* *Níveis de fitase sobre o desempenho, parâmetros ósseos e bioquímicos de suínos alimentados com ração de origem vegetal sem inclusão de fosfato bicálcico.* *Ciência Rural*, 2015. v. 45, n. 7, p. 1286-1291.

MONTEIRO, A. N.; DOURMAD, J. Y.; & POZZA, P. C. *Life cycle assessment as a tool to evaluate the impact of reducing crude protein in pig diets*. *Ciência Rural*, Santa Maria, 2017. v. 47, n. 6, e. 20161029.

MORAN, K. *et al.* *Effects of super-dosing phytase and inositol on growth performance and blood metabolites of weaned pigs housed under commercial conditions*. *Journal of Animal Science*, 2019. v. 97, p. 3007-3015.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. *Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 313.

PETERSEN, S. O.; ANDERSEN, A. J.; & ERIKSEN, J. *Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage*. *Journal of Environment Quality*, 2012. v. 41, n. 1, p. 88-94.

RAVINDRAN, V.; COWIESON, A. J.; SELLE, P. H. *Influence of dietary electrolyte balance and microbial phytase on growth performance, nutrient utilization, and excreta quality of broiler chickens*. *Poultry Science*, 2008. v. 87, p. 677-688.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2017.

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

SHIRLEY, R.; & EDWARDS, H. *Graded levels of phytase past industry standards improves broiler performance*. *Poultry Science*, 2003. v. 82, n. 4, p. 671-680.

SIQUEIRA, J. C. *et al.* *Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2009. v. 38, n. 9, p. 1732-1737.

TORRE, M.; RODRIGUEZ, A. R.; & SAURA-CALIXTO, F. *Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1991. v. 30, n. 1, p. 1-22.

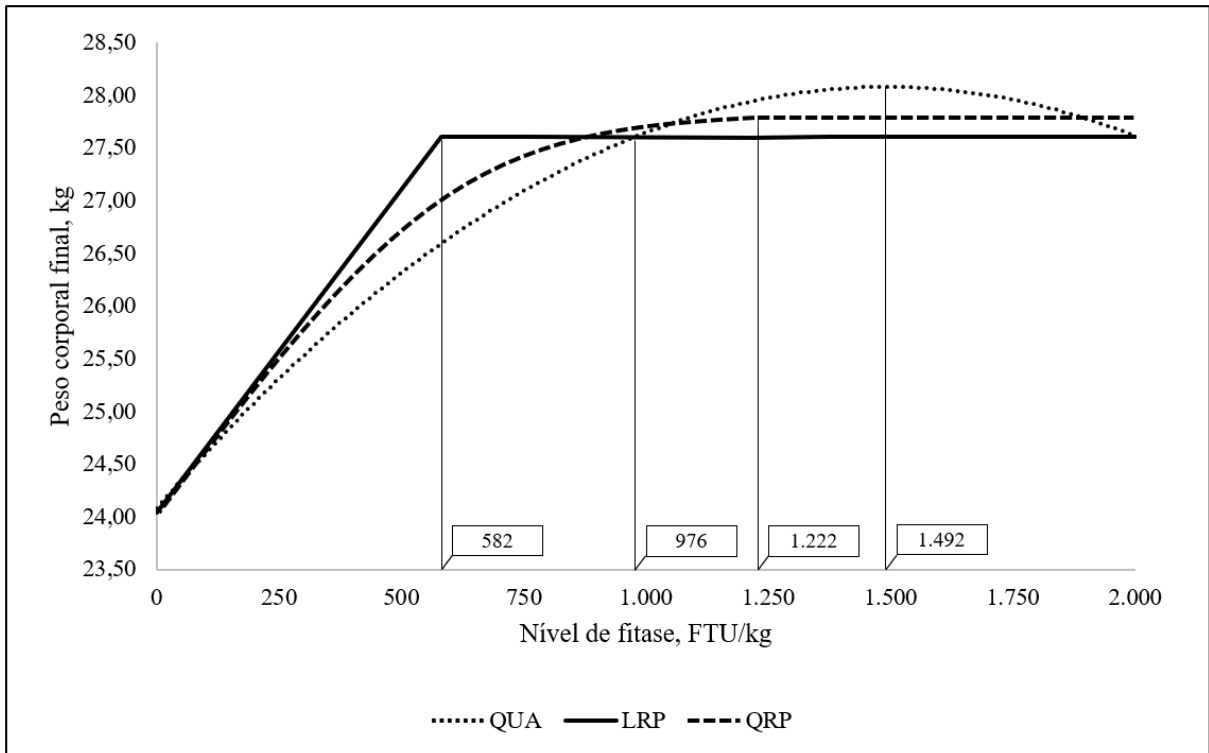
WANG, K. *et al.* *Effects of acidification during storage on emissions of methane, ammonia and hydrogen sulphide from digested pig slurry*. *Biosystems Engineering*, 2014. v. 122, p. 23-30.

WILLIAMS, W. J. *Handbook of Anion Determination*. Butterworths: London, 1979.

ZENG, Z. K. *et al.* *Effects of adding super dose phytase to the phosphorus-deficient diets of young pigs on growth performance, bone quality, minerals and amino acids digestibilities*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014. v. 27, n. 2, p. 237-246.

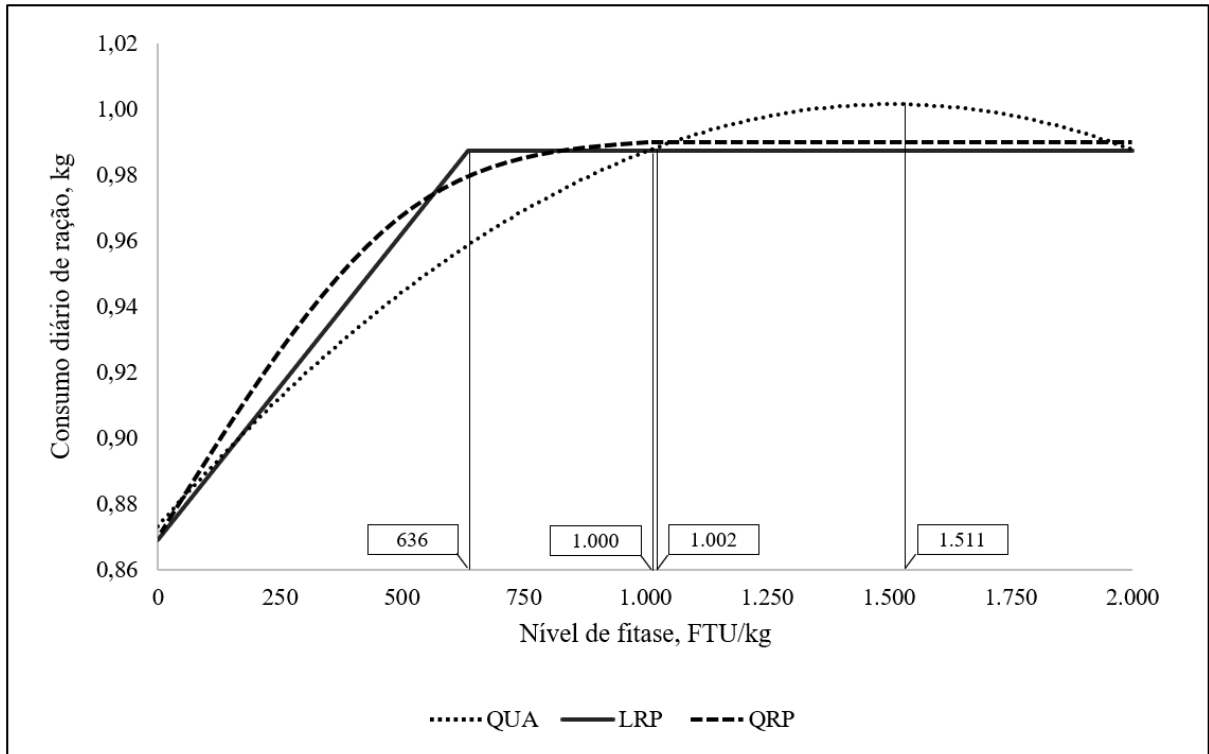
FIGURAS

Figura 1 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para peso corporal final, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase



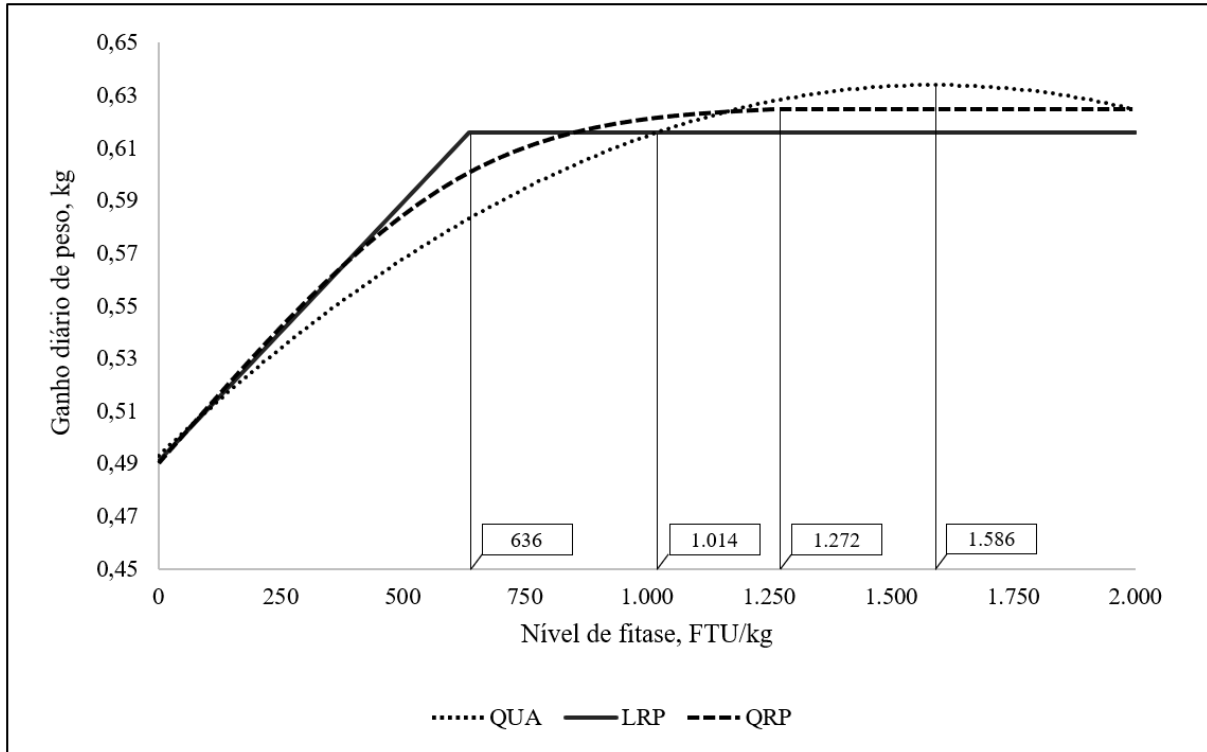
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 2 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para consumo diário de ração, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase



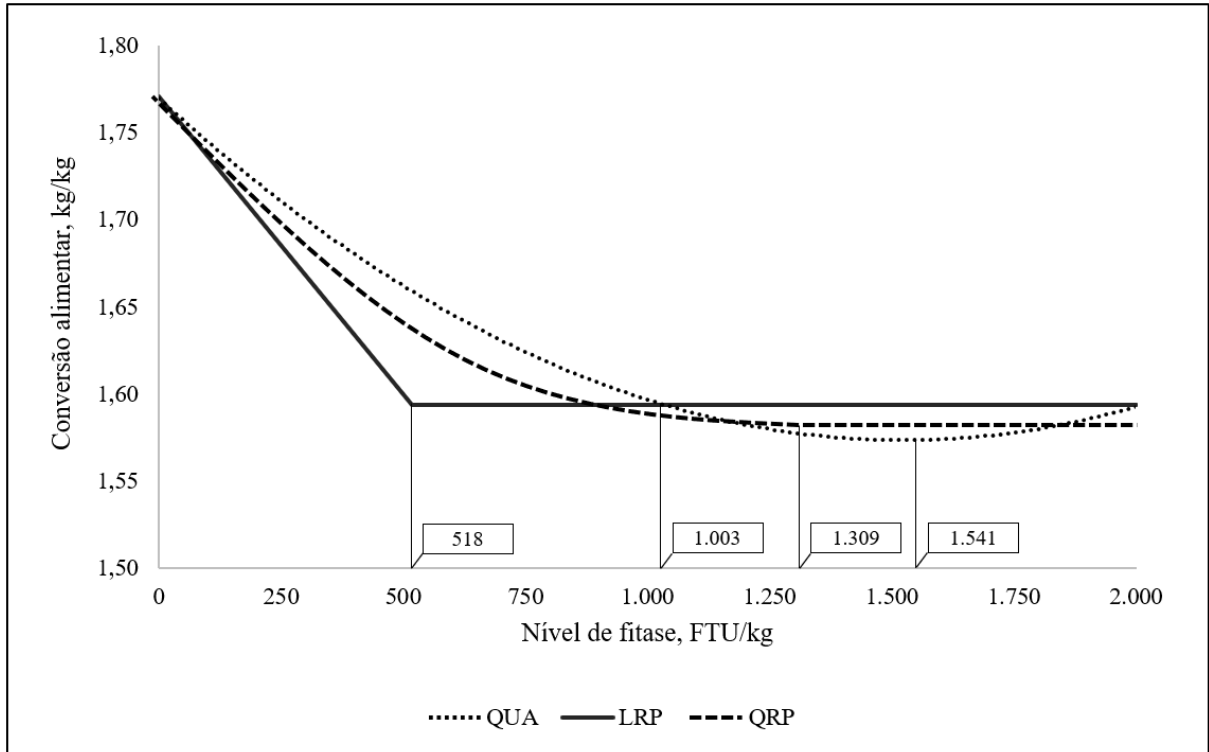
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 3 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para ganho diário de peso, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4 – Representação gráfica da estimativa do nível de fitase para conversão alimentar, por meio dos modelos quadrático (QUA), resposta linear platô (LRP), resposta quadrático platô (QRP) e a interseção entre os modelos quadrático e resposta linear platô (QUA/LRP), para leitões de 40 a 70 dias de idade suplementados com diferentes doses de fitase



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

TABELAS

Tabela 1 – Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais (continua)

Ingredientes	Tratamentos				
	CP	CN	CN+750 FTU ¹	CN+1375 FTU	CN+2000 FTU
Milho	574,220	603,540	603,460	603,400	603,340
Farelo de soja	320,000	320,000	320,000	320,000	320,000
Açúcar	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Vitaminas ²	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Micromineral ³	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Antioxidante	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
Sal comum	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Sulfato de cobre	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Óxido de zinco	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Biocolina 60%	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
Palatabilizante ⁴	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Antimicrobianos ⁵	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
Larvicida ⁶	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Antipirético ⁷	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
L-lisina HCl	4,950	4,620	4,620	4,620	4,620
DL-metionina	2,460	1,920	1,920	1,920	1,920
L-treonina	2,380	1,880	1,880	1,880	1,880
L-triptofano	0,490	0,250	0,250	0,250	0,250
L-valina	0,750	0,380	0,380	0,380	0,380
Gordura de bovinos	37,730	18,860	18,860	18,860	18,860
Fosfato bicálcico	14,600	5,040	5,040	5,040	5,040
Calcário calcítico	6,590	7,680	7,680	7,680	7,680
Fitase	0,0000	0,0000	0,0750	0,1375	0,2000
Total	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000

Tabela 1 – Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais (conclusão)

Composição calculada					
E. metabolizável, kcal/kg	3.375,000	3.314,000	3.314,000	3.314,000	3.314,000
Gordura, %	6,391	4,623	4,623	4,623	4,623
Proteína bruta, %	19,858	19,367	19,367	19,367	19,367
Lisina digestível, %	1,300	1,280	1,280	1,280	1,280
Metionina digestível, %	0,502	0,498	0,498	0,498	0,498
Metionina + cistina digestível, %	0,780	0,736	0,736	0,736	0,736
Treonina digestível, %	0,871	0,832	0,832	0,832	0,832
Triptofano digestível, %	0,260	0,237	0,237	0,237	0,237
Arginina digestível, %	1,217	1,202	1,202	1,202	1,202
Valina digestível, %	0,884	0,857	0,857	0,857	0,857
Isoleucina digestível, %	0,740	0,710	0,710	0,710	0,710
Fibra bruta, %	2,692	2,692	2,692	2,692	2,692
Cálcio total, %	0,700	0,508	0,508	0,508	0,508
Fósforo total, %	0,593	0,418	0,418	0,418	0,418
Fósforo disponível, %	0,375	0,200	0,200	0,200	0,200
Sódio, %	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216

CP = controle positivo, CN = controle negativo, CN+750 FTU = controle negativo com 750 FTU por kg de ração, CN+1375 FTU = controle negativo com 1.375 FTU por kg de ração, CN+2000 FTU = controle negativo com 2.000 FTU por kg de ração.

¹Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

²Conteúdo/kg de produto: vitamina A, 28.500 KUI; vitamina D3, 5.800 KUI; vitamina E, 160 g; vitamina K3, 6.000 mg; vitamina B1, 5.400 mg; vitamina B2, 12.000 mg; vitamina B6, 7.000 mg; vitamina B12, 70.000 mcg; ácido pantotênico, 45.000 mg; niacina, 75.000 mg; ácido fólico, 7.000 mg; biotina, 850.000 mcg.

³Conteúdo/kg de produto: ferro, 100.000 mg; iodo, 1.000 mg; cobre, 20.000 mg; manganês, 50.000 mg; selênio, 400 ppm; zinco, 100.000 mg.

⁴Conteúdo/kg de produto: sacarina sódica, 650 g; esteviol, 65 g; ciclamato de sódio, 72 g.

⁵500 g amoxicilina/kg (Farmaxilin 50, Farmabase, Jaguariúna, SP, Brasil); 600 g halquinol/kg (H-Max, Farmabase, Jaguariúna, SP, Brasil).

⁶250 g ciromazina/kg (Cydex, Farmabase, Jaguariúna, SP, Brasil).

⁷752,4 g ácido acetilsalicílico/kg (Agespirin, Agener União, São Paulo, SP, Brasil).

Tabela 2 – Matriz do equivalente nutricional da fitase Quantum Blue 10 G e contribuição final na dieta para 750 FTU/kg¹ de ração

Nutrientes da matriz	Equivalente nutricional	Contribuição final
Inclusão, g/ton	75,000	75,000
Fósforo disponível, %	2.334,000	0,175
Cálcio, %	2.560,000	0,192
Sódio, %	534,000	0,040
Lisina, %	266,000	0,020
Metionina, %	58,000	0,004
Cistina, %	528,000	0,040
Metionina + cistina, %	586,000	0,044
Treonina, %	520,000	0,039
Triptofano, %	300,000	0,023
Valina, %	354,000	0,027
Isoleucina, %	400,000	0,030
Arginina, %	206,000	0,015
Glicina + serina, %	886,000	0,066
Proteína bruta, %	6.546,000	0,491
E. metabolizável, kcal/kg	813.334,000	61,000
E. líquida, kcal/kg	650.668,000	54,400

¹Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

Tabela 3 – Atividade de fitase e composição química das dietas experimentais¹

	CP	CN	CN+750 FTU ²	CN+1375 FTU	CN+2000 FTU
Atividade de fitase, FTU/kg	0	0	980	1.160	1.855
Proteína bruta, %	19,40	19,58	19,15	19,50	18,01
Matéria seca, %	11,09	11,31	11,45	11,35	12,50
Matéria mineral, %	5,12	4,84	4,51	4,38	4,72
Cálcio, %	0,78	0,66	0,61	0,62	0,68
Fósforo, %	0,56	0,41	0,38	0,40	0,41

CP = controle positivo, CN = controle negativo, CN+750 FTU = controle negativo com 750 FTU por kg de ração, CN+1375 FTU = controle negativo com 1.375 FTU por kg de ração, CN+2000 FTU = controle negativo com 2.000 FTU por kg de ração.

¹Com base na matéria natural.

²Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

Tabela 4 – Estimativa da emissão de dióxido de carbono equivalente para suínos suplementados com fitase de 40 a 70 dias de idade

	Tratamentos				
	CP	CN	CN+750 FTU ¹	CN+1375 FTU	CN+2000 FTU
CO ₂ e emitido/kg de peso vivo, kg	3,003	2,689	2,894	2,941	2,802
Ganho de peso, kg/animal	18,436	14,244	17,436	18,106	17,867
CO ₂ e emitido/kg de ganho de peso, kg	0,163	0,191	0,166	0,163	0,157
CO ₂ e emitido corrigido ² /kg de peso vivo, kg	2,807	3,291	2,855	2,804	2,699

¹Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

²Quantidade de CO₂e emitido por kg de peso vivo, ajustado à média de ganho de peso entre os tratamentos, que foi de 17,2 kg durante o período experimental.

Tabela 5 – Efeito da superdosagem de fitase no desempenho de crescimento para suínos na fase de 40 a 70 dias de idade

Parâmetro	Tratamentos					EPM	Probabilidade		
	CP	CN	CN+750 FTU ¹	CN+1375 FTU	CN+2000 FTU		Tratamento	Linear	Quadrático
PC final, kg	28,230a	24,040*b	27,230a	27,900a	27,660a	0,342	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 ²
CDR, kg	1,004a	0,869*b	0,985a	0,984a	0,994a	0,012	< 0,0001	< 0,0001	0,0004 ³
GDP, kg	0,636a	0,491*b	0,601a	0,624a	0,627a	0,012	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 ⁴
CA, kg/kg	1,581a	1,771*b	1,622a	1,578a	1,592a	0,033	< 0,0001	< 0,0001	0,0002 ⁵

CP = controle positivo, CN = controle negativo, CN+750 FTU = controle negativo com 750 FTU por kg de ração, CN+1375 FTU = controle negativo com 1.375 FTU por kg de ração, CN+2000 FTU = controle negativo com 2.000 FTU por kg de ração.

PC = peso corporal, CDR = consumo diário de ração, GDP = ganho diário de peso, CA = conversão alimentar.

EPM = erro-padrão da média.

*Diferença significativa (P < 0,05) pelo teste de Dunnett entre o tratamento CP e cada um dos tratamentos.

a,b = médias seguidas por letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes pelo teste Tukey (P < 0,05).

¹Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).

²Y = -0,0000018x² + 0,00537x + 24,0738; P valor < 0,0001; R² = 0,68.

³Y = -0,0000000566x² + 0,000171x + 0,8729; P valor = 0,0004; R² = 0,55.

⁴Y = -0,0000000561x² + 0,000178x + 0,493; P valor < 0,0001; R² = 0,78.

⁵Y = 0,00000008x² - 0,0003x + 1,7699; P valor = 0,0002; R² = 0,67.

Tabela 6 – Estimativas de dose ótima de fitase (FTU/kg¹) por diferentes procedimentos matemáticos para suínos na fase de 40 a 70 dias de idade

Parâmetro	Modelo	Inclusão Ótima	Resposta Máxima	Critérios de informação e modelos de seleção						P valor
				-2LogLikelihood	AIC	AICc	BIC	R ²	R ² ajustado	
PC final, kg	QUA	1.492	28,085	128,80	136,80	138,30	142,70	0,68	0,63	< 0,0001
	LRP	582	27,604	130,50	138,50	140,00	144,40	0,67	0,62	< 0,0001
	QRP	1.222	27,790	95,40	103,40	104,50	108,90	0,68	0,63	< 0,0001
	QUA/LRP	976	27,604							
CDR, kg	QUA	1.511	1,002	124,10	132,10	133,60	137,90	0,55	0,48	0,0004
	LRP	636	0,987	121,20	129,20	130,70	135,10	0,57	0,51	< 0,0001
	QRP	1.000	0,990	94,50	102,50	104,00	108,40	0,57	0,51	< 0,0001
	QUA/LRP	1.002	0,987							
GDP, kg	QUA	1.586	0,634	117,10	125,10	126,60	130,80	0,78	0,75	< 0,0001
	LRP	636	0,616	117,40	125,40	127,00	131,20	0,76	0,73	< 0,0001
	QRP	1.272	0,625	-131,40	-123,40	-121,80	-117,60	0,79	0,76	< 0,0001
	QUA/LRP	1.014	0,616							
CA, kg/kg	QUA	1.541	1,569	113,30	121,30	122,90	126,90	0,67	0,62	0,0002
	LRP	518	1,594	110,60	118,60	120,20	124,20	0,38	0,28	< 0,0001
	QRP	1.309	1,583	87,80	79,80	78,20	74,20	0,67	0,62	< 0,0001
	QUA/LRP	1.003	1,594							

PC = peso corporal, CDR = consumo diário de ração, GDP = ganho diário de peso, CA = conversão alimentar.

QUA = modelo quadrático, LRP = modelo “Linear Response Plateau”, QRP = modelo quadrático platô, QUA/LRP = interseção entre os modelos QUA e LRP.

AIC = critério de informação de Akaike, AICc = critério de informação de Akaike corrigido, BIC = critério de informação Bayesiano, R² = coeficiente de determinação.

¹Fitase Quantum Blue 10 G (AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, Reino Unido), FTU = unidade de fitase, definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de fósforo inorgânico durante um minuto de reação em uma solução de fitato de sódio 5,1 mmol/L em pH 5,5 e temperatura de 37°C (Engelen et al., 1994).