

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES PARA LEITÕES NA FASE DE
CRECHE ALIMENTADOS COM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM
FITASE**

Simone Vitória da Cunha

**Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild
Coorientadora: Dra. Alini Mari Veira**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES PARA LEITÕES NA FASE DE
CRECHE ALIMENTADOS COM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM
FITASE**

Simone Vitória da Cunha

**Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild
Coorientadora: Dra. Alini Mari Veira**

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica) apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal – SP
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

C972d

Cunha, Simone Vitória da

Digestibilidade dos nutrientes para leitões na fase de creche alimentados com rações suplementadas com fitase /Simone Vitória da Cunha. -- Jaboticabal, 2025

41 p. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Luciano Hauschild

Coorientadora: Alini Mari Veira

1. Fósforo. 2. Fitases. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CERTIFICADO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



Simone Vitória da Cunha

**Digestibilidade dos nutrientes para leitões na fase de creche alimentados com rações
suplementadas com fitase**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild
Coorientadora: Dra. Alini Mari Veira

Área de Concentração: Nutrição de Suínos

Data da defesa: 11/07/2025

(x) Aprovado
() Reprovado

Banca Examinadora:

Alini Mari Veira

Dra. Alini Mari Veira

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Danilo Alves Marçal

Prof. Dr. Danilo Alves Marçal

UB – Universidade Brasil

Audasley Tadeu Santos Fialho

Me. Audasley Tadeu Santos Fialho

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

18 / 07 / 2025

José Mauricio Barbanti Duarte
Prof. Dr. José Mauricio Barbanti Duarte
Chefe do Departamento

DEDICATÓRIA

Ao meus pais biológicos e ao meu pai de coração.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e a oportunidade de chegar até aqui.

A minha mãe, que sempre me colocou acima de tudo e se sacrificou para que eu tivesse oportunidades melhores do que as que lhe foram dadas.

Ao meu pai, que me inspira a nunca desistir e a ser sempre a melhor versão de mim mesma, através do legado marcante que deixou.

Ao meu padrinho, que não tinha obrigação de ficar, mas escolheu fazê-lo.

A minha família, que em todos os momentos se fez presente e perdoou minha ausência durante os anos de graduação.

As minhas amigas, Amanda, Beatriz, Letícia, Maria e Giulia que foram porto seguro, amor e descontração durante as turbulências acadêmicas.

Ao professor Luciano, por todos os ensinamentos dentro e fora da sala de aula e pela confiança depositada em mim.

A minha coorientadora Alini, que foi essencial durante esse trabalho. Sem você nada seria disso seria possível. É um exemplo pessoa e profissional.

Ao LabSui pela parceria, pelos ensinamentos, apoio e incentivo. Sou grata pela oportunidade de fazer parte dessa equipe.

Ao José Antônio Segeci, pela amizade e pelo conhecimento que não se encontra nos livros.

Ao PET Zootecnia, que representa uma parte importante da trajetória acadêmica e pessoal.

A todos que acompanharam a minha trajetória durante esses cinco anos, dentro e fora da Unesp, cada segundo foi extremamente importante e os levo comigo onde quer que eu vá.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ingredientes e composição nutricional analisada das dietas.....	19
Tabela 2. Peso corporal e consumo de ração diário (CRD) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	28
Tabela 3. Digestibilidade total aparente da energia bruta (EB) e concentrações de energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	29
Tabela 4. Digestibilidade total aparente e balanço do nitrogênio (N) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	30
Tabela 5. Digestibilidade total aparente e balanço do fósforo (P) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	31
Tabela 6. Digestibilidade total aparente e balanço do cálcio (Ca) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	32
Tabela 7. Digestibilidade total aparente e balanço do sódio (Na) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1	Fósforo fítico.....	10
2.2	Fitase.....	12
2.3	Fitase na fase de creche	14
2.4	Digestibilidade	15
2.5	Sustentabilidade	16
3	OBJETIVO	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1	Animais, instalações e delineamento experimental	17
4.2	Dietas experimentais.....	18
4.3	Manejo e coleta de dados.....	21
4.4	Análises químicas	21
4.5	Análise estatística	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÃO	33
7	RESUMO.....	34
8	SUMMARY	35
9	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A produção de carne suína tem demonstrado expressivo crescimento ao decorrer dos anos, representando 34% da produção mundial de carne em 2022, com um total de 123 milhões de toneladas (World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024, 2024). Dentro do cenário mundial, o Brasil apresenta uma posição de destaque com elevados níveis de produção, alcançando um total de 5,306 milhões de toneladas em 2024, se posicionando no ranking como 4º maior produtor e exportador de carne suína (ABPA, 2025).

Nesse contexto, a nutrição na criação de suínos passa por constantes atualizações, com o objetivo de melhorar os resultados produtivos por meio de estratégias alimentares. As rações oferecidas aos animais na suinocultura industrial são, em sua maioria, formuladas com base em alimentos de origem vegetal, que podem apresentar fatores antinutricionais, tais como o fitato, que possui a capacidade de interferir negativamente no processo digestivo e absorptivo dos nutrientes (Bertechini, 2006)

O fitato, ou ácido fítico, possui cerca de 70% do fósforo (P) encontrado nas leguminosas e é ligado estruturalmente a minerais e proteínas (Zhou; Erdman, 1995). Sendo assim, o fitato é uma molécula rica em P, entretanto esse P não é absorvido por animais monogástricos, como os suínos, devido à falta da quantidade adequada de enzimas em seu organismo para hidrolisar essa molécula (Kies; Van Hemert; Sauer, 2001). Adicionalmente, o ácido fítico presente nos vegetais é capaz de interagir com outros minerais além do P, especialmente cálcio (Ca), ferro (Fe) e zinco (Zn), bem como com aminoácidos, reduzindo assim a absorção desses nutrientes (Humer; Schwarz; Schedle, 2015). O fitato também interage com o sódio (Na), viabilizando a transição de Na^+ para o intestino delgado e prejudicando os sistemas de transportes dependentes do Na^+ e a atividade da bomba de ATP (Na^+ , K^+ , ATPase; Selle et al., 2012). Em decorrência, pode existir uma alta concentração desses elementos nas excretas dos animais, o que pode contribuir para maior poluição do meio ambiente (Kies; Van Hemert; Sauer, 2001).

Portanto, aditivos que auxiliem na hidrólise de moléculas não digestíveis, como o fitato, com consequente melhora na disponibilidade dos nutrientes, são estratégias amplamente aplicadas na suinocultura. Neste caso, a enzima exógena fitase pode ser utilizada na nutrição de suínos com o objetivo de hidrolisar as moléculas de fitato, otimizando a disponibilidade e absorção dos nutrientes ligados a ele. Essa estratégia

permite a redução da excreção de elementos poluidores no meio ambiente, a redução do uso de fontes inorgânicas de P e Ca e pode contribuir para uma melhor utilização da energia e dos aminoácidos (AA) contidos nos alimentos (Bedford, 2000). Esse efeito benéfico da fitase ocorre por meio da desfosforilação do fitato, que resulta na liberação do P ligado ao fitato (P-fitato), bem como de outros nutrientes, aumentando a absorção dos mesmos (Selle; Ravindran, 2008).

Estudos na literatura tem demonstrado que a utilização da enzima fitase demonstraram resultados satisfatório. Dersjant-Li et al., (2015) relataram que uma dose de fitase de 500 FTU/kg de ração normalmente atinge 40 a 60% de degradação de fitato no final do intestino delgado, contra 10 a 40% em dietas não suplementadas. Melhorias ainda foram relatadas quanto a digestibilidade do P, Ca, AA e energia ao utilizarem doses de fitase entre 500 FTU/kg e 2.000 FTU/kg (Bento et al., 2012; Adedokun et al., 2015; Dersjant-Li et al., 2017; Arredondo; Casas; Stein, 2019). Diante do exposto, fica evidente que tanto a utilização da enzima exógena fitase, bem como a dose utilizada podem impactar na digestibilidade dos nutrientes e energia para suínos.

Adicionalmente, a utilização de fitase para leitões na fase de creche pode ser particularmente promissora devido a fase em que o trato gastrointestinal desses animais jovens e recém desmamados se encontra. Nessa fase, o sistema digestivo dos leitões é imaturo (Su et al., 2022) e a secreção de enzimas digestivas é reduzida após o desmame, dificultando o processo de digestão e absorção de nutrientes (Jensen; Jensen; Jakobsen, 1997). Portanto, ao adicionar a enzima exógena fitase na alimentação dos suínos em fase de creche, presume-se que haverá melhora na digestibilidade dos nutrientes e energia. Sendo assim, este estudo foi proposto para avaliar a digestibilidade dos nutrientes e energia em suínos na fase de creche alimentados com dietas suplementadas com fitase exógena.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fósforo fítico

O fósforo é um mineral essencial e atua em vários processos biológicos, sendo componente do DNA e atua no metabolismo energético (Lautrou et al., 2020). O fósforo está presente na composição do sistema esquelético na forma de cristais de hidroxiapatita, que é o responsável por manter a estrutura corporal, auxiliar na movimentação e proteger

os órgãos internos. Também é encontrado na membrana celular no formato de fosfolipídios, que proporciona integridade estrutural e controla o fluxo de moléculas na célula. No DNA, está presente na composição da espinha dorsal como grupos fosfato, contribuindo para uma função de extrema importância: transferir informação genética de geração em geração (Zhai; Adeola; Liu, 2022). O fósforo atua no sistema de armazenamento e transporte de energia dentro das células, efetuado pela adenosina-5'-trifosfato (ATP), liberando-a por meio da transferência de grupos fosfato, um processo essencial para todas as atividades celulares (Knowles, 1980).

A quantidade de P presente no organismo também interfere na absorção do Ca e, por isso, devem estar sempre proporcionais na dieta ofertada (relação Ca:P). Isso ocorre devido a solubilidade desses produtos, a absorção acima do necessário de um, afetará a absorção do outro e a ausência de ambos afeta a formação dos ossos e desempenho dos animais (Wu et al., 2020). Stein et al. (2011) propuseram que essa interferência ocorre devido à formação de um complexo Ca-P no trato gastrointestinal, o qual dificulta a absorção de P quando o Ca está em níveis elevados. Vier et al. (2019) evidenciaram o efeito prejudicial de uma relação Ca:P desequilibrada, mostrando que níveis acima de 1,4:1 resultam em queda no ganho de peso diário (GPD) e na eficiência alimentar (EA) em suínos alimentados com rações suplementadas com P.

Ademais, Just et al. (2018) demonstraram que uma dieta pobre em P apresentou efeito sobre as características imunitárias do jejuno, evidenciando que a disponibilidade de fósforo pode interferir no estado de saúde do animal. Dessa forma ocorre também com o Ca, cujo a ausência na dieta ocasiona na mobilização desse mineral que está presente nos ossos para suprir a necessidade metabólica, tornando o animal suscetível a distúrbios ósseos (Peixoto, 2004).

O P dietético é fornecido pela composição nutricional dos ingredientes de origem vegetal ou animal utilizado para a formulação de ração ou pela adição de fósforo inorgânico (Waldroup, 1999). O P contido nos vegetais é armazenado como fitato (Eeckhout; De Paepe, 1994), uma molécula rica em P, entretanto, o P encontrado no fitato (P-fitato) não é absorvido por animais monogástricos, como os suínos, que não possuem a quantidade adequada de enzimas para hidrolisar o fitato (Kies; Van Hemert; Sauer, 2001).

O ácido fítico não interfere somente na absorção do P, pois interage com outros minerais e proteínas, inibindo sua absorção (Cheryan; Rackis, 1980). O P-fitato apresenta uma alta carga negativa (Barrientos; Murthy, 1996) que proporciona um alto potencial para se complexar com cátions positivamente carregados, especialmente Fe, Zn, magnésio (Mg), Ca e Na (Cosgrove; Irving, 1980; Cowieson; Acamovic; Bedford, 2004).

Com isso, a suplementação dos minerais com fontes inorgânicas, como o fosfato bicálcico, calcário calcítico, cloreto de sódio e premix mineral, é a alternativa mais utilizada para atender à exigência nutricional dos suínos. No entanto, essas fontes inorgânicas, além de serem um recurso não renovável, representam um aumento considerável do custo da alimentação (Humer; Schwarz; Schedle, 2015).

Consequentemente, faz-se necessário a busca por estratégias nutricionais que sejam economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. Dentro desse contexto, a utilização de aditivos alimentares que promovam a melhoria da absorção dos nutrientes por meio da hidrólise de moléculas indigestíveis é uma estratégia promissora. Diante disso, a enzima exógena fitase se torna uma opção viável na nutrição de suínos.

2.2 Fitase

A fitase (*myo*-inositol hexakisphosphate phosphohydrolase) é uma enzima utilizada para hidrolisar o fitato. Esse composto faz parte dos ingredientes de origem vegetal utilizados nas dietas de animais monogástricos. Ao ser degradado, libera o P-fitato e outros nutrientes que possam estar ligados a essa molécula. A fitase vem sendo utilizada há anos na nutrição animal (Selle; Ravindran, 2008), pois reduz o efeito antinutricional do fitato e a contaminação ambiental, potencializa a atuação das enzimas endógenas e a disponibilidade dos nutrientes para absorção, adicionando um efeito valorizador a dieta (Machado; Geraldo; Santos, 2010).

Apesar da primeira geração de fitase microbiana comercial ter sido disponibilizada no mercado em 1991 (Dersjant-Li et al., 2015), ela tem sido mais empregada nas formulações nos últimos anos. Isso se deve ao fato da inclusão de subprodutos de origem animal, como carne e ossos, ter sido proibida na alimentação de animais monogástricos em alguns países (Selle; Ravindran, 2008), o que correspondia a 57% do P presente na dieta de aves e suínos (Rodehutscord et al., 2002). Em 2000, a União Europeia (UE) adotou a proibição, gerando uma demanda de 110 mil toneladas de

P que pode ser reduzida para 26 mil toneladas com a utilização da fitase (Rodehutschord et al., 2002).

A enzima também ganhou aceitação devido à sua capacidade de reduzir os níveis de P excretado pelos animais, uma ação ecologicamente necessária, e ao reconhecimento científico e prático de seus benefícios na nutrição de suínos (Selle; Ravindran, 2008). A disponibilidade de diversas fitases no mercado, com preços mais acessíveis, também contribuiu para sua ampla utilização em dietas de suínos e aves (Selle; Ravindran, 2008).

Para Bedford (2000) e Nagashiro (2007) as principais razões para a inclusão da enzima na alimentação dos suínos estão no aumento no valor nutritivo devido a disponibilização dos nutrientes, que melhora o ganho de peso e a conversão alimentar, e na redução do custo com a ração por utilizar uma menor quantia de ingredientes mais caros, como os fosfatos e calcários.

A atividade da fitase é mensurada em unidades de fitase (FTU) por quilograma (kg-1) (Engelen et al., 1994). A fitase não apenas se apresenta como uma fonte alternativa de P, mas também contribui para a redução da excreção desse mineral, um benefício ambiental crucial devido à natureza não renovável das reservas mundiais de P. Adicionalmente, seus efeitos além do fósforo podem otimizar a disponibilidade de macro e microminerais, bem como a utilização de proteínas/AA e energia (Selle; Ravindran, 2008).

Para suínos, a fitase pode ser obtida de quatro formas: a) enzimas endógenas geradas no intestino delgado; b) atividades de enzimas microflorais no intestino grosso; c) fitase derivada de alimentos de origem vegetal submetidos a tratamento de calor; e d) por meio da inclusão exógena da enzima (Selle e Ravindran, 2008). Dentre essas, a enzima exógena é considerada a mais eficaz, já que o pH ácido do estômago favorece sua atividade e inibe a das outras enzimas (Phillippy, 1999). Apesar dos benefícios observados, ainda existem lacunas na literatura quanto à quantidade ideal de FTU a ser utilizada para maximizar o desempenho. Estudos mostram bons resultados com níveis entre 500 e 2.000 FTU/kg, com melhorias na degradação do fitato e na digestibilidade de P, Ca, AA e energia, além de efeitos positivos com o aumento da dosagem.

Diante do exposto, espera-se que a fitase seja particularmente benéfica na fase de creche devido a sensibilidade do trato gastrointestinal característica desse momento,

quando o animal deixa de se alimentar majoritariamente de líquido e passa a consumir somente um alimento sólido.

2.3 Fitase na fase de creche

Na suinocultura, a fase de creche pode ser considerada uma das mais desafiadoras. Essa é uma fase complexa para os leitões, que precisam lidar com a separação repentina da mãe, mistura de leitegadas e mudança de um alimento líquido altamente digestível para uma alimentação sólida menos digestível (Lallès et al., 2007). Nessa fase ocorre o processo de desmame, realizado aos 21 ou 28 dias de idade dos animais, que caracteriza o início da fase de creche na produção de suínos. Geralmente o desmame não é um processo realizado gradualmente, mas de forma abrupta resultando em uma queda de consumo e desempenho dos animais (Dong; Pluske, 2007), bem como um aumento na incidência de distúrbios intestinais, infecções e diarreias (Lallès et al., 2004).

Hampson (1986) mostrou que leitões desmamados apresentam menor desempenho em relação aos não desmamados em razão das mudanças morfológicas as quais foram submetidos, como o aumento na profundidade das criptas, da complexidade da morfologia das vilosidades e redução na altura dos vilos, diminuindo a absorção dos nutrientes. Com isso, surge a necessidade de estratégias que diminuam esses distúrbios intestinais e mantenham respostas adequadas de desempenho (Lallès et al., 2007; Humer; Schwarz; Schedle, 2015).

A inclusão da fitase na alimentação dos animais é uma conhecida estratégia para diminuir os problemas fisiológicos e nutricionais que ocorrem na fase de creche (Rocha et al., 2008), porque melhora a digestibilidade de minerais, AA e energia dos alimentos fornecidos na dieta (Haefner et al., 2005). De Cuyper et al. (2020) evidenciaram que a suplementação com fitase melhora a digestibilidade dos nutrientes e torna o processo digestivo mais fácil para leitões recentemente desmamados. Outros trabalhos demonstraram que a dose adicionada da enzima interfere no resultado, pois quando se utiliza doses entre 2000 e 2500 FTU/kg, observa-se um avanço superior no desempenho dos animais quando comparado a disponibilidade do P (Laird et al., 2018; Da Silva et al., 2019). Adicionalmente, Adeola et al. (1995) reportaram aumento da digestibilidade de minerais com doses de 500 a 1500 FTU/kg de fitase na dieta.

A inclusão da fitase está entre as maiores descobertas nutricionais na produção de suínos, o que comprova sua relevância científica e prática (Cromwell, 2009), mas os

diferentes estudos demonstram que ainda não há um consenso em relação a quantidade de fitase que deverá ser adicionada com o objetivo de melhorar a digestibilidade dos nutrientes.

2.4 Fitase na digestibilidade dos nutrientes

Os ensaios de digestibilidade são utilizados para obter informações sobre a disponibilidade de nutrientes e energia dos alimentos (Kong; Adeola, 2014). Esses estudos são importantes para a determinação de energia e nutrientes dietéticos suficientes para o crescimento dos animais e para reduzir o custo com alimentação e os impactos ambientais da suinocultura (Zhang; Adeola, 2017).

A digestibilidade pode ser avaliada pelo método direto ou de diferença para estudos *in vivo* (Adeola, 2001). No método direto, o ingrediente da ração de teste é a única fonte do nutriente avaliado na dieta (Adeola, 2001), enquanto o método de diferença, incluindo regressão e substituição, é utilizado quando o nutriente avaliado precisa ser formulado com outros nutrientes (Zhang; Adeola, 2017). Nesses casos, duas dietas são ofertadas aos animais: a dieta basal e a dieta teste, e os resultados são analisados de acordo com as diferenças encontradas nas excretas ou coleta de órgãos, quando necessário (Zhang; Adeola, 2017). Outro método utilizado é o método de coleta total, com adição de marcador indigestível que indica o início e o fim da coleta (Zhang; Adeola, 2017), ou o método do indicador, que inclui uma concentração específica de marcadores indigestíveis na dieta (Zhang; Adeola, 2017).

A inclusão de fitase nas dietas de suínos apresenta benefícios, não apenas por melhorar a digestibilidade do P, mas também pelos chamados efeitos “extra fosfóricos” que consiste no aumento da digestibilidade de outros nutrientes ligados ao fitato (Selle; Ravindran, 2008). Adicionalmente, acredita-se que esses efeitos possam ser superiores quando maiores doses de fitase são incluídas na dieta (Cowieson; Wilcock; Bedford, 2011; Lu et al., 2019). Esses níveis de inclusão superiores aos níveis recomendados, que variam de 500 FTU/kg até 1.000 FTU/kg (Adeola; Cowieson, 2011), são denominados de superdosagem, com níveis de inclusão acima de 1.000 FTU/kg e já apresentaram resultados benéficos na literatura com melhoria na digestibilidade de nutrientes que ocasionou melhor desempenho animal (Cowieson; Wilcock; Bedford, 2011).

Kies et al. (2006) apresentaram resultados contundentes sobre o aumento da digestibilidade de P, Ca, Mg e Na quando a dieta foi suplementada com 1.500 FTU/kg.

Ainda, Zouaoui et al. (2018) concluíram que a fitase melhora a digestibilidade aparente de cada AA essencial, independentemente do nível de proteína incluso na dieta. Por sua vez, Lala et al. (2020) apresentaram que a suplementação com fitase aumentou a digestibilidade de nitrogênio (N) mesmo com os níveis de AA limitantes reduzidos na dieta para suínos em crescimento.

Velayudhan et al. (2025) evidenciaram resultados significativos da digestibilidade e retenção de P quando suplementados com 4.000 FTU/kg superiores a suplementação com 2.000 FTU/kg e a dieta CN. Arredondo et al. (2019). apresentaram resultados que sugerem que a absorção, retenção e digestibilidade dos minerais potássio (K) e magnésio (Mg) aumentam linearmente de acordo com os níveis de fitase inclusos na dieta. Também, evidenciou aumento linear na absorção e digestibilidade do cobre (Cu), aumento da porcentagem de retenção de Fe linear e quadraticamente e aumento linear da absorção, retenção e digestibilidade do Manganês (Mn) em relação aos níveis de fitase presentes na dieta.

2.5 Sustentabilidade

Na produção animal, a sustentabilidade pode ser definida como o conjunto de práticas de produção que aumentem a eficiência no uso de recursos, minimizem impactos ambientais e garantam viabilidade econômica e bem-estar humano e animal, sem comprometer a capacidade produtiva futura (Makkar, 2016). A busca pela sustentabilidade na pecuária é impulsionada pela preocupação social em relação às mudanças climáticas, novas legislações, tributação de carbono e necessidade de investimento financeiro sustentável (Ferguson et al., 2022). Portanto, há uma crescente demanda para que a produção animal contenha práticas mais sustentáveis abrangendo nutrição, manejo, emissões de gases de efeito estufa, eutrofização de corpos d'água, acidificação de solos, uso adequado da terra e de recursos não renováveis (Ferguson et al., 2022).

Na suinocultura, a sustentabilidade engloba técnicas que visam tanto o aumento da rentabilidade quanto a melhoria das condições ambientais e socioeconômicas (Honeyman, 1991). Essa prática ainda precisa de melhorias, e é um tópico importante devido à crescente demanda da população por alimentos que sejam acessíveis financeiramente e sustentáveis para o ambiente (Andretta et al., 2018). Um dos problemas relacionados a sustentabilidade na pecuária é a perda de nutrientes contidos na dieta,

como a excreção excessiva de N, P e outros minerais nas fezes e urina (Pomar; Andretta; Remus, 2021). Reduzir a excreção excessiva desses nutrientes e o uso de recursos não renováveis é essencial para o desenvolvimento de uma suinocultura mais sustentável (Honeyman, 1996; Rotz, 2004; Jondreville; Dourmad, 2005).

Para reduzir esses impactos ambientais, o uso de novas estratégias nutricionais pode ser o primeiro passo que permitirá o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção que respeitarão as legislações vigentes para a conservação do meio ambiente, bem-estar animal, conciliação da economia e aspiração dos produtores (Menendez et al., 2022; Tedeschi, 2022).

Portanto, o uso da enzima exógena fitase pode ser benéfica para o meio ambiente, pois sua inclusão na dieta é a principal ferramenta para liberar o P-fítico dos ingredientes vegetais e reduzir a suplementação com P inorgânico (Lei et al., 2013), um recurso não renovável (Selle; Ravindran, 2008), podendo proporcionar ainda uma melhoria na absorção de nutrientes, como Ca e P (Lei et al., 2013).

3 OBJETIVO

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar a digestibilidade do nitrogênio, fósforo, cálcio, sódio e energia, em dietas suplementadas com níveis crescentes de fitase para leitões na fase de creche.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Estudos em Suinocultura, da Universidade Estadual Paulista, no campus de Jaboticabal-SP, com aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob o protocolo nº 6570/22.

4.1 Animais, instalações e delineamento experimental

Foram utilizados 36 suínos machos de um genótipo comercial de alta performance (Agroceres PIC, Rio Claro, Brasil). Ao alcançarem o peso corporal médio inicial de 17,5 $\pm$ 1,2 kg, os leitões foram alojados em gaiolas metabólicas semelhantes às descritas por Pekas (1968) e distribuídos em blocos inteiramente casualizados, composto por três blocos (leves, médios e pesados), em 6 tratamentos experimentais, totalizando 6 animais por tratamento, sendo o animal a unidade experimental. Os tratamentos experimentais

foram compostos por: um controle positivo (CP), um controle negativo (CN) e a suplementação do tratamento CN com quatro diferentes níveis de fitase, que foi adicionada de forma *on-top*: CN + 250 FTU/kg, CN + 500 FTU/kg, CN + 1.000 FTU/kg e CN + 2.000 FTU/kg. Os animais foram mantidos em ambiente climatizado durante todo o período experimental. O experimento teve duração de 12 dias, sendo 7 dias para adaptação (D0 a D7) dos animais às gaiolas e manejo e 5 dias para coleta total de fezes e urina (D8 a D12). Os animais foram submetidos a pesagens nos D0, D6 e D12 do experimento.

4.2 Dietas experimentais

As rações experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja (Tabela 1). A dieta CP foi formulada para atender as exigências nutricionais de suínos de 11 a 25 kg de peso corporal de acordo com o NRC (2012). A dieta CN foi formulada sem inclusão de fosfato inorgânico, com redução de 50% no P total, 72% no p disponível, 44% no Ca e 10% no Na, bem como redução de 36 kcal/kg na energia metabolizável (EM) e 2% na proteína bruta (PB). As dietas com níveis crescentes de fitase foram obtidas por meio da substituição de caulim por uma fitase comercial termoestável na ração CN, que foi suplementada de acordo com os respectivos níveis: 250, 500, 1000 e 2000 FTU/kg. As rações foram peletizadas a uma temperatura aproximada de 75 °C com uma matriz de 5 mm de diâmetro para formação dos pellets.

Tabela 1. Ingredientes e composição nutricional analisada das dietas.

Ingredientes, g/kg	Dieta Controle Positivo (CP)	Dieta Controle Negativo (CN)
Milho grão	580,00	589,20
Farelo de Soja 48%	241,00	230,00
Farinha de glúten de milho 21%	40,00	60,00
Óleo de soja	40,00	30,00
Açúcar	30,00	30,00
Calcário calcítico	5,60	8,00
Fosfato bicálcico	16,20	-
Premix de minerais e vitaminas ¹	3,50	3,50
Sal	6,60	5,80
L-Lisina sulfato (60%)	8,60	9,00
DL-Metionina	2,10	2,10
L-Treonina	1,90	2,00
L- Triptofano	0,40	0,40
L-Valina	0,80	0,80
Cloreto de colina (60%)	6,70	6,70
Inibidor de bolor ³	2,00	2,00
Antioxidante ⁴	0,50	0,50
Micotoxina adsorvente ⁵	1,00	1,00
Dióxido de titânio ⁶	5,00	5,00
Caulin	8,10	14,00
Composição nutricional, %		
Energia metabolizável, kcal/kg	3441	3405
Energia líquida, kcal/kg	2612	2576
Proteína bruta	20,28	18,52
Cálcio	0,69	0,40
Fósforo total	0,64	0,32

Fósforo disponível	0,43	0,13
Relação Ca:P	1,2:1	1,3:1
Sódio	0,28	0,24
SID Lisina	1,39	1,39
SID Metionina	0,44	0,44
SID Metionina + Cisteína	0,75	0,75
SID Treonina	0,82	0,81
SID Triptofano	0,26	0,26
SID Valina	0,96	0,93

¹Suplemento mineral e vitamínico (por kg de produto): Vit. A (3.000.000 UI); Vit. D3 (625.000 UI); Vit. E (37.500 UI); Vit. K3 (1.250 UI); Vit. B1 (875 mg); Vit. B2 (2.500 mg); Vit. B6 (1.500 mg); Vit. B12 (12.500 mg); Niacina (17. 50 g); Ácido pantoténico (8.750 mg); Ácido fólico (500 mg); Biotina (87.50 mg); Cobre (50.00 g); Iodo (500 mg); Manganês (16.25 g); Selênio (187.50 mg); Ferro (24.00 g).

²A fitase será incluída na dieta NC (250; 500; 1.000; 2.000 FTU/kg) em detrimento do Caulin.

³Mold Zap Citrus: Dipropionato de amônio, ácido acético, ácido sórbico e ácido benzoico. Alltech do Brasil Agroindustrial LTDA. Guarulhos, SP, Brasil

⁴PARADIGMOX® White DN Dry. Kemin Nutrisurance Nutrição Animal LTDA. Vargeão, SC, Brazil.

⁵TOXFIN™ Supreme. Kemin Nutrisurance Nutrição Animal LTDA. Vargeão, SC, Brazil.

⁶Marcador indigestível.

4.3 Manejo e coleta de amostras

O experimento teve duração de 12 dias, considerando 7 dias de adaptação e 5 dias para coleta total de fezes e urina. No D0 os animais foram pesados individualmente, distribuídos nos tratamentos e alojados nas gaiolas metabólicas, ajustadas de acordo com o tamanho de cada um. A alimentação foi fornecida de forma controlada, com uma quantidade de 4% do peso corporal dividida em porções iguais e fornecida duas vezes ao dia. No período da adaptação (D0 a D5), todos os animais receberam a ração CP e a partir do D6 até o final do experimento cada animal recebeu a ração de seu respectivo tratamento. A água foi disponibilizada *ad libitum*. Foi adicionado 1% de óxido de ferro como um marcador indigestível nas rações no D7, para sinalizar o início e o final da coleta total de fezes e urina.

O óxido de ferro é utilizado como um marcador indigestível, pois ao passar pelo sistema digestório dos suínos, não é absorvido e segue diretamente para a formação das fezes. As fezes, por sua vez, são expelidas com uma coloração avermelhada, indicando que a partir disso, as coletas serão iniciadas ou finalizadas. A coleta total de fezes e urina iniciou no D8 e se estendeu até o D12. As amostras de fezes foram coletadas duas vezes ao dia, logo após o fornecimento de ração. As fezes foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados com informações do animal e do tratamento, pesadas em balança e congeladas, para evitar a fermentação das amostras. Ao final do experimento as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e secas em estufa de ventilação forçada à 55° C por 72 horas. Posteriormente, foram pesadas, moídas e armazenadas para análises.

A urina foi coletada em baldes plásticos individuais com 20 ml de solução de HCl 6M, para evitar a fermentação e a perda de N, e uma vez ao dia a quantidade total de urina foi pesada em balança. Uma alíquota de 20% da urina total coletada foi retirada, armazenada em garrafa plástica devidamente identificada com informações do animal e do tratamento e congelada. Ao final do experimento as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e congeladas novamente para a realização das análises químicas.

4.4 Análises químicas

As amostras de rações, fezes e urina foram encaminhadas para laboratório para análises quanto ao teor de: 1) matéria seca (MS) pelo método 927.05 (AOAC, 1997); 2)

Ca e Na pelo método nº 40 do CBAA (2017); 3) P pelo método 965.17 (AOAC, 2019); 4) N utilizando o método de combustão em um LECO FP-528 (LECO Corporation, Setor Joseph, MI, EUA); e 5) energia bruta (EB) utilizando uma bomba calorimétrica isoperibólica modelo 6400 (Parr Instrument Company, Moline, IL, EUA).

4.5 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos e homoscedasticidade das variâncias. Posteriormente, foram analisados como um delineamento de blocos casualizados considerando o efeito aleatório dos blocos. Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). Os dados de digestibilidade total aparente do P e do Ca também foram analisados usando um modelo linear *broken-line* dentro das concentrações de fitase (0 a 2000 FTU/kg). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suplementação com fitase em dietas para suínos na fase de creche não promoveu efeitos significativos ($P > 0,05$; Tabela 2) sobre o peso corporal (PC) e no Consumo de Ração Diário (CRD), independentemente do nível de inclusão da enzima. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato de que todos os animais consumiram a mesma quantidade de ração diariamente, tornando seus resultados não significativos. Uma vez que em ensaios de digestibilidade a quantidade de ração fornecida aos animais precisa ser controlada e o desempenho não é avaliado.

Adicionalmente, as dietas suplementadas não promoveram diferenças significativas ($P > 0,05$) na EB ingerida (Tabela 3), excretada nas fezes e urina, na digestibilidade total aparente da EB e nas concentrações de energia digestível (ED) e EM. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por O'Quinn et al. (1997), de que a suplementação com fitase não alterou a digestibilidade total da EB para suínos em terminação e de que não havia evidências do efeito da fitase na utilização de energia em suínos Selle et al. (2000). Contudo, novos estudos com reduções energéticas maiores

devem ser realizados para avaliar se há efeitos da suplementação com fitase no uso de energia para suínos.

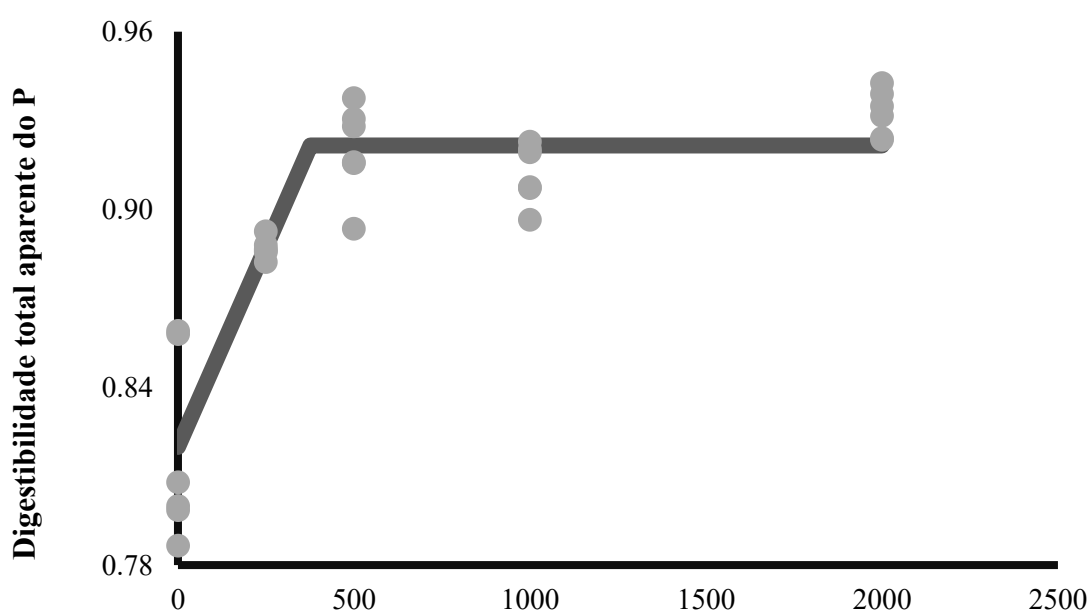
Não foi observado efeito ($P > 0,05$) para as variáveis de digestibilidade total aparente e balanço de N (Tabela 4), exceto para o N ingerido, onde o tratamento CP apresentou maior valor de N ingerido quando comparado com o tratamento CN ($P < 0,05$), além disso o grupo com CP apresentou maior ingestão de N do que os grupos com a suplementação da fitase ($P < 0,05$). Bem como um efeito foi observado para o N retido ($P < 0,05$), onde o tratamento CN reteve menos quando comparado com o tratamento CP além de apresentar efeito quadrático ($P < 0,05$). Também foi observado efeito quadrático na relação percentual da retenção:ingestão ($P < 0,05$).

Considerando que existe um aumento significativo da retenção de N mesmo com a redução de 2% de PB na dieta CN em relação a dieta CP, esse resultado permite a interpretação de que a inclusão de fitase na dieta de suínos em fase de creche contribui para uma melhor utilização do N que pode estar ligado ao fitato nos ingredientes. A possibilidade de diminuir a inclusão de N na dieta representa uma economia financeira em relação ao custo da alimentação dos animais, que representa cerca de 70% dos custos de produção na suinocultura (Rocadembosch et al., 2016). Adicionalmente, essa redução pode ser considerada particularmente promissora ao se pensar que um dos problemas da sustentabilidade na pecuária é a excreção excessiva de N (Pomar; Andretta; Remus, 2021). Dentro desse contexto, Arredondo et al. (2019) encontraram um aumento linear na retenção de N à medida que aumentou os níveis de inclusão de fitase. Esses resultados sugerem que a suplementação com fitase pode melhorar a retenção de N pelos animais.

Foi observado um efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos CP x CN para as variáveis P ingerido; digestibilidade total aparente do P com efeitos linear e quadrático; P absorvido com efeitos linear e quadrático; P retido, na porcentagem de retenção:ingestão com efeito linear e quadrático e na porcentagem de retenção:absorção, apresentando efeitos lineares e quadráticos (Tabela 5). Esses resultados estão relacionados aos níveis de P nas dietas, pois a dieta CN foi fornecida com uma redução de 50% de P total e uma redução de 72% de P disponível em relação a dieta CP. Os diferentes níveis de P nas dietas resultaram em variáveis estatisticamente significativas porque a quantidade de P fornecido influencia diretamente nos níveis de ingestão, absorção e retenção.

Também foi observado efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos CP $\times$ Fitase para as variáveis de P ingerido, onde os tratamentos com fitase tem menos P ingerido, bem como uma redução do P excretado, com um efeito linear e quadrático do P na urina ($P < 0,05$). Para o P absorvido foi observado efeito ($P < 0,05$) do CP com os tratamentos com fitase, onde houve uma redução no P absorvido, bem como no P retido ($P < 0,05$). Esses resultados são corroborados por Arredondo et al., 2019; Kies et al. (2006), de que a suplementação de fitase em dietas com níveis reduzidos de P melhoram a absorção, retenção, digestibilidade, retenção em relação à ingestão (%) e retenção em relação à absorção (%) de acordo com o aumento da inclusão de fitase nas dietas. Choi et al. (2024) também relataram aumento na digestibilidade e retenção de P com níveis de inclusão de fitase de 780 e 773 FTU/kg, respectivamente. Enquanto Kies et al. (2006) observaram aumento da digestibilidade do P de forma dose-dependente até 15.000 FTU/kg. Esses resultados evidenciam a capacidade da enzima de hidrolisar a molécula de fitato e promover uma melhor absorção do P.

Adicionalmente, com base nas análises de contrastes linear e quadrático dos níveis de inclusão de fitase, variando de 0 (CN) a 2.000 FTU/kg, foi possível estimar o nível ótimo de inclusão da enzima de acordo com os dados de digestibilidade total aparente do P. O modelo linear *broken-line* indica que 377 FTU/kg foram necessários para maximizar a digestibilidade aparente do P (Figura 1).



Concentração de fitase, FTU/kg

Figura 1. Gráfico do modelo linear *broken-line* ($Y = 0,9216 - 0,00027 \times (376,8 - X)$; $R^2 = 0,852$) da digestibilidade total aparente do P em função da concentração de fitase adicionada.

Foi observado um efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos CP $\times$ CN para as variáveis Ca ingerido; Ca excretado nas fezes com efeitos linear e quadrático; digestibilidade total aparente do Ca com efeitos linear e quadrático; Ca absorvido com efeitos linear e quadrático; Ca retido, na porcentagem de retenção:ingestão com efeito linear e quadrático e na porcentagem de retenção:absorção, apresentando efeitos lineares e quadráticos (Tabela 5). Esses resultados estão relacionados ao teor de Ca em cada dieta, pois a dieta CN foi fornecida com uma redução de 44% de Ca em relação à dieta CP.

Também foi observado efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos CP $\times$ Fitase para as variáveis de Ca ingerido, onde os tratamentos com fitase tem menos Ca ingerido, bem como uma redução do Ca excretado, com um efeito linear e quadrático do Ca nas fezes e urina ($P < 0,05$). Na digestibilidade total aparente do Ca também foram observados resultados significativos com efeitos linear e quadrático; Para o Ca absorvido foi observado efeito ($P < 0,05$) do CP com os tratamentos com fitase, onde houve uma redução no Ca absorvido, bem como no Ca retido ($P < 0,05$). E nas porcentagens de retenção:ingestão e retenção:absorção com efeitos linear e quadrático ($P < 0,05$). O Ca é um dos minerais afetados pelo efeito antinutricional do fitato, ocasionando queda em sua absorção (Humer; Schwarz; Schedle, 2015), e a otimização de sua utilização evidenciada por resultados significativos encontrados no ensaio de digestibilidade validam a eficiência da inclusão da fitase para melhorar a absorção desse mineral pelos suínos.

Adicionalmente, com base nas análises de contrastes linear e quadrático dos níveis de inclusão de fitase, variando de 0 (CN) a 2.000 FTU/kg, foi possível estimar o nível ótimo de inclusão da enzima de acordo com os dados de digestibilidade total aparente do Ca. O modelo linear *broken-line* indica que 475 FTU/kg foram necessários para maximizar a digestibilidade aparente do Ca (Figura 2).

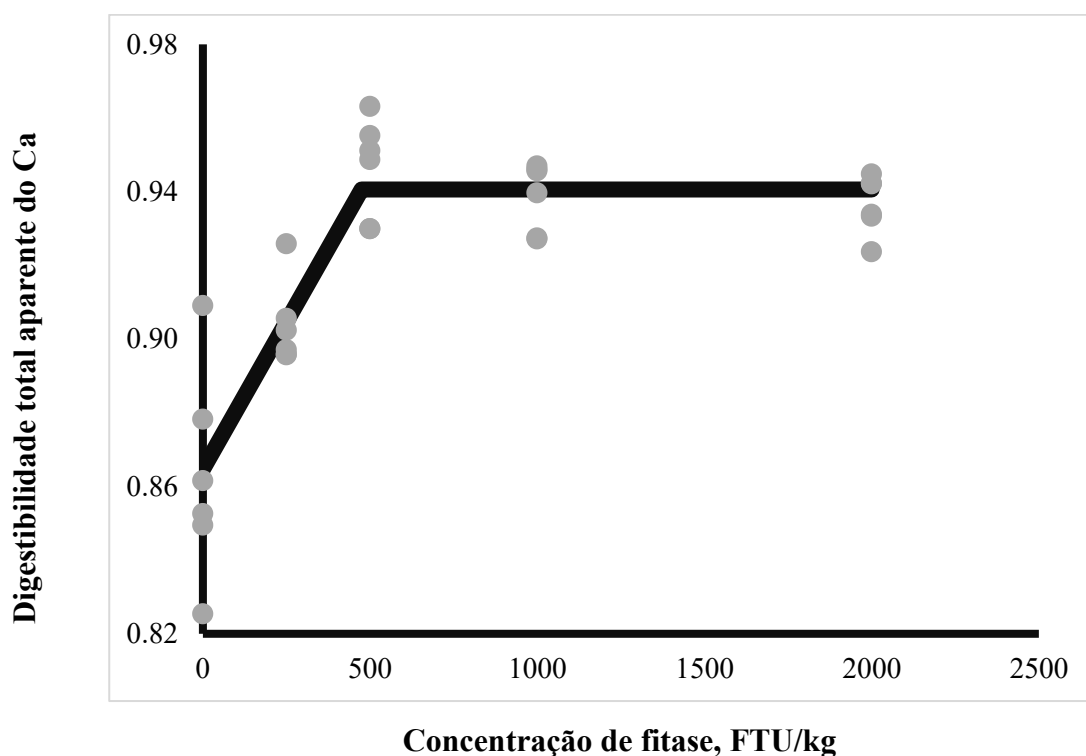


Figura 2. Gráfico do modelo linear *broken-line* ($Y = 0,9406 - 0,00016 \times (474,7 - X)$; $R^2 = 0,811$) da digestibilidade total aparente do Ca em função da concentração de fitase adicionada.

Não foi observado efeito dos tratamentos na digestibilidade total aparente e balanço do Na ($P > 0,05$; Tabela 7), exceto para o Na ingerido, onde os tratamentos com CN e ou com inclusão da fitase apresentaram menor ingestão de Na, além de ter sido observado efeito quadrático ($P < 0,05$) para a quantidade de Na urina. Como o fitato também pode se ligar ao Na (Selle et al., 2012), esse resultado sugere que a suplementação com fitase pode melhorar a utilização do Na presente nos ingredientes vegetais e reduzir sua excreção na urina, embora não tenha sido observado melhora na retenção. Isso nos sugere que uma redução maior na concentração de Na precisa ser avaliada.

Tabela 2. Peso corporal e consumo de ração diário de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	FTU por kg						EPM	P-valor ¹			
	CP	CN	250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
D0, kg	17,10	17,65	17,58	17,33	17,38	17,43	0,561	0,467	0,978	0,802	0,738
D6, kg	19,44	19,38	19,55	19,70	19,88	19,56	0,632	0,155	0,950	0,849	0,583
D12, kg	22,64	22,30	22,31	22,80	23,20	22,56	0,780	0,074	0,775	0,728	0,407
CRD, g	679,79	641,73	644,79	646,79	652,61	644,73	20,834	0,649	0,826	0,913	0,721

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média.

¹Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

Tabela 3. Digestibilidade total aparente da energia bruta (EB) e concentrações de energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	CP	CN	FTU por kg				EPM	P valor ¹			
			250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
EB ingerida, kcal/dia	3002,85	2949,76	2975,90	3010,55	3062,43	3021,09	96,938	0,612	0,885	0,566	0,515
EB fezes, kcal/dia	1059,34	1005,51	1010,40	862,63	1013,63	1049,34	58,488	0,554	0,324	0,335	0,307
EB urina, kcal/dia	151,09	149,53	187,59	146,51	160,20	170,75	15,825	0,938	0,445	0,666	0,803
Digestibilidade total aparente	0,64	0,65	0,66	0,71	0,66	0,65	0,020	0,748	0,267	0,527	0,138
ED, kcal/kg	2978,82	3021,45	3049,32	3313,15	3136,72	3059,65	94,367	0,776	0,153	0,938	0,071
EM, kcal/kg	2748,02	2788,66	2755,96	3086,66	2892,81	2793,33	101,090	0,757	0,232	0,854	0,075

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média; EB, energia bruta; ED, energia digestível; EM, energia metabolizável.

¹Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

Tabela 4. Digestibilidade total aparente e balanço do nitrogênio (N) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	FTU por kg						EPM	P valor ¹			
	CP	CN	250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
N ingerido, g/dia	25,23	22,97	23,17	23,40	23,28	23,80	0,754	0,030	0,011	0,452	0,997
N fezes, g/dia	10,23	10,17	9,29	7,32	8,77	9,03	0,822	0,966	0,107	0,592	0,070
N urina, g/dia	2,98	3,47	4,29	3,30	3,01	3,59	0,381	0,697	0,149	0,577	0,268
Digestibilidade total aparente	0,60	0,55	0,59	0,68	0,62	0,62	0,038	0,424	0,452	0,370	0,074
N absorvido, g/dia	15,35	12,79	13,88	16,07	14,51	14,77	1,168	0,131	0,643	0,329	0,170
N retido, g/dia	12,37	9,32	8,52	12,76	11,49	11,18	1,239	0,043	0,349	0,085	0,037
Retenção:ingestão, %	48,35	40,46	41,23	54,24	49,30	46,91	3,951	0,142	0,920	0,239	0,031
Retenção:absorção, %	60,04	55,44	59,86	68,36	62,16	62,07	3,861	0,424	0,452	0,370	0,073

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média; N, nitrogênio.

¹ Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

Tabela 5. Digestibilidade total aparente e balanço do fósforo (P) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	CP	CN	FTU por kg				EPM	P valor ¹			
			250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
P ingerido, g/dia	5,04	2,48	2,50	2,56	2,30	2,46	0,079	<0,001	<0,001	0,461	0,314
P fezes, g/dia	0,46	0,44	0,28	0,20	0,20	0,16	0,017	0,743	<0,001	<0,001	<0,001
P urina, g/dia	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,07	0,007	0,565	0,577	0,003	0,009
Digestibilidade total aparente	0,90	0,79	0,88	0,92	0,91	0,93	0,004	<0,001	0,4170	<0,001	<0,001
P absorvido, g/dia	4,58	2,03	2,21	2,35	2,10	2,29	0,080	<0,001	<0,001	0,164	0,607
P retido, g/dia	4,53	1,97	2,15	2,31	2,06	2,22	0,073	<0,001	<0,001	0,178	0,374
Retenção:ingestão, %	89,80	78,62	86,25	90,54	89,70	90,39	0,591	<0,001	0,418	<0,001	<0,001
Retenção:absorção, %	90,72	79,97	88,68	92,01	91,22	93,25	0,462	<0,001	0,417	<0,001	<0,001

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média; P, fósforo.

¹Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

Tabela 6. Digestibilidade total aparente e balanço do cálcio (Ca) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	CP	CN	FTU por kg				EPM	P valor ¹			
			250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
Ca ingerido, g/dia	5,44	3,14	3,40	3,54	3,53	3,56	0,111	<0,001	<0,001	0,034	0,063
Ca fezes, g/dia	0,51	0,42	0,32	0,18	0,21	0,23	0,020	0,255	<0,001	<0,001	<0,001
Ca urina, g/dia	0,03	0,10	0,07	0,06	0,05	0,05	0,010	<0,001	<0,001	0,002	0,009
Digestibilidade total aparente	0,90	0,85	0,90	0,94	0,93	0,93	0,005	0,036	0,001	<0,001	<0,001
Ca absorvido, g/dia	4,92	2,71	3,07	3,35	3,32	3,33	0,109	<0,001	<0,001	0,002	0,004
Ca retido, g/dia	4,89	2,60	2,99	3,29	3,26	3,27	0,106	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Retenção:ingestão, %	89,87	82,00	87,99	92,76	92,24	92,01	0,491	0,001	0,070	<0,001	<0,001
Retenção:absorção, %	90,43	85,37	90,37	94,63	93,88	93,66	0,595	0,036	<0,001	<0,001	<0,001

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média; Ca, cálcio.

¹Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

Tabela 7. Digestibilidade total aparente e balanço do sódio (Na) de leitões alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase.

	CP	CN	FTU por kg				EPM	P valor ¹			
			250	500	1000	2000		CP × CN	CP × FITASE	Linear	Quadrático
Na ingerido, g/dia	2,16	1,82	2,03	1,93	1,98	1,87	0,062	<0,001	<0,001	0,834	0,077
Na fezes, g/dia	0,62	0,49	0,59	0,49	0,67	0,50	0,083	0,971	0,550	0,997	0,183
Na urina, g/dia	0,11	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11	0,012	0,818	0,143	0,987	0,012
Digestibilidade total											
aparente	0,62	0,57	0,70	0,74	0,66	0,73	0,058	0,571	0,953	0,174	0,361
Na absorvido, g/dia	1,54	1,18	1,43	1,43	1,31	1,37	0,105	0,130	0,184	0,636	0,459
Na retido, g/dia	1,42	1,07	1,33	1,35	1,22	1,26	0,102	0,111	0,229	0,624	0,299
Retenção:ingestão, %	70,84	55,08	65,40	70,18	62,06	67,24	5,336	0,360	0,898	0,319	0,398
Retenção:absorção, %	76,43	57,34	70,56	74,56	67,83	73,21	5,925	0,493	0,954	0,168	0,300

CP, controle positivo; CN, controle negativo; EPM, erro padrão da média; Na, sódio.

¹ Contrastes foram construídos para comparar CP × CN, para testar o efeito da fitase utilizando CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg), bem como para testar os efeitos lineares e quadráticos dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP). As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

6 CONCLUSÃO

De acordo com o presente estudo, a suplementação de fitase em dietas sem fonte inorgânica de fósforo melhorou a digestibilidade do P e do Ca para leitões na fase de creche. Em conclusão, o estudo demonstra que a fitase pode ser particularmente benéfica para leitões em fase de creche, considerando o estado frágil em que seu trato gastrointestinal se encontra. De acordo com o modelo linear *broken-line*, são necessários 377 e 475 FTU/kg de ração para maximizar a digestibilidade ileal do P e do Ca, respectivamente.

7 RESUMO

As dietas para suínos utilizam fontes inorgânicas de fósforo para atender à exigência nutricional desse mineral devido à falta de capacidade dos suínos de absorvê-lo nos alimentos de origem vegetal. A inclusão da fitase nas dietas é uma estratégia nutricional que permite a absorção do fósforo e outros nutrientes ofertados aos animais através dos alimentos de origem vegetal. Entretanto, ainda não é estabelecida a quantidade ideal de inclusão de fitase na ração para suínos. Diante disso, objetivou-se com o presente estudo avaliar a digestibilidade do fósforo, cálcio, sódio, nitrogênio e energia em dietas suplementadas com fitase termoestável para leitões na fase de creche. Foram utilizados 36 suínos machos alojados em gaiolas metabólicas distribuídos em blocos inteiramente casualizados. As rações experimentais (CP e CN) foram formuladas à base de milho e farelo de soja. A dieta CP foi formulada para atender as exigências nutricionais de suínos de 11 a 25 kg de peso corporal de acordo com NRC (2012) e a dieta CN foi formulada sem inclusão de fosfato inorgânico, com redução no fósforo total, no fósforo disponível, no cálcio, no sódio e na energia metabolizável. As dietas suplementadas foram obtidas pela substituição de caulim por uma fitase comercial termoestável na ração CN, suplementada nos seguintes níveis: 250, 500, 1000 e 2000 FTU/kg. O experimento teve duração de 12 dias, sendo 7 dias de adaptação e 5 dias de coleta total de fezes e urina. Para marcar o início e o fim da coleta, utilizou-se óxido de ferro como marcador indigestível. As fezes e a urina foram coletadas, armazenadas e preparadas para posteriores análises químicas. As análises químicas realizadas foram: matéria seca, cálcio, sódio, fósforo, nitrogênio e energia bruta. As análises estatísticas foram avaliadas quanto a normalidade dos resíduos e homoscedasticidade das variâncias, como um delineamento de blocos casualizados considerando o efeito dos blocos, através de contrastes comparativos entre as dietas CP × CN e CP × (250 + 500 + 1.000 + 2.000 FTU/kg) e o efeito do aumento dos níveis de fitase de 0 (CN) para 2.000 FTU/kg (excluindo o CP) foi avaliado por uma análise de regressão linear e quadrática. As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$. A suplementação com fitase promoveu melhorias na digestibilidade e retenção de fósforo e cálcio, com redução da excreção fecal e urinária desses minerais para leitões em fase de creche. O estudo demonstra que a inclusão da fitase pode ser particularmente benéfica para leitões em fase de creche considerando a fragilidade de seu trato gastrointestinal e que o nível ótimo de inclusão da enzima é de 500 FTU/kg.

Palavras-chave: fósforo fítico; fitase; fitase na fase de creche; digestibilidade; sustentabilidade.

8 SUMMARY

Diets for pigs use inorganic sources of phosphorus to meet the nutritional requirement of this mineral due to the pig's inability to absorb it from plant based foods. The inclusion of phytase in diets is a nutritional strategy that allows the absorption of phosphorus and other nutrients offered to animals through plant based foods. However, the ideal amount of phytase inclusion in pig feed has not yet been established. Therefore, the aim of this study was to evaluate the digestibility of phosphorus, calcium, sodium, nitrogen and energy in diets supplemented with thermostable phytase for piglets in the nursery phase. An amount of 36 male pigs were housed in metabolic cages distributed in completely randomized blocks. The experimental diets (PC and NC) were formulated from corn and soybean meal. The PC diet was formulated to meet the nutritional requirements of pigs from 11 to 25 kg of body weight according to NRC (2012) and the NC diet was formulated without the inclusion of inorganic phosphate, with a reduction in total phosphorus, available phosphorus, calcium, sodium and metabolizable energy. The supplemented diets were obtained by replacing kaolin with a commercial thermostable phytase in the NC diet, supplemented at the following levels: 250, 500, 1000 and 2000 FTU/kg. The experiment lasted 12 days: the first 7 days were an adaptation period and the last 5 days have been a total collection of feces and urine. Iron oxide was used as an indigestible marker to mark the beginning and end of the collection. The feces and urine were collected, stored, and prepared for further chemical analysis. The chemical analyses performed were: dry matter, calcium, sodium, phosphorus, nitrogen and gross energy. The statistical analyses were evaluated for normality of the residuals and homoscedasticity of variances, as a randomized block design considering the effect of the blocks, through comparative contrasts between the PC $\times$ NC and PC $\times$ diets (250 + 500 + 1,000 + 2,000 FTU/kg) and the effect of increasing phytase levels from 0 (NC) to 2,000 FTU/kg (excluding PC) was evaluated by a linear and quadratic regression analysis. The differences were considered significant when $P < 0.05$. Phytase supplementation promoted improvements in digestibility and retention of phosphorus and calcium, with a reduction in fecal and urinary excretion of these minerals for nursery piglets. The study shows that the inclusion of phytase can be particularly beneficial for piglets in the nursery phase considering the fragility of their gastrointestinal tract.

Keywords: phytic phosphorus; phytase; phytase in the nursery phase; digestibility; sustainability.

9 REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A. *et al.* The efficacy of a new 6-phytase obtained from *Buttiauxella* spp. expressed in *Trichoderma reesei* on digestibility of amino acids, energy, and nutrients in pigs fed a diet based on corn, soybean meal, wheat middlings, and corn distillers' dried grains with solubles. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 1, p. 168–175, 1 jan. 2015.
- ADEOLA, O. *et al.* Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs³. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 11, p. 3384–3391, 1 nov. 1995.
- ADEOLA, O.; COWIESON, A. J. BOARD-INVITED REVIEW: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 10, p. 3189–3218, 1 out. 2011.
- ADEOLA, Olayiwola. Digestion and Balance Techniques in Pigs. **Swine Nutrition**, n. 2°, 2001.
- ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1990–1998, 2018.
- ARREDONDO, Mónica A.; CASAS, Gloria A.; STEIN, Hans H. Increasing levels of microbial phytase increases the digestibility of energy and minerals in diets fed to pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 248, p. 27–36, fev. 2019.
- BARRIENTOS, Laura G.; MURTHY, Pushpalatha P. N. Conformational studies of myo-inositol phosphates. **Carbohydrate Research**, v. 296, n. 1–4, p. 39–54, dez. 1996.
- BEDFORD, Michael R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition — their current value and future benefits. **Animal Feed Science and Technology**, v. 86, n. 1–2, p. 1–13, jul. 2000.
- BEERS, S.; JONGBLOED, A. W. Effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for piglets on their performance and apparent digestibility of phosphorus. **Animal Science**, v. 55, n. 3, p. 425–430, dez. 1992.
- BENTO, M. H. L. *et al.* Dose response of a new phytase on dry matter, calcium, and phosphorus digestibility in weaned piglets. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. suppl_4, p. 245–247, 1 dez. 2012.
- BERTECHINI, Antônio Gilberto. **Nutrição De Monogástricos**. [S.l.]: Editora da UFPA, 2006.
- CHERYAN, Munir; RACKIS, Joseph J. Phytic acid interactions in food systems. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 13, n. 4, p. 297–335, dez. 1980.

- CHOI, Hyunjun *et al.* Effects of increasing dose of a hybrid bacterial 6-phytase on apparent total tract nutrient digestibility, release of free myoinositol, and retention of calcium and phosphorus, and growth performance of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 309, p. 115876, mar. 2024.
- COWIESON, A. J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M. R. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, n. 1, p. 101–108, fev. 2004.
- COWIESON, A. J.; WILCOCK, P.; BEDFORD, M. R. Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics. **World's Poultry Science Journal**, v. 67, n. 2, p. 225–236, 1 jun. 2011.
- CROMWELL, G. L. ASAS Centennial Paper: Landmark discoveries in swine nutrition in the past century¹². **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 2, p. 778–792, 1 fev. 2009.
- DA SILVA, Caio Abércio *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**, v. 14, n. 5, p. e0217490, 24 maio 2019.
- DE CUYPER, C. *et al.* Effect of supplementing phytase on piglet performance, nutrient digestibility and bone mineralisation. **Journal of Applied Animal Nutrition**, v. 8, n. 1, p. 3–10, 1 jul. 2020.
- 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**, v. 234, p. 101–109, dez. 2017.
- DERSJANT-LI, Yueming *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**, v. 95, n. 5, p. 878–896, 30 mar. 2015.
- DONG, G. Z.; PLUSKE, J. R. The Low Feed Intake in Newly-weaned Pigs: Problems and Possible Solutions. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 3, p. 440–452, 24 jan. 2007.
- ECKHOUT, W.; DE PAEPE, M. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 47, n. 1–2, p. 19–29, maio 1994.
- ENGELN, A. J. *et al.* Simple and rapid determination of phytase activity. **Journal of AOAC International**, v. 77, n. 3, p. 760–764, 1994.

- FERGUSON, N. S. *et al.* 31. Integration of life cycle assessment into a mechanistic pig growth model to determine on-farm environmental footprint. **Animal - science proceedings**, v. 13, n. 4, p. 546–547, set. 2022.
- HAEFNER, Stefan *et al.* Biotechnological production and applications of phytases. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 68, n. 5, p. 588–597, set. 2005.
- HAMPSON, D. J. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. **Research in Veterinary Science**, v. 40, n. 1, p. 32–40, jan. 1986.
- HONEYMAN, M. S. Sustainability issues of U.S. swine production. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 6, p. 1410, 1996.
- HONEYMAN, Mark S. Sustainable swine production in the U.S. Corn Belt. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 63–70, jun. 1991.
- HUMER, E.; SCHWARZ, C.; SCHEDLE, K. Phytate in pig and poultry nutrition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, n. 4, p. 605–625, ago. 2015.
- JENSEN, M. S.; JENSEN, S. K.; JAKOBSEN, K. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 2, p. 437, 1997.
- JONDREVILLE, C.; DOURMAD, J. Y. Le phosphore dans la nutrition des porcs. **INRAE Productions Animales**, v. 18, n. 3, p. 183–192, 15 jul. 2005.
- JUST, Franziska *et al.* Lowered dietary phosphorus affects intestinal and renal gene expression to maintain mineral homeostasis with immunomodulatory implications in weaned piglets. **BMC Genomics**, v. 19, n. 1, p. 207, dez. 2018.
- 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**, v. 84, n. 5, p. 1169–1175, 1 maio 2006.
- KIES, A. K.; VAN HEMERT, K. H. F.; SAUER, W. C. Effect of phytase on protein and amino acid digestibility and energy utilisation. **World's Poultry Science Journal**, v. 57, n. 2, p. 109–126, 1 jun. 2001.
- KNOWLES, J. R. Enzyme-Catalyzed Phosphoryl Transfer Reactions. **Annual Review of Biochemistry**, v. 49, n. 1, p. 877–919, jun. 1980.
- KONG, C.; ADEOLA, O. Evaluation of Amino Acid and Energy Utilization in Feedstuff for Swine and Poultry Diets. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, n. 7, p. 917–925, 21 jun. 2014.

- LAIRD, S.; KÜHN, I.; MILLER, H. M. Super-dosing phytase improves the growth performance of weaner pigs fed a low iron diet. **Animal Feed Science and Technology**, v. 242, p. 150–160, ago. 2018.
- LALA, A. O. *et al.* Effect of high concentration of phytase supplementation on energy and nutrient digestibility of growing pigs fed with reduced dietary crude protein balanced with limiting amino acids. **Livestock Science**, v. 240, p. 104143, out. 2020.
- LALLÈS, Jean-Paul *et al.* Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. **Animal Research**, v. 53, n. 4, p. 301–316, jul. 2004.
- LALLÈS, Jean-Paul *et al.* Nutritional management of gut health in pigs around weaning. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 66, n. 2, p. 260–268, maio 2007.
- LAUTROU, M. *et al.* Phosphorus and calcium requirements for bone mineralisation of growing pigs predicted by mechanistic modelling. **Animal**, v. 14, p. s313–s322, 2020.
- LEI, Xin Gen *et al.* Phytase, a New Life for an “Old” Enzyme. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 1, n. 1, p. 283–309, 1 jan. 2013.
- LU, Hang *et al.* Extra-phosphoric effects of super dosing phytase on growth performance of pigs is not solely due to release of myo-inositol. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 9, p. 3898–3906, 3 set. 2019.
- MAKKAR, Harinder P. S. Animal nutrition in a 360-degree view and a framework for future R&D work: towards sustainable livestock production. **Animal Production Science**, v. 56, n. 10, p. 1561, 2016.
- MENENDEZ, Hector M. *et al.* ASAS–NANP Symposium: Mathematical Modeling in Animal Nutrition: Opportunities and challenges of confined and extensive precision livestock production. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 6, p. skac160, 1 jun. 2022.
- O’QUINN, P. R.; KNABE, D. A.; GREGG, E. J. Efficacy of Natuphos in sorghum-based diets of finishing swine. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 5, p. 1299, 1997.
- PHILLIPPY, Brian Q. Susceptibility of Wheat and *Aspergillus niger* Phytases to Inactivation by Gastrointestinal Enzymes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 4, p. 1385–1388, 1 abr. 1999.
- POMAR, Candido; ANDRETTA, Ines; REMUS, Aline. Feeding Strategies to Reduce Nutrient Losses and Improve the Sustainability of Growing Pigs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, p. 742220, 28 out. 2021.

- ROCADEMBOSCH, J. *et al.* Production parameters and pig production cost: temporal evolution 2010–2014. **Porcine Health Management**, v. 2, n. 1, p. 11, dez. 2016.
- ROCHA, E. V. H. *et al.* Utilização de ácidos orgânicos e fitase em dietas para leitões na creche. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 3, p. 719–724, jun. 2008.
- RODEHUTSCORD, M. *et al.* Consequences of the Ban of By-Products from Terrestrial Animals in Livestock Feeding in Germany and The European Union: Alternatives, Nutrient and Energy Cycles, Plant Production, and Economic Aspects. **Archiv für Tierernaehrung**, v. 56, n. 2, p. 67–91, abr. 2002.
- ROTZ, C. A. Management to reduce nitrogen losses in animal production. **Journal of Animal Science**, v. 82 E-Suppl, p. E119-137, 2004.
- SELLE, P. H. *et al.* Phytate and phytase: consequences for protein utilisation. **Nutrition Research Reviews**, v. 13, n. 2, p. 255–278, dez. 2000.
- SELLE, Peter H. *et al.* Protein–phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. **Nutrition Research Reviews**, v. 25, n. 1, p. 1–17, jun. 2012.
- SELLE, Peter H.; RAVINDRAN, Velmurugu. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. **Livestock Science**, v. 113, n. 2–3, p. 99–122, fev. 2008.
- STEIN, H. H. *et al.* Concentration of dietary calcium supplied by calcium carbonate does not affect the apparent total tract digestibility of calcium, but decreases digestibility of phosphorus by growing pigs¹. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 7, p. 2139–2144, 1 jul. 2011.
- SU, Weifa *et al.* The Role of Probiotics in Alleviating Postweaning Diarrhea in Piglets From the Perspective of Intestinal Barriers. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 12, p. 883107, 30 maio 2022.
- TEDESCHI, Luis O. ASAS-NANP Symposium: Mathematical Modeling in Animal Nutrition: The progression of data analytics and artificial intelligence in support of sustainable development in animal science. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 6, p. skac111, 1 jun. 2022.
- VELAYUDHAN, D. *et al.* Dose-response effect of a consensus bacterial 6-phytase variant on mineral digestibility and retention in weaned pigs fed European-style diets with varying phytate-phosphorus content. **Animal Feed Science and Technology**, v. 321, p. 116240, mar. 2025.

- VIER, Carine M. *et al.* Calcium to phosphorus ratio requirement of 26- to 127-kg pigs fed diets with or without phytase^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 10, p. 4041–4052, 3 out. 2019.
- WALDROUP, Pw. Nutritional approaches to reducing phosphorus excretion by poultry. **Poultry Science**, v. 78, n. 5, p. 683–691, maio 1999.
- World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024**. [S.l.]: FAO, 2024.
- WU, Yi *et al.* Progress towards pig nutrition in the last 27 years. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, p. 5102–5110, nov. 2020.
- ZHAI, Hengxiao; ADEOLA, Olayiwola; LIU, Jingbo. Phosphorus nutrition of growing pigs. **Animal Nutrition**, v. 9, p. 127–137, jun. 2022.
- ZHANG, Fengrui; ADEOLA, Olayiwola. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 4, p. 344–352, dez. 2017.
- ZHOU, Jin R.; ERDMAN, John W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n. 6, p. 495–508, nov. 1995.
- ZOUAOUI, M.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P.; GUAY, F. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: A meta-analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 238, p. 18–28, abr. 2018.