

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO

FITASE EM DIETAS DE AVES E SUÍNOS: AVALIAÇÃO  
TÉCNICO- ECONÔMICA

Danilo de Souza Sanches

CAMPO GRANDE, MS  
2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**FITASE EM DIETAS DE AVES E SUÍNOS: AVALIAÇÃO  
TÉCNICO- ECONÔMICA  
PHYTASE IN POULTRY AND PIG DIETS: TECHNICAL-  
ECONOMIC EVALUATION**

**Danilo de Souza Sanches**

**Orientador: Prof. Dr. Charles Kiefer**

**Coorientador (a): Profa. Dra. Karina Marcia Ribeiro de Souza Nascimento**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS

2024



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



### Certificado de aprovação

DANILO DE SOUZA SANCHES

### FITASE EM DIETAS DE AVES E SUÍNOS: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PHYTASE IN POULTRY AND PIG DIETS: TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 25-09-2024

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Charles Kiefer  
(UFMS) – Presidente

---

Dr. Anderson Corassa  
(UFMT)

---

Dr. Danilo Alves Marçal  
(UNESP)

---

Dra. Giovana Cristina Giannesi  
(UFMS)

---

Dr. Ricardo Carneiro Brumatti  
(UFMS)

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Charles Kiefer, Professor do Magisterio Superior**, em 27/09/2024, às 15:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com

fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **ANDERSON CORASSA, Usuário Externo**, em 27/09/2024, às 15:34, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Giovana Cristina Giannesi, Professora do Magistério Superior**, em 28/09/2024, às 11:50, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **DANILO ALVES MARÇAL, Usuário Externo**, em 30/09/2024, às 06:17, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Carneiro Brumatti, Professor do Magisterio Superior**, em 30/09/2024, às 12:48, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5146592** e o código CRC **7AB4DDCA**.

## COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

## **Dedicatória**

Dedico esta tese especialmente ao meu pai, Luiz Carlos Sanches e a minha mãe, Tânia Aparecida de Souza Campos. Aos professores e amigos que contribuíram fortemente para que este momento se tornasse realidade.

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me conceder saúde, sabedoria e constantes bênçãos em minha vida.

Ao meu Pai, Luiz Carlos Sanches e à minha mãe, Tânia Aparecida de Souza Campos por me ensinarem valores de vida que dinheiro nenhum pode pagar. Agradeço por todos os sacrifícios que fizeram, para que este momento pudesse se tornar realidade. Amo vocês incondicionalmente!

A minha tia Silvia Campos que me ajudou incansavelmente quando mais precisei, sou eternamente grato. Aos meus irmãos, Talita, Camila, Brenda, Brendon, Lorena e Bruno pelo carinho, amizade e por sempre estarem ao meu lado me incentivando para seguir em frente, amo vocês!

A meu admirado orientador Prof. Dr. Charles Kiefer, pelos valiosos ensinamentos, conselhos, incentivo, confiança, paciência, amizade ao longo de todo o caminho percorrido e por ser de fundamental importância para meu crescimento pessoal e profissional, sou eternamente grato!

A Profa. Dra. Elis Regina de Moraes Garcia, pelos ensinamentos, paciência, disponibilidade, generosidade, parceria e amizade, e por ser minha grande inspiração. Sou eternamente grato!

Ao Prof. Dr. Ricardo Carneiro Brumatti e Profa. Karina Marcia Ribeiro de Souza Nascimento pela disponibilidade, paciência e contribuição intelectual durante a elaboração da presente tese. Sou eternamente grato!

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ). Agradeço por proporcionar desafios enriquecedores durante esse período.

À todos os docentes do programa de pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

À CAPES, pela bolsa de Doutorado, a qual permitiu que eu vivesse com dignidade enquanto desenvolvia este trabalho.

E aos meus amigos Elton César, Douglas Nolasco, Felipe de Paula, Flávio da Silva, Felipe Bahamad, Lucas Francis, Matheus Oliveira, Túlio Azambuja, Rubia Mara, Ademir Oliveira, Yuri Cáceres, Breno Cáceres, Andrey Castilho e Rafael Subtil que sempre me apoiaram e incentivaram.

## RESUMO

SANCHES, D. S. Fitase em dietas de aves e suínos: Avaliação técnico- econômica. 2024. 84f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2024.

O objetivo desta tese foi avaliar a influência econômica e produtiva da fitase em dietas de aves e suínos. No capítulo 1, um estudo foi desenvolvido para avaliar os efeitos da fitase em frangos de corte sobre o desempenho zootécnico e custo nutricional, através de uma revisão sistemática, meta-análise e análise técnico econômica. Foi criado um banco de dados através da seleção de artigos científicos publicados entre os anos de 2018 a 2023, que tratavam de frangos de corte suplementados com fitase. A seleção dos artigos seguiu o fluxograma PRISMA, assim identificou-se 1.892 publicações, dentre as quais foram selecionadas 17 publicações a partir dos critérios de elegibilidade, totalizando 15.983 frangos de corte avaliados. A redução de P digestível da dieta sem fitase, prejudica o desempenho dos animais. A inclusão de fitase em dietas com redução de P digestível, mantém o desempenho, diminui o custo nutricional e reduz em US\$ 9,523 o custo da alimentação por tonelada de frango de corte produzido. Sugere-se uma redução de 0,15% de P digestível da matriz nutricional da dieta e a suplementação de fitase. No capítulo 2, foi elaborado um estudo com objetivo de avaliar a influência da fitase na dieta de suínos em crescimento e terminação sobre o desempenho zootécnico, característica de carcaça e o custo nutricional, por meio de uma revisão sistemática, meta-análise e análise técnico econômica. Foi adotado o fluxograma PRISMA para a seleção dos artigos científicos publicados entre os anos de 2016 à 2023. Foram encontradas 3.295 publicações, no entanto, após a aplicação dos critérios de elegibilidade utilizou-se somente 13 publicações, totalizando 2.754 suínos estudados. Os suínos alimentados com dietas com redução de P digestível sem fitase apresentam piora no desempenho, gerando menor receita em suínos não bonificados. A fitase em dietas com redução de P digestível melhorou o GPD e o PF dos animais, sem afetar negativamente a característica de carcaça a um menor custo produtivo, aumentando a receita de suínos não bonificados em US\$ 3,69. Sugere-se uma redução de 0,12% de P digestível da matriz nutricional da dieta.

**Palavras-Chave:** avicultura, característica de carcaça, custo nutricional, desempenho, enzima exógena, suinocultura

## ABSTRACT

Sanches, D. S. Phytase in poultry and pig diets: Technical and economic evaluation. 2024. 84f. Thesis (Doctorate) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, MS, 2024.

The aim of this thesis was to evaluate the economic and productive influence of phytase in poultry and pig feed. In Chapter 1, a study was carried out to evaluate the effects of phytase in broiler chickens on zootechnical performance and nutritional costs, through a systematic review, meta-analysis and technical economic analysis. A database was created by selecting scientific articles published between 2018 and 2023 that dealt with broilers supplemented with phytase. The selection of articles followed the PRISMA flowchart, so 1,892 publications were identified, from which 17 publications were selected based on the eligibility criteria, totaling 15,983 broilers evaluated. The reduction in digestible P in diets without phytase is detrimental to animal performance. The inclusion of phytase in diets with reduced digestible P maintains performance, lowers nutritional costs and reduces the cost of feed per ton of broilers produced by US\$ 9.523. A reduction of 0.15% of digestible P in the nutritional matrix of the diet and phytase supplementation are suggested. In Chapter 2, a study was carried out to evaluate the influence of phytase in the diet of growing and finishing pigs on zootechnical performance, carcass characteristics and nutritional costs, by means of a systematic review, meta-analysis and technical-economic analysis. The PRISMA flowchart was used to select scientific articles published between 2016 and 2023. A total of 3,295 publications were found, but after applying the eligibility criteria, only 13 publications were used, giving a total of 2,754 pigs studied. Pigs fed diets with reduced digestible P without phytase show a worsening in performance and generate less revenue for non-bonused pigs. Phytase in diets with reduced digestible P for growing and finishing pigs improves the animals' GPD and PF, without negatively affecting the carcass characteristic at a lower production cost, as it increases the revenue of non-subsidized pigs by US\$ 3.69. A reduction of 0.12% of digestible P in the nutritional matrix of the diet is suggested.

**Keywords:** poultry, carcass characteristic, nutritional cost, performance, exogenous enzyme, pig farming

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### REVISÃO DE LITERATURA

**Figura 1.** Estrutura do ácido fítico (mio- inositol, 1,2,3,4,5,6 hexafosfato)..... 15

ARTIGO 1: FITASE EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA ..... 35

**Figura 1.** Diagrama de fluxo PRISMA..... 40

ARTIGO 2: FITASE EM DIETAS DE SUÍNOS: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA ..... 57

**Figura 1.** Diagrama de fluxo PRISMA..... 62

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

**Tabela 1.** Enzimas 3- e 6- fitases comerciais e suas respectivas características..... 17

**Tabela 2.** Efeitos da inclusão de fitase na alimentação de aves e suínos..... 19

### ARTIGO 1: FITASE EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA..... 35

**Tabela 1.** Características das pesquisas usadas no estudo técnico econômico sobre o uso de fitase em dietas para suínos em fase de crescimento e terminação ..... 41

**Tabela 2.** Desempenho zootécnico de frangos de corte alimentados com dietas contendo ou não fitase ..... 44

**Tabela 3.** Custos nutricionais de dietas com ou sem fitase para frangos de corte..... 45

### ARTIGO 2: FITASE EM DIETAS DE SUÍNOS: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA..... 57

**Tabela 1.** Características dos artigos usados no estudo técnico econômico sobre o uso da fitase em dietas para suínos em fase de crescimento e terminação ..... 64

**Tabela 2.** Desempenho zootécnico de suínos alimentados com dietas contendo ou não fitase durante as fases de crescimento e terminação ..... 67

**Tabela 3.** Características de carcaça de suínos alimentados com dietas contendo ou não fitase ..... 68

**Tabela 4.** Custos nutricionais de dietas com ou sem fitase para suínos em crescimento e terminação ..... 68

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1. Fitato e seus efeitos antinutricionais.....	14
2.2. Fitase.....	16
2.3. Mecanismo de ação .....	17
2.4. Efeitos da fitase em suínos e frango de corte .....	18
2.5. Superdosing de fitase .....	21
2.6. Fitase e o meio ambiente .....	22
2.7. Fitase e impactos econômicos .....	23
REFERÊNCIAS .....	26
ARTIGO 1: FITASE EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE: AVALIAÇÃO TÉCNICO- ECONÔMICA .....	35
Resumo .....	36
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	39
Resultados.....	43
Discussão .....	45
Conclusão .....	50
Referências .....	50
ARTIGO 2: FITASE EM DIETAS DE SUÍNOS: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA .....	57
Resumo .....	58
Introdução.....	60
Material e Métodos.....	61
Resultados.....	66
Discussão .....	69
Conclusão .....	75
Referências .....	75
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	84

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos a população mundial cresceu cerca de 44,64 %, ou seja, passou de 5,6 para 8,1 bilhões de pessoas, com projeções indicando um aumento para aproximadamente 9,9 bilhões em 2054 (FAO, 2024). Em virtude do crescimento da população mundial há a necessidade de se aumentar a produção de alimentos.

A produção de aves e suínos se destaca nesse cenário, pois fornecem elevada quantidade de proteína a população, sendo respectivamente a primeira e a segunda proteína animal mais consumidas no mundo (USDA, 2024). No entanto, a produção de alimentos e sua oferta aos consumidores deve ser a um custo acessível e com baixo impacto ambiental (Cattaneo et al., 2022).

Na alimentação de aves e suínos, as dietas são formuladas em sua maior proporção quase que exclusivamente por ingredientes de origem vegetal, que por sua vez, podem apresentar componentes antinutricionais que dificultam o aproveitamento dos nutrientes pelo animal (Dallmann et al., 2023). Dentre esses, o fitato é um composto que além de indisponibilizar o fósforo, pode se complexar a outros minerais, aminoácidos e aos componentes energéticos, tornando-os indigestíveis ao animal e excretados no meio ambiente. Aproximadamente 60 a 80% do fósforo contido nos ingredientes vegetais estão na forma de fitato (Baradaran et al., 2017).

Aves e suínos não produzem enzimas capazes de digerir o fitato em seu trato gastrointestinal, assim a utilização de enzimas exógenas como a fitase, é uma excelente alternativa para minimizar seus efeitos negativos nas dietas (Dersjant-Li et al., 2017; Dallmann et al., 2023). A fitase é uma enzima digestiva capaz de degradar o fitato e reduzir seus efeitos deletérios a nível intestinal, melhorando a digestibilidade do fósforo, cálcio, aminoácidos e energia, além de minimizar os impactos negativos provocados pela excreção de fósforo ao meio ambiente (Li et al. 2014; Romano & Kumar, 2018).

Em escala industrial, aves e suínos excretam grandes volumes de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes para o meio ambiente por meio de seus dejetos, o que condiciona e preocupa a sustentabilidade produtiva dessas cadeias (Lovatto et al., 2005; McAuliffe et al., 2016). O fósforo excretado pode provocar a contaminação do ecossistema aquático por meio da proliferação de algas, causando a hipóxia e morte de animais aquáticos, seguida pela produção de óxido nitroso, que é um potente gás de efeito estufa (Mallin e Cahoon 2003).

Além disso, a alimentação animal tem experimentado historicamente aumentos nos custos de alimentação, principalmente pelas oscilações constantes dos preços dos

ingredientes básicos que compõem as dietas. Dessa forma, é inevitável as buscas por estratégias nutricionais voltadas a viabilizar ou até mesmo reduzir os custos das dietas nesses cenários oscilantes.

Em termos econômicos, a alimentação tem sido responsável por aproximadamente 72,16% do custo total investido na produção (Embrapa, 2022), sendo que ingredientes básicos como milho e farelo de soja, aminoácidos e fontes de fósforo representam aproximadamente 80% do custo total da dieta (Patience, 2013). A suplementação de fitase a dieta possibilita o aumento da digestibilidade de nutrientes o que torna possível reduzir a matriz nutricional do fósforo, aminoácidos e da energia da dieta e, conseqüentemente, proporciona diminuir a inclusão de ingredientes que são fontes desses nutrientes (Wu et al., 2018; Dersjant-Li et al., 2018).

A possibilidade de reduzir ingredientes como milho, farelo de soja, óleo de soja, fosfato bicálcico e aminoácidos tem sido tratada como uma realidade, ao ponto de realmente reduzir o custo de alimentação, embora tal resposta dependerá dos custos desses ingredientes e da enzima digestiva no momento da formulação. Considerando o grande volume produtivo, o elevado capital gerado e o cenário atual econômico dos insumos direcionados a produção de aves e suínos, as reduções de custos ou aumento de lucro, mesmo que pequenas, podem gerar significativos retornos econômicos (Nascimento et al., 2021; Corassa et al., 2022).

No entanto, observa-se na literatura uma carência de informações voltadas diretamente ao impacto técnico-econômico e os reais retornos financeiros que a utilização da fitase na alimentação de aves e suínos é capaz de promover. Uma ferramenta extremamente importante usada para identificar a escassez de informações científicas e observar respostas inconsistentes de estudos, é a revisão sistemática e meta-análise (Lovatto et al., 2007).

A revisão sistemática é uma técnica que identifica estudos que respondam uma questão de interesse, avaliando e sintetizando seus resultados para obter respostas as hipóteses previamente definidas, e apontar sugestões de estudos futuros (Chandler et al., 2019). A meta-análise é um método estatístico que sintetiza quantitativamente respostas de dois ou mais estudos primários considerados metodologicamente homogêneos (Deeks et al., 2019). Em ambos estudos, é necessário estabelecer previamente critérios de elegibilidade primário e secundários para a seleção dos estudos.

De maneira geral, os estudos relacionados a avaliação da fitase em aves e suínos raramente tratam especificamente dos seus efeitos econômicos na produção e essa carência de informações determinou a necessidade de se realizar a presente tese. Além disso, utilizar

o estudo de revisão sistemática aliado a técnica estatística de meta-análise para obtenção de dados de desempenho, e posteriormente, aplica-los a uma avaliação técnico-econômica é uma metodologia pioneira em estudos de aves e suínos.

Diante do pressuposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a fitase influência os aspectos produtivos e econômicos de aves e suínos, através de uma análise técnico econômica associada a revisão sistemática e meta-análise.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Fitato e seus efeitos antinutricionais**

O ácido mio-inositol -1, 2, 3, 4, 5, 6 - hexakisfosfórico (IP6) (Figura 1), amplamente conhecido como ácido fítico (Cosgrove, 1970; Kumar et al., 2010), é um componente das plantas e a principal forma de armazenamento de inositol e fosfato em grãos e sementes de cereais durante o período de maturação e desenvolvimento da planta (Loewus et al., 2002). Aproximadamente, 80% do fósforo contido nos alimentos de origem vegetal está ligado a esse componente, formando o fósforo fítico, que é um dos principais fatores antinutricionais para aves e suínos (Kumar et al., 2012).

O ácido fítico possui 12 prótons ionizáveis que garantem uma estrutura única responsável por suas características, especialmente a capacidade de formar quelatos com íons metálicos polivalentes, como cálcio, zinco e ferro, resultando em sais insolúveis chamados de fitatos (Hurrell et al., 2004). Outros compostos como inositol tri- (IP3), tetra- (IP4) e penta-fosfato (IP5) também são chamados de fitatos (Kumar et al., 2010). Os animais não ruminantes são ineficientes em sintetizar endogenamente quantidades adequadas da enzima fitase, o que torna o fitato (P) pouco disponível para os animais, reduzindo a digestibilidade do fósforo e outros nutrientes e, conseqüentemente, o desempenho dos animais devido ao seu efeito antinutricional (Woyengo et al., 2013).

O ácido fítico é capaz de se ligar a minerais di e trivalentes e formar complexos muito estáveis, diminuindo sua disponibilidade para o animal. Em aves e suínos o ácido fítico pode aumentar as perdas endógenas de sódio e reduzir a digestibilidade de cálcio (Cowieson et al., 2004; Woyengo et al., 2009). Além disso, o ácido fítico é capaz de se complexar a proteínas e também inibir a síntese e ação de enzimas digestivas como tripsina e  $\alpha$ -amilase,

reduzindo assim, a absorção e aproveitamento da proteína pelo animal (Singh & Krikorian, 1982; Deshpande & Cheryan, 1984).

As ligações do ácido fítico com os aminoácidos se dá em diferentes segmentos do trato gastrointestinal dos animais não ruminantes, de acordo com o pH predominante dessas regiões. No estômago (pH ácido) esse composto se liga aos aminoácidos básicos como arginina, histidina e lisina formando complexos proteína-fitato. Por sua vez, no intestino delgado (pH elevado) o ácido fítico se liga as proteínas com o auxílio dos cátions formando complexos proteína- mineral- fitato. Esses complexos são altamente insolúveis e resistentes a hidrólise enzimática, além de interagir com enzimas endógenas, dificultando a ação da pepsina sobre a digestão de substratos específicos, o que reduz fortemente a digestibilidade da proteína pelos animais (Kies et al., 2006).

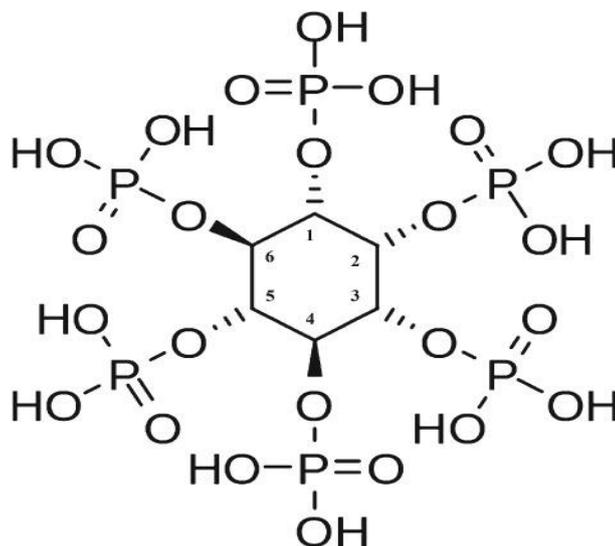


Figura 1. Estrutura do ácido fítico (mio-inositol, 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexafosfato).  
Fonte: Cosgrove (1970).

A absorção e digestão dos minerais e aminoácidos podem ser afetados negativamente pela presença de ácido fítico a nível intestinal. As altas perdas de nitrogênio endógeno e de energia em dietas com elevadas concentrações de fitato estão relacionadas a alta síntese de mucina que reduz a atividade enzimática no trato gastrointestinal, por meio da inibição de enzimas proteolíticas (pepsina e tripsina) durante a formação pH-dependente dos complexos fitato-proteína/aminoácidos ou fitato-mineral-proteína (Selle et al., 2000).

De modo geral, o fitato sempre estará presente em quantidades consideráveis na alimentação de aves e suínos, já que, as dietas fornecidas aos animais são compostas predominantemente por grãos de cereais, no entanto, os efeitos antinutricionais provocados pelo fitato podem ser reduzidos através da utilização de enzimas digestivas, como a fitase.

## 2.2. Fitase

As aves e suínos não são capazes de produzir fitase endógena para degradação completa do ácido fítico, dessa forma, as moléculas de fitato presentes nos ingredientes das dietas permanecem intactas após o percurso pelo trato gastrointestinal, indisponibilizando e excretando fósforo inorgânico juntamente com quelatos de cátions e outros nutrientes (Bertechini, 2012). A fitase é uma enzima exógena classificada como uma proteína capaz de minimizar os efeitos antinutricionais do fitato, a partir de sua capacidade como catalizador biológico, acelerando as reações químicas do organismo sem promover modificações nas mesmas em função da degradação do fitato (Cowieson et al., 2004).

Em termos nutricionais para aves e suínos existem quatro fontes de fitase, a fitase endógena que é sintetizada por microorganismos gastrointestinais, porém em quantidades insuficientes para hidrolisar o fitato presente na dieta, fitase de origem vegetal com função de liberação de fósforo para o crescimento pleno da planta e a fitase que é produzida por fungos e bactérias (Lei et al., 2013). As fitases de maior relevância para a alimentação animal são divididas em dois subgrupos (3-fitase e 6-fitase), diferenciadas pelo grupo fosfato no qual elas iniciam o catabolismo do fitato (Adeola & Cowieson, 2011).

A fitase comercial pode ser obtida por meio de bactérias, fungos, leveduras e plantas (Tabela 1), embora as mais utilizadas na alimentação animal são obtidas de fungos e bactérias (Dersjant-Li et al., 2014). Cada enzima possui sua particularidade de atuação, ou seja, possuem sítios de atuação específicos de acordo com as condições de pH, umidade e temperaturas favoráveis a que são submetidas ao longo de todo trato gastrointestinal (Adeola & Cowieson, 2011), além de fatores relacionados a relação fósforo e cálcio da dieta e de interações com enzimas digestivas (Dersjant-Li et al., 2014).

A classificação 3- e 6- fitase é caracterizada pela região em que ocorre a hidrólise de ácido fítico, sendo as mais importantes a 3- fitase e 6- fitase (Cowieson et al., 2008). Basicamente, ambas atuam na remoção de carbono da molécula de ácido fítico, sendo que a 3- fitase realiza a remoção de um grupo ortofosfato da posição do carbono C3, já a 6- fitase atua sobre a posição do carbono C6 (Selle & Ravindran, 2007). A efetividade da fitase é geralmente expressa em FTU, que representa a quantidade de fitase que libera 1 mmol de fosfato inorgânico por minuto através de 0,0051 mol L<sup>-1</sup> de fitato de sódio em pH 5,5 e temperatura de 37 °C (AOAC, 2020).

**Tabela 1.** Enzimas 3- e 6- fitases comerciais e suas respectivas características

<b>Tipo</b>	<b>Origem da proteína</b>	<b>Expressão</b>	<b>pH</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Nome comercial</b>
3	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	2; 5-5.5	65	Natuphos®
3	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	6	-	Allzyme® SSF
3	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Trichoderma reesei</i>	2.5	-	Finase® P/L
6	<i>Escherichia coli</i>	ATCC 5233	4.5	55	Phyzyme® XP
6	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pichia pastoris</i>	4.5	-	Quantum®
6	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pichia pastoris</i>	3.4, 5.0	58	OptiPhos®
6	<i>Peniophora Lycii</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>	4-4.5	50 – 55	Ronozyme® Aextra®
6	<i>Buttiauxella spp.</i>	<i>Trichoderma reesei</i>	3.5 - 4.5	60	Ronozyme®

Fonte: Liu et al., (2013).

Além de reduzir os efeitos antinutricionais do fitato, a fitase pode melhorar a disponibilidade do fósforo, cálcio, energia e aminoácidos para o animal. Assim, o aumento da metabolizabilidade da proteína bruta e de outros nutrientes podem reduzir os gastos energéticos para síntese de aminoácidos endógenos o que incrementa a energia disponível para o animal. Além disso, a fitase pode liberar moléculas de amido ligadas à proteína quelatada a moléculas de fitato e conseqüentemente melhorar a energia metabolizável da dieta (Onyango et al., 2005; Selle et al., 2012).

### 2.3. Mecanismo de ação

A fitase (mio-inositol hexafosfato fosfohidrolase; IP6) atua sobre a molécula de fitato em reações sequenciais de desfosforilação (pentafosfato - IP5, tetrafosfato - IP4, trifosfato - IP3 e possivelmente inositol difosfato - IP2 e monofosfato - IP1), subtraindo- o em ésteres de fosfato de mio-inositol e ortofosfato (Bedford & Partridge, 2010), disponibilizando fósforo e também moléculas de aminoácidos, minerais e outros nutrientes que estão ligados ao ácido fítico, que antes eram indisponíveis para absorção no lúmen intestinal (Yu et al., 2012).

Em aves e suínos, essa enzima possui algumas particularidades quanto a sua efetividade, uma vez que é ativada em diferentes regiões do trato gastrointestinal dessas espécies, em suínos a fitase é ativada principalmente no estômago e na porção superior do intestino delgado, por outro lado, possui pouca ou nenhuma atividade no íleo. Em aves, a enzima é ativada no papo, proventrículo e moela. Tais variações de ativação enzimática são atribuídas as condições de pH que cada compartimento possui, por exemplo, no estômago e proventrículo predomina-se um pH ácido, por sua vez no intestino o pH tende a aumentar devido a ação do bicarbonato de sódio.

Alguns fatores influenciam fortemente a eficiência da enzima, esses podem ser classificados em fatores relacionados a enzima fitase, composição da dieta e ao animal. Os fatores relacionados a fitase incluem o tipo de fitase (3 ou 6 fitase; origem bacteriana ou fúngica), o pH ótimo e resistência da fitase à protease endógena. Os fatores relacionados a alimentação se baseiam na concentração de fitato presente na dieta, composição dos ingredientes, tipo de processamento da dieta, e níveis de P, Ca e Na da dieta. Por sua vez, os fatores relacionados aos animais são atribuídos a espécies, sexo e idade (Amerah et al., 2014; Cowieson et al., 2017).

De acordo com Li et al. (2014), para a maior efetividade da fitase, é imprescindível que o fitato seja hidrolisado o mais rápido possível na parte superior do trato gastrointestinal, afim de reduzir os efeitos antinutricionais dessa molécula. Uma fitase que atua em uma ampla faixa de pH e que seja ativada no estômago e no intestino superior seria o ideal.

#### 2.4. Efeitos da fitase em suínos e frango de corte

A utilização de fitase na alimentação de não ruminantes, vem sendo amplamente estudadas a décadas, e a sua aplicabilidade tem gerado resultados satisfatórios tanto para o desempenho dos animais, quanto para o meio ambiente e custo produtivo (Tabela 2). Tais respostas são atribuídas principalmente por sua capacidade de disponibilizar fósforo e também nutrientes e energia ao animal, através da hidrólise do ácido fítico presente em diversos ingredientes de origem vegetal usados na alimentação desses animais.

A literatura científica evidencia que a suplementação de fitase em dietas para aves e suínos promove a melhora da digestibilidade do cálcio e fósforo (Wu et al., 2018), aumenta a retenção e concentração de nitrogênio, energia (Zouaoui et al., 2018; Arredondo et al., 2019) e de aminoácidos (Trouong et al., 2015; Cowieson et al., 2017), sem prejudicar ou até

mesmo melhorando o desempenho zootécnico dos animais, quando comparados aos alimentados com dietas sem fitase (Dersjant-Li et al., 2017; Dallmann et al., 2023).

**Tabela 2.** Efeitos da inclusão de fitase na alimentação de aves e suínos

Espécie, Idade/PC	Fitase, FTU/kg	Efeitos	Referências
Frango de corte, idade			
1 – 35	500	Melhora do desempenho	Solomon et al. (2022)
1 – 42	500	Redução do custo nutricional	Nascimento et al. (2021)
1 – 35	1000	Melhora na digestibilidade de Ca e P e mineralização óssea	Moradi et al. (2023)
1 – 42	1000	Aumento de ganho de peso e redução da CA	Dersjant-li et al. (2018)
1 – 49	2000	Melhora do peso corporal e redução da excreção de oligoelementos	Gulizia et al. (2022)
Suínos, PC			
12 – 100	1000	Melhora no desempenho e características de carcaça	Dersjant-li et al. (2018)
18 – 26	2500	Aumento no crescimento, digestibilidade dos nutrientes, mineralização óssea e redução da excreção de P e Ca	Tsai et al. (2020)
60 – 108	500	Melhora na CA e deposição de Ca e P nos ossos	Duff et al. (2018)
11 – 130	500	Sem efeitos no desempenho, cinzas óssea e Ca e P plasmático	Lagos et al. (2020)
25 – 100	3000	Melhora no GP e PV e benefícios econômicos e ambientais	Silva et al. (2022)
35 – 110	500	Melhora na qualidade óssea, CA e custo produtivo	Grela et al. (2020)

PC: Peso corporal (kg); Idade (dias); GP: Ganho de peso; CA: Conversão alimentar; PV: Peso vivo; P: Fósforo; Ca: cálcio.

Em suínos em crescimento, a suplementação de fitase a níveis acima de 1000 FTU/kg promove o aumento da digestibilidade ileal do fósforo fítico de 11% para 71% (Zeng et al., 2016), e em leitões desmamado de 39% para 76% (1000 FTU/kg) ou 83% (2000 FTU/kg) (Dersjant-Li & Dusel, 2016). Do mesmo modo, Dersjant-Li et al. (2017) ao utilizar 2000

FTU/kg de fitase em leitões desmamados alimentados com dieta a base de milho e farelo de soja, evidenciaram aumento na digestibilidade total aparente de fósforo de 57,3% para 86,5%.

Quanto ao desempenho zootécnico, Dersjant-Li et al. (2018) avaliaram a suplementação de 1000 FTU/kg de fitase para suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas baseadas em milho, farelo de soja, farelo de trigo e farelo de panificação, isenta de fosfato inorgânico, com redução de cálcio (-0,13%) e energia metabolizável (-35,85 Kcal) e criados em condições comerciais e observaram melhora sobre o ganho de peso e conversão alimentar dos animais (Dersjant-Li et al., 2018).

É importante salientar que além do fósforo dietético, a fitase é capaz de melhorar o aproveitamento de energia (Liu et al., 2014) e aminoácidos (Selle et al., 2012; Cowieson et al., 2017) através de seus efeitos extrafosfóricos, o que contribui fortemente ao desempenho do animal. Em frangos de corte, Amerah et al. (2014) evidenciaram o aumento da digestibilidade da energia bruta (6,9%) e fósforo (16,8%) ao suplementar dietas a base de milho e farelo de soja com fitase (1000 FTU/kg), quando comparado a dieta sem enzima, além de aumentar a degradabilidade do fitato em 35,1% e melhorar a digestibilidade de aminoácidos. Em um estudo de Trouong et al. (2015) demonstraram que 500 FTU/kg de fitase em dietas para frangos de corte aumentou os coeficientes de digestibilidade aparente de 16 aminoácidos em 49,7 %.

A fitase suplementada ao nível de 500 ou 1000 FTU/kg para frangos de corte proporcionou melhores coeficientes de digestibilidade ileal para o cálcio (9,6%) e fósforo (13,8%), ao passo que aumentou o ganho de peso final dos animais (Dallmann et al., 2023). Nesse estudo, além dos parâmetros de desempenho, a estruturação óssea também foi melhorada, pois os autores constataram aumento de peso e maiores concentrações de Ca e P nos ossos (Barrilli et al., 2023).

Além de melhorar a utilização do fósforo fítico, energia e outros nutrientes, a fitase pode possibilitar a redução ou a exclusão de fontes inorgânicas de fósforo na dieta, tal fato é respaldado por Dersjant-Li et al. (2017), que ao incluírem 2000 FTU/kg de fitase na dieta de leitões, pode-se substituir 0,24 % de P inorgânico (fosfato bicálcico) sem afetar o ganho de peso e a eficiência alimentar dos animais. Além dos efeitos sobre o desempenho, é possível que ocorra benefícios ao meio ambiente através da redução de excreção de minerais poluidores ao ambiente, e também por reduzir a inclusão de fonte inorgânica de fosforo da ração que geralmente é um componente caro, assim pode haver uma redução no custo da alimentação dos animais.

A literatura demonstra fortemente o impacto positivo da fitase sobre a digestibilidade do fósforo, e conseqüentemente sobre o aproveitamento da energia e aminoácidos. Essas evidências são confirmadas quando observamos as dietas experimentais utilizadas na maioria dos trabalhos. De modo geral, as dietas controle positivo (sem enzima) são formuladas para atender as exigências nutricionais dos animais, por outro lado, as dietas que possuem fitase podem ou não ser formuladas de acordo com as exigências nutricionais dos animais, ou seja, pode haver a redução ou não dos níveis de alguns nutrientes (P, Ca, aminoácidos) e energia. Desta forma, mesmo realizando essas reduções ou não, observa-se que a fitase promove a melhora ou desempenho semelhante as dietas controle positivo.

### 2.5. Superdosing de fitase

A utilização da fitase no Brasil é realizada tradicionalmente na dose de 200 – 500 FTU/kg, e as mais utilizadas são de origem bacteriana. Tais doses promovem efeitos positivos quando utilizadas em dietas sem redução de nutrientes da matriz nutricional. Além dos efeitos sobre a disponibilidade de P, a fitase também promove efeitos extra fosfóricos que potencializa a disponibilidade de energia, aminoácidos e minerais para o animal (Nascimento, 2017; Nascimento et al., 2021).

A expressão “*Superdosing* de fitase” é aplicada para definir a inclusão de alta dose de fitase na dieta, sendo esses níveis cima de 1500 FTU/kg (Walk et al., 2014) ou 2500 FTU/kg (Adeola & Cowieson, 2011; Cowieson et al., 2017). A *superdosing* nos últimos anos promoveu efeitos benéficos sobre desempenho das aves (Walk et al., 2014), retenção de nutrientes (Manobhavan et al., 2016; Beeson et al., 2017; Pieniazek et al., 2017).

Vários estudos evidenciaram que a medida que o nível da fitase foi aumentado, seus efeitos também foram potencializados, ou seja, sua capacidade de aumentar o aproveitamento da proteína e a energia dietética, levando a redução não só de Ca e P, mas também da proteína e energia da matriz nutricional da dieta. Ao incluir a fitase em até 12.000 FTU/kg em dietas formuladas à base de milho e farelo de soja, Edwards (2003) observou que a medida que se aumentou a dose de fitase a liberação de P fítico apresentou aumento quadrático, sugerindo que frangos de corte alimentados com dietas tradicionais deficientes de P podem obter melhor desempenho com altas doses de fitase.

Os efeitos benéficos do *superdosing* de fitase sobre o desempenho das aves estão relacionados a três possíveis mecanismos, sendo o primeiro ligado a liberação do fosfato ou recuperação proporcional de P a Ca, o segundo, é referente a redução do efeito antinutritivo

que gera menor nível de fitato residual e aumento de ésteres inferiores do fitato (IP5, IP4, IP3 e IP2); e finalmente a produção de mioinositol (ou inositol) com impactos vitamínicos-lipotrópicos (Cowieson et al., 2011). Há uma hipótese de que o mioinositol é um mimético da insulina em várias espécies animais sugerindo que as implicações de *superdosing* de fitase pode estar associado a esse mecanismo (Cowieson et al., 2014).

## 2.6. Fitase e o meio ambiente

A produção de aves e suínos é predominantemente realizada sob condições de confinamento total e elevadas densidades de alojamento, o que gera acúmulo de grandes quantidades de dejetos, que por sua vez, podem impactar negativamente o meio ambiente se armazenados incorretamente, através da excreção excessiva de nitrogênio, fósforo e outros minerais, levando a deterioração dos sistemas aquáticos, a emissão de gases de efeito estufa (GEE) que contribui para as mudanças climáticas, e emissão de amônia responsável pela eutrofização e acidificação de ecossistemas (Kebreab et al., 2016).

As principais emissões de GEE da produção de aves e suínos incluem amônia (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) (Wang et al., 2017). De modo geral, o manejo de dejetos é uma das principais fontes de emissões de GEE, contribuindo com cerca de 18% de todas as emissões de GEE da produção animal (Dennehy et al., 2017).

O fósforo excretado também é um fator preocupante, a contaminação do ecossistema aquático por fósforo pode causar a proliferação de algas, causando a hipóxia e morte de animais aquáticos, seguida pela produção de óxido nítrico, que é um potente gás de efeito estufa (Mallin & Cahoon 2003). Assim, o armazenamento ou tratamento inadequado dos dejetos, pode proporcionar consequências dramáticas ao meio ambiente, pois a grandes chances de ocorrer o acúmulo excessivo de fósforo no solo e aumento das emissões dos GEE.

Para atender as exigências nutricionais de P de aves e suínos, adota-se a suplementação de fósforo por fontes disponíveis, já que quase dois terços do P contido nos grãos o animal é incapaz de aproveitar. Geralmente essa suplementação é usada em quantidades acima do que o animal realmente necessita, sendo uma preocupação, já que o excesso de P contido na dieta não será utilizado e posteriormente será excretado para o meio ambiente (Baradaran et al., 2017).

Uma excelente eficiência alimentar do animal resulta em maior aproveitamento e retenção dos nutrientes no corpo e menos nutrientes excretados, o que reflete positivamente

na redução do impacto ambiental (Vonderohe et al., 2022). Portanto, as estratégias usadas para reduzir os efeitos poluentes dos dejetos, são tratadas na maioria das vezes em reduzir a excreção dos nutrientes com potencial poluente através de ajustes nutricionais da dieta, utilização de enzimas digestivas, bem como o tratamento do dejetos para sua aplicação na agricultura como fertilizante.

O uso de enzimas digestivas tem como função maximizar a eficiência de utilização dos nutrientes contidos na dieta pelos animais, reduzindo a excreção excessiva dos mesmos (nitrogênio, fósforo, cobre e zinco, entre outros), afim de minimizar o impacto ambiental sendo uma excelente e viável alternativa (Donato et al., 2011; Tsai et al., 2020).

Estudos mostraram que a aplicação de estratégias nutricionais na alimentação de suínos pode reduzir em 40% a excreção de nitrogênio e fósforo para o ambiente (Andretta et al., 2014; Andretta et al., 2016). A suplementação de fitase em suínos em crescimento e terminação promoveu uma redução de 28% (Oryschak et al., 2002), 33% (Abioye et al., 2010) de fósforo excretado nas fezes, enquanto em leitões desmamados observa-se maiores valores de reduções entre 35 a 45% (Lei et al., 1993). Em frangos de corte, a fitase pode reduzir a excreção de fósforo em aproximadamente 27% (Moradi et al., 2023).

## 2.7. Fitase e impactos econômicos

A alimentação animal tem experimentado historicamente aumentos consecutivos no custo dos ingredientes das dietas, principalmente causadas pelas oscilações constantes dos preços dos ingredientes básicos como o milho e o farelo de soja. Além disso, existe também a competição dos cereais e oleaginosas com a alimentação humana, o que também encarece ou indisponibiliza os ingredientes para alimentação animal. Tais fatores direcionam o nutricionista animal a buscar soluções que reduzam esses efeitos e que viabilizem a alimentação e produção dos animais, a utilização de enzimas exógenas como a fitase por exemplo, vem sendo fortemente trabalhada e aplicada para esse fim.

Dentre os fatores que impactam diretamente o custo produtivo na produção animal, os gastos voltados a nutrição representam aproximadamente 74% do custo total investido (Embrapa, 2017). Os ingredientes energéticos, os aminoácidos e fontes de fósforo como por exemplo, fosfato bicálcico são insumos altamente caros e que impactam fortemente o custo da dieta, representando aproximadamente 80% do custo total da dieta (Patience, 2013).

Ao avaliar a inclusão de fitase em dietas para frangos de corte com reduções nutricionais de cálcio, fósforo, energia metabolizável e proteína bruta (Nascimento et al.,

2021) evidenciaram que a enzima foi capaz de diminuir o custo nutricional total em R\$ 0,072/ave, R\$ 0,079/ave e R\$ 0,081/ave e aumentou a margem líquida estimada de R\$ 0,20/ave, R\$ 0,22/ave e R\$ 0,22/ave em cenários simulados em que, o preço de milho e farelo de soja se encontram altos, médios ou baixos, respectivamente.

A inclusão de fitase na dieta de frangos de corte permite reduzir os níveis nutricionais de proteína, aminoácidos, energia e fósforo e consequentemente reduzir o custo da ração. Assim, de acordo com Kies et al. (2001), a suplementação de fitase pode reduzir o custo da dieta em US\$ 3,00 por tonelada.

A suplementação de fitase em dietas formuladas com a substituição total do fosfato inorgânico e a redução nutricional de cálcio e energia metabolizável para suínos em crescimento e terminação foi estudado por Dersjant et al., (2018). Os pesquisadores concluíram que a suplementação de fitase foi capaz de reduzir o custo das dietas sem afetar o desempenho dos animais, sendo possível obter lucro líquido por animal produzido de US\$ 3,58 (500 FTU/kg) e US\$ 4,21 (1000 FTU/kg) a mais, quando comparado aos animais que não foram suplementados com fitase.

Por outro lado, as reduções de custos da dieta não foram evidenciadas por (Carassa et al., 2022) ao avaliarem o uso da fitase em dietas baseadas em ingredientes alternativos para suínos em crescimento, pois o custo da dieta com fitase foi semelhante a dieta controle sem fitase. De modo geral, os estudos mostram que a efetividade econômica do uso de fitase é vista quando as estratégias nutricionais se baseiam a reduções consideráveis dos nutrientes da matriz nutricional, sendo essas realizadas de acordo com a matriz nutricional da enzima (capacidade de fornecimento de nutrientes) bem como ajustes manuais realizado pelo nutricionista (Rodrigues et al., 2011; Krabbe et al., 2024). No entanto, tais reduções se forem realizadas drasticamente podem afetar negativamente o desempenho do animal.

Considerando o grande volume produtivo, o elevado capital gerado e o cenário atual econômico dos insumos direcionados a produção de aves e suínos, as reduções de custos ou aumento de lucro, mesmo que pequenas, geram significativos retornos econômicos. A utilização de fitase nas dietas desses animais, possibilita reduzir a inclusão de fontes inorgânicas de fósforo, farelo e óleo de soja, fontes energéticas e proteicas na composição da dieta, o que diminui o custo da alimentação (Cowielson et al., 2011; Dersjant et al., 2018; Nascimento et al., 2021).

Considerando os impactos globais da fitase sobre os custos produtivos, Moss et al. (2022) ao utilizar a fitase (1000 FTU/kg) na alimentação de frango de corte durante 42 dias observaram que a utilização da enzima juntamente com seus valores da matriz nutricional

reduziu o custo da dieta em US\$ 44,20 por tonelada. Considerando a perspectiva do volume total de ração produzido mundialmente de 351 milhões de toneladas para frango de corte, isso equivaleria a uma redução de 15,5 milhões de dólares dos custos nutricionais. Tais ponderações indicam a magnitude das contribuições da inclusão da fitase e seu potencial em contribuir para a produção global de carne de frango.

## REFERÊNCIAS

- ABIOYE, S.; IGE, D.; AKINREMI, O.; NYACHOTI, M.; FLATEN, D. Characterizing fecal and manure phosphorus from pigs fed phytase supplemented diets. **Journal of Agricultural Science**, 2:1-10, 2010. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n4p3>.
- ADEOLA, O.; COWIESON, A. J. Board-invited review: opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. **Journal of animal science**, 89: 3189-3218, 2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3715>.
- AMERAH, A. M.; PLUMSTEAD, P. W.; BARNARD, L. P.; KUMAR, A. Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. **Poultry Science**, 93:906-915, 2014. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03465>.
- ANDRETTA, I.; POMAR, C.; RIVEST, J.; POMAR, J.; RADÜNZ, J. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. **Animals**, 10:1137-1147,2016. <https://doi.org/10.1017/S1751731115003067>.
- ANDRETTA, I.; POMAR, C.; RIVEST, J.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A.; RADÜNZ NETO, J. The impact of feeding growing–finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. **Journal of animal science**, 92: 3925-3936. 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7643>.
- AOAC, Method 12: **Phytase activity in feed: colorimetric enzymatic method**. In: Official Methods of Analysis of AOAC International (17 the dn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 2000.
- ARREDONDO, M. A.; CASAS, G. A.; STEIN, H. H. Increasing levels of microbial phytase increases the digestibility of energy and minerals in diets fed to pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 248: 27-36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.001>.
- BARADARAN, N.; SHAHIR, M. H.; ASADI KERMANI, Z. Subsequent bone and metabolic responses of broilers to high-non-phytate phosphorus diets in the starter

period. **British poultry science**, 58: 435-441, 2017 <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1327702>.

BARRILLI, L. N. E.; SANTOS, M. C. D.; BASSI, L. S.; KURITZA, L. N.; OLIVEIRA, S. G. D.; MAIORKA, A. Phytase in diets with different phytate concentrations for broilers. **Ciência Rural**, 53:1-9, 2023. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210831>.

BEDFORD, M. R.; PARTRIDGE, G. G. Feed Enzymes, the Future: Bright Hope or Regulatory Minefield. **Enzymes in farm animal nutrition**, 13:304-311, 2010. <https://doi.org/10.1079/9781845936747.0304>.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA. 373p, 2012.

CATTANEO, A.; FEDERIGHI, G.; VAZ, S. O impacto ambiental da redução da perda e desperdício de alimentos: uma avaliação crítica. **Política Alimentar**, 98:101890,2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101890>.

CHANDLER, J., CUMPSTON, M., THOMAS, J., HIGGINS, J. P. T., DEEKS, J. J., CLARKE, M. J. **Chapter I: introduction. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version**, 6. [training.cochrane.org/handbook/current](http://training.cochrane.org/handbook/current), 2019.

CORASSA, A.; SILVA, D. R. D.; TON, A. P. S.; KIEFER, C.; SBARDELLA, M.; BRITO, C. D. O.; ROTHMUND, V. L. Digestibility, performance and economic efficiency of diets containing phytase and distillers dried grains with solubles for growing pigs. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 23:1-12, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1519-9940202200092022>.

COSGROVE, D. J. Ion-Exchange Chromatography of Inositol Polyphosphates. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 165:677-686, 1970. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1970.tb56434.x>.

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**, 45:101-108, 2004. <https://doi.org/10.1080/00071660410001668923>.

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**, 87:2287-2299, 2008. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00096>.

COWIESON, A. J.; RUCKEBUSCH, J. P.; SORBARA, J. O. B.; WILSON, J. W.; GUGGENBUHL, P.; ROOS, F. F. A systematic view on the effect of phytase on ileal amino acid digestibility in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, 225:182-194, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.008>.

Dallmann, H. M.; Avila, V. S.; Krabbe, E. L.; Surek, D.; Bedendo, G. C.; Toledo, T. S.; Rutz, F. Diferentes níveis de fitase e de densidades energéticas em dietas de frangos de corte sobre desempenho, digestibilidade de nutrientes e integridade óssea de 28 a 35 dias de idade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 75:280-292, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-12790>.

DEEKS, J. J., HIGGINS, J. P., ALTMAN, D. G., COCHRANE STATISTICAL METHODS GROUP. Analysing data and undertaking meta-analyses. **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**, 241-284, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119536604.ch10>.

DENNEHY, C.; LAWLOR, P. G.; JIANG, Y.; GARDINER, G. E.; XIE, S.; NGHIEM, L. D.; ZHAN, X. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, 11:1-16, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0942-6>.

DERSJANT-LI, Y. SCHUH, K. WEALLEANS, A. L. AWATI, A. DUSEL, G. Effect of a *Buttiauxella* phytase on production performance in growing/finishing pigs fed a European-type diet without inclusion of inorganic phosphorus. **Journal of Applied Animal Nutrition**, 5:1-7, 2017. <https://doi.org/10.1017/JAN.2017.3>.

DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H.; PARTRIDGE, G. 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**, 9: 878-896, 2015. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6998>.

DERSJANT-LI, Y.; EVANS, C.; KUMAR, A. Effect of phytase dose and reduction in dietary calcium on performance, nutrient digestibility, bone ash and mineralization in

broilers fed corn-soybean meal-based diets with reduced nutrient density. **Animal Feed Science and Technology**, 242:95-110, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.05.013>.

DERSJANT-LI, Y.; PLUMSTEAD, P.; AWATI, A.; REMUS, J. Productive performance of commercial growing and finishing pigs supplemented with a *Buttiauxella* phytase as a total replacement of inorganic phosphate. **Animal Nutrition**, 4:351-357, 2018. <https://doi.org/10.1093/jas/skab350>.

DESHPANDE, S. S. CHERYAN, M. Effects of phytic acid, divalent cations, and their interactions on  $\alpha$ -amylase activity. **Journal of food science**, 49:516-519, 1984. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12456.x>.

DONATO, D. C. Z.; ALBUQUERQUE, R. D.; GARCIA, P. D. S. R.; BALIEIRO, J. C. D. C. Desempenho de frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes níveis de cálcio suplementadas com fitase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40:2161-2166, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001000014>.

EMBRAPA. **ICP Frango/Embrapa**, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/custos/icpfrango>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

FAO. **Tracking progress on food and agriculture-related SDG indicators 2023**, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/cc7088en>>. Acesso em 13 de maio de 2024.

GULIZIA, J. P.; RUEDA, M. S.; OVI, F. K.; BONILLA, S. M.; PRASAD, R.; JACKSON, M. E.; PACHECO, W. J. Evaluate the effect of a commercial heat stable phytase on broiler performance, tibia ash, and mineral excretion from 1 to 49 days of age assessed using nutrient reduced diets. **Journal of Applied Poultry Research**, 31: 100276, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100276>.

HURRELL, R. F. Phytic Acid Degradation as a Means of Improving Iron Absorption. **Int. J. Vitam. Nutr. Res.**, 74: 445–452, 2004. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.445>.

KIES, A. K.; KEMME, P. A.; SEBEK, L. B. J.; VAN DIEPEN, J. T. M.; JONGBLOED, A. W. Efeito de doses graduadas e uma dose elevada de fitase microbiana na digestibilidade de

vários minerais em leitões desmamados. **Journal of Animal Science**, 84:1169-1175, 2006. <https://doi.org/10.2527/2006.8451169x>.

KIES, A. K.; VAN HEMERT, K. H. F.; SAUER, W. Effect of phytase on protein and amino acid digestibility and energy utilisation. **World's Poultry Science Journal**, 57:109-126, 2001. <https://doi.org/10.1079/WPS20010009>.

KRABBE, E. L.; GOPINGER, E.; CORASSA, R.; BUDKE, R. C. K.; NAIORKA, A. Phytase as a Strategy to Reduce Broiler Feeding Costs During Scenario of High Ingredient Price. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 26: eRBCA-2023, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2023-1859>.

KUMAR, V.; SINHA, A. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Dietary Roles of Phytate and Phytase in Human Nutrition: A Review. **Food Chem.**, 120:945–959, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.052>.

KUMAR, V.; SINHA, A. K.; MAKKAR, H. P.; DE BOECK, G.; BECKER, K. Phytate and phytase in fish nutrition. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, 96:335-364, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01169.x>.

LEI, X. G.; KU, P. K.; MILLER, E. R.; YOKOYAMA, M. T.; ULLREY, D. E. Supplementing corn-soybean meal diets with microbial phytase maximizes phytate phosphorus utilization by weanling pigs. **Journal of Animal Science**, 71: 3368-3375, 1993. <https://doi.org/10.2527/1993.71123368x>.

LEI, X. G.; WEAVER, J. D.; MULLANEY, E.; ULLAH, A. H.; AZAIN, M. J. Phytase, a new life for an “old” enzyme. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1:283-309, 2013. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103717>.

LIU, S. Y.; CADOGAN, D. J.; PÉRON, A.; TRUONG, H. H.; SELLE, P. H. Effects of phytase supplementation on growth performance, nutrient utilization and digestive dynamics of starch and protein in broiler chickens offered maize-, sorghum- and wheat-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, 19:164-175, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.005>.

LOEWUS, F.; **Biosynthesis of Phytate in Food Grains and Seeds**. In *Food Phytates*; Reddy, N.R., Sathe, S.K., Eds.; pp 53–61, CRC Press: Boca Raton, 2002.

LOVATTO, P. A.; HAUSCHILD, L.; HAUPTLI, L. LEHNEN, C. R. CARVALHO, A. D. Á. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34: 2348-2354, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000700022>.

LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C. R.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, A. D.; HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36: 285-294, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000026>.

MALLIN, M. A.; CAHOON, L. B. Industrialized animal production—a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems. **Population and Environment**, 24:369-385, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1023690824045>.

MCAULIFFE, G. A.; CHAPMAN, D. V.; SAGE, C. L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, 56: 12-22, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>.

MORADI, S.; ABDOLLAHI, M. R.; MORADI, A.; JAMSHIDI, L. Effect of Bacterial Phytase on Growth Performance, Nutrient Utilization, and Bone Mineralization in Broilers Fed Pelleted Diets. **Animals**, 13:1450, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.005>.

NASCIMENTO, R. A.; PELISSARI, P. H.; MORAES, U. R. T. D.; GONÇALVES, J. C.; WEN, N.; ARAÚJO, C. S. D. S.; ARAÚJO, L. F. Nutritional cost reduction and increase profitability in commercial broiler production using phytase superdosing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 50:e20200031, 2021. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200031>.

ONYANGO, E. M.; BEDFORD, M. R.; ADEOLA, O. Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets of broiler chicks. **Poultry Science**, 84:248-255, 2005. <https://doi.org/10.1093/ps/84.2.248>.

ORYSCHAK, M. A.; SIMMINS, P. H.; ZIJLSTRA, R. T. Effect of dietary particle size and carbohydrase and/or phytase supplementation on nitrogen and phosphorus excretion of grower pigs. **Canadian journal of animal science**, 82: 533 – 540, 2002. <https://doi.org/10.4141/A02-016>.

PATIENCE, J. F. Managing energy intake and costs of grow-finish pigs. *Advances in Pork Production*. p.29-36. **In:** Banff Pork Seminar, Banff, 2013.

RODRIGUES, V. V.; CANTARELLI, V. D. S.; AMARAL, N. D. O.; ZANGERONIMO, M. G.; BRITO, J. Á. G. D.; FIALHO, E. T. Nutrient reduction in rations with phytase for growing pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40: 370-376, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200019>.

ROMANO, N.; KUMAR, V. Phytase in animal feed. In *Enzymes in human and animal nutrition*. **Academic Press**, p73-88, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805419-2.00004-6>.

SELLE, P. H.; RAVINDRAN, V. Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal feed science and technology*, 135:1-41, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.010>.

SELLE, P. H.; COWIESON, A. J.; COWIESON, N. P.; RAVINDRAN, V. Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutrition research reviews*, 25: 1-17, 2012. <https://doi.org/10.1017/S0954422411000151>.

SELLE, P. H.; RAVINDRAN, V.; CALDWELL, A.; BRYDEN, W. L. Phytate and phytase: consequences for protein utilization. *Nutrition Research Reviews*, 13:255-278, 2000. <https://doi.org/10.1079/095442200108729098>.

SINGH, M.; KRIKORIAN, A. D. Inhibition of trypsin activity in vitro by phytate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30:799-800, 1982. <https://doi.org/10.1021/JF00112A049>.

SOLOMON, H. S.; ADEJORO, F. A.; NKUKWANA, T. T. Efficacy of three heat-stable microbial phytases on growth performance and bone development and strength of broilers fed diets deficient in available phosphorus. *Canadian Journal of Animal Science*, 102:420-430, 2022. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0188>.

TROUONG, H. H.; BOLD, R. M.; LIU, S. Y.; SELLE, P. H. Standard phytase inclusion in maize-based broiler diets enhances digestibility coefficients of starch, amino acids and sodium in four small intestinal segments and digestive dynamics of starch and protein. *Animal Feed Science and Technology*, 209:240-248, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.012>.

TSAI, T. C.; DOVE, R.; BEDFORD, M. R.; AZAIN, M. J. Effect of phytase on phosphorous balance in 20-kg barrows fed low or adequate phosphorous diets. **Animal Nutrition**, 6:9-15, 2020. [https://doi.org/ 10.1016/j.aninu.2019.11.002](https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.11.002).

USDA (United States Department of Agriculture). **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**, 2024. Disponível em: < [livestock\\_poultry.pdf \(usda.gov\)](#)>. Acesso em 13 de maio de 2024.

VONDEROHE, C. E.; BRIZGYS, L. A.; RICHERT, J. A.; RADCLIFFE, J. S. Swine production: how sustainable is sustainability?. **Animal Frontiers**, 12: 7-17, 2022. [https://doi.org/ 10.1093/af/vfac085](https://doi.org/10.1093/af/vfac085).

WALK, C. L.; SANTOS, T. T.; BEDFORD, M. R. Influence of superdoses of a novel microbial phytase on growth performance, tibia ash, and gizzard phytate and inositol in young broilers. **Poultry science**, 5: 1172-1177, 2014. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03571>.

WANG, Y.; DONG, H.; ZHU, Z.; GERBER, P. J.; XIN, H.; SMITH, P.; CHADWICK, D. Mitigating greenhouse gas and ammonia emissions from swine manure management: a system analysis. **Environmental science & technology**, 51:4503-4511, 2017. [https://doi.org/ 10.1021/acs.est.6b06430](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06430).

WOYENGO, T. A.; NYACHOTI, C. M. 2013. Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—current knowledge and directions for future research. **Canadian Journal of Animal Science**, 93:9-21, 2013. [https://doi.org/ 10.4141/cjas2012-01](https://doi.org/10.4141/cjas2012-01).

WOYENGO, T. A.; COWIESON, A. J.; ADEOLA, O.; NYACHOTI, C. M. 2009. Ileal digestibility and endogenous flow of minerals and amino acids: responses to dietary phytic acid in piglets. **British journal of nutrition**, 102: 428-433, 2009. [https://doi.org/ 10.1017/S0007114508184719](https://doi.org/10.1017/S0007114508184719).

WU, F.; TOKACH, M. D.; DRITZ, S. S.; WOODWORTH, J. C.; DEROUCHÉY, J. M.; GOODBAND, R. D.; BERGSTROM, J. R. Effects of dietary calcium to phosphorus ratio and addition of phytase on growth performance of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, 96:1825-1837, 2018. [https://doi.org/ 10.1093/jas/sky101](https://doi.org/10.1093/jas/sky101).

YU, S.; COWIESON, A.; GILBERT, C.; PLUMSTEAD, P.; DALSGAARD, S. 2012. Interactions of phytate and myo-inositol phosphate esters (IP1-5) including IP5 isomers with dietary protein and iron and inhibition of pepsin. **Journal of Animal Science**, 90: 1824-1832. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3866>.

ZENG, Z. K.; LI, Q. Y.; ZHAO, P. F.; XU, X.; TIAN, Q. Y.; WANG, H. L.; PIAO, X. S. A new *Buttiauxella* phytase continuously hydrolyzes phytate and improves amino acid digestibility and mineral balance in growing pigs fed phosphorous-deficient diet. **Journal of animal science**, 94: 629-638, 2016. <https://doi.org/10.2527/jas2015-9143>.

ZOUAOU, M.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P.; GUAY, F. 2018. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: a meta-analysis. **Animal Feed Science and Technology**, 238:18-28, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019>.

**ARTIGO 1: FITASE EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE: AVALIAÇÃO TÉCNICO-  
ECONÔMICA**

O artigo a seguir foi elaborado conforme as normas do periódico científico “*Revista Brasileira de Zootecnia*”.

### **Fitase em dietas de frangos de corte: avaliação técnico-econômica**

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar os efeitos da fitase em dietas de frangos de corte sobre o desempenho zootécnico e custo nutricional, através de análise técnico econômica aliada a revisão sistemática e meta-análise. Foi criado um banco de dados por meio de coletas de artigos científicos publicados entre os anos de 2018 a 2023, que tratavam de frangos de corte suplementados com fitase. Os critérios de elegibilidade adotados para seleção dos artigos foram: estudos in vivo; estudos com no mínimo três dietas (dieta de acordo com a exigência nutricional sem fitase (DB), dieta com redução de P digestível da matriz nutricional sem fitase (DRP) e dieta com redução de P digestível da matriz nutricional com fitase (DRP+F); estudos de desempenho; e estudos conduzidos com período experimental mínimo de 42 dias. Identificou-se 1.892 publicações, dentre as quais foram selecionadas 17 publicações. Os animais alimentados com a DB tiveram maior consumo de fósforo. Já os alimentados com DRP apresentaram menor receita, custo/cabeça e lucro, por outro lado, os submetidos a DRP+F apresentaram menor custo/cabeça em comparação aos alimentados com DB. A redução dos níveis de P nas dietas prejudica o desempenho, entretanto a suplementação de fitase nessas dietas mantém o desempenho e reduz em US\$ 9,523 o custo da alimentação por tonelada de frango de corte produzido. Sugere-se uma redução de 0,15% de P digestível da matriz nutricional da dieta e a suplementação de fitase.

**Palavras-Chave:** avicultura, custo nutricional, desempenho, enzima exógena

## **Phytase in broiler feed: technical and economic evaluation**

**ABSTRACT:** The aim of this study was to evaluate the effects of phytase in broiler diets on zootechnical performance and nutritional costs, through a systematic review combined with a technical and economic analysis. A database was created by collecting scientific articles published between 2018 and 2023 that dealt with broilers supplemented with phytase. The eligibility criteria used to select the articles were: a) in vivo studies; b) studies with at least three diets (diet according to nutritional requirement and without phytase (DB), diet with reduced digestible P from the nutritional matrix and without phytase (DRP) and diet with reduced digestible P from the nutritional matrix and with phytase (DRP+F); c) performance studies; and d) studies conducted over a minimum experimental period of 42 days. 1.892 publications were identified, from which 17 publications were selected. The animals fed DB had higher phosphorus consumption. Broilers fed DRP had lower revenue, cost/head and profit, while those fed DRP+F had lower cost/head compared to those fed DB. Reducing the levels of P in diets impairs performance, but supplementing these diets with phytase maintains performance and reduces the cost of feed per ton of broilers produced by US\$ 9.523. A reduction of 0.15% of digestible P in the nutritional matrix of the diet and the supplementation of phytase are suggested.

**Keywords:** poultry farming, nutritional cost, performance, exogenous enzyme

## Introdução

Aproximadamente dois terços do fósforo (P) total contido nos ingredientes vegetais que compõem as dietas das aves está complexado ao fitato (Vieira et al., 2016). Para que esse P possa ser utilizado pela ave é necessário que o fitato seja hidrolisado pela fitase. Embora exista uma leve atividade de fitase na mucosa intestinal das aves, essa atividade é insuficiente para quebrar a molécula, tornando o P indisponível (Abd el-hack et al., 2018). Dessa forma, a fitase exógena tem sido utilizada nas dietas para hidrolisar o fitato no trato gastrointestinal, disponibilizando P e outros nutrientes para absorção das aves (Tsai et al., 2020).

A literatura científica evidencia que a inclusão de fitase em dietas para frangos de corte pode melhorar a digestibilidade do P e cálcio (Dallmann et al., 2023; Moradi et al., 2023), de aminoácidos (Trouong et al., 2015; Cowieson et al., 2017), de nitrogênio e energia (Liu et al., 2014; Zouaoui et al., 2018), reduzindo a excreção de P (Moradi et al., 2023) e custo da dieta (Dessimoni et al., 2020; Nascimento et al., 2021), sem prejudicar o desempenho zootécnico, estrutura óssea e rendimento de carcaça e cortes (Abd el-hack et al., 2018; Barrilli et al., 2023).

Vários estudos utilizando diferentes fontes de fitases (bacterianas e fungicas) na alimentação de animais não ruminantes foram revisados nos últimos anos por Adeola & Cowieson (2011), Walk et al. (2014), Abd el-hack et al. (2018), Selle et al. (2023), demonstrando os efeitos positivos da enzima sobre as características produtivas, econômicas e ambientais.

No entanto, é necessário atualizar seus efeitos na produção contemporânea partindo da perspectiva de que os ingredientes basais que compõem as dietas vêm sofrendo oscilações constantes de preços elevando os custos das dietas. Ademais,

observa-se na literatura uma carência de informações voltadas ao impacto técnico econômico e os reais retornos financeiros que a inclusão da fitase pode promover na alimentação de frangos de corte.

Além disso, metodologias que simulam avaliações técnico-econômica com dados obtidos através de revisão sistemática e meta-análise são pioneiros em frango de corte. Portanto, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar os efeitos da fitase em dietas de frangos de corte no desempenho zootécnico e custo da dieta, por meio de análise técnico econômica associada a revisão sistemática e meta-análise.

### **Material e Métodos**

Para elaboração do estudo foi criado um banco de dados a partir da seleção e coleta de artigos científicos indexados e publicados entre os anos de 2018 à 2023. As buscas foram realizadas na plataforma Google Scholar, pubmed e Scielo, utilizando as palavras chaves “phytase” combinada com “broiler” e “performance”, durante os meses de dezembro de 2022 a junho de 2023.

Todos os artigos encontrados em cada base de dados foram exportados para o *software* EndNote X9, o que permitiu organizar as referências bibliográficas obtidas nas bases indexadoras. O fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foi utilizado para seleção dos artigos (Page et al., 2020) (Figura 1).

Para a escolha dos artigos, o critério primário definido foi que apenas artigos relacionados ao desempenho de frangos de corte suplementados com fitase seriam considerados elegíveis. Os critérios secundários de elegibilidade definidos foram: a) estudos in vivo; b) estudos compostos por no mínimo três dietas (dieta formulada de

acordo com a exigência nutricional e isenta de fitase (DB), dieta formulada com redução do nível de P digestível da matriz nutricional e sem inclusão de fitase (DRP) e dieta formulada com redução de P digestível da matriz nutricional e suplementada com fitase (DRP+F); c) estudos de desempenho nas fases inicial, crescimento e final; e d) estudo conduzido com período experimental mínimo de 42 dias (aves entre 1 e 42 dias).

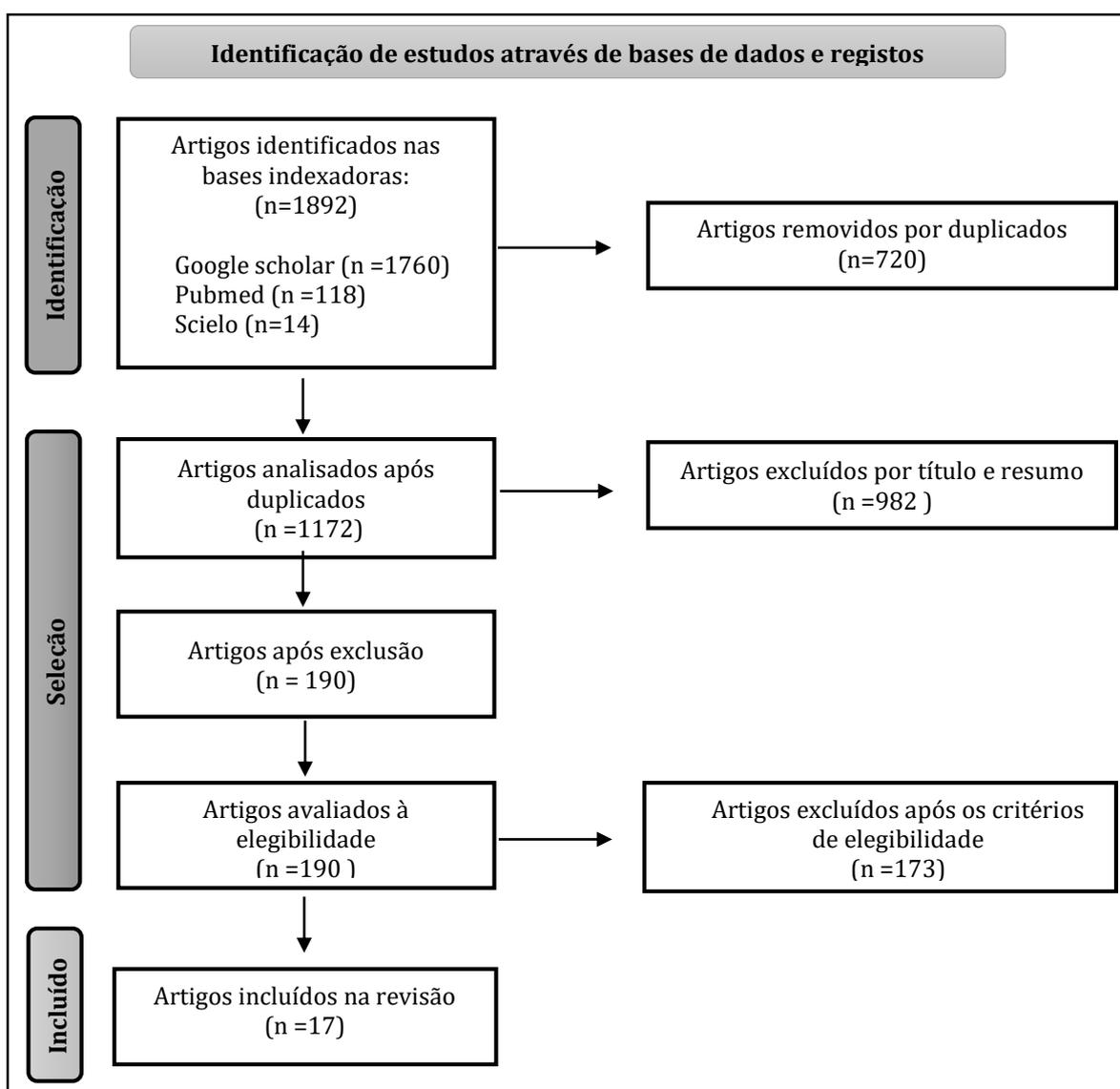


Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA.

Fonte: Adaptado de Page et al., (2020).

Foram identificadas 1.892 publicações, dentre essas foram selecionadas 17 publicações (Tabela 1) após a aplicação dos critérios de elegibilidade. Os dados dos artigos selecionados foram tabulados e organizados em planilhas eletrônicas e, posteriormente, aplicou-se codificações nos dados das fases inicial, crescimento e final para facilitar a explanação e interpretação. O mesmo procedimento de codificação foi aplicado para agrupar as dietas experimentais.

**Tabela 1.** Características das pesquisas usadas no estudo técnico econômico sobre o uso de fitase em dietas para frangos de corte (1 a 42 dias de vida)

Referências	Animais, nº	Redução de P, %	Níveis de Fitase, FTU/kg	Origem da Fitase
Broch et al. (2018)	920	0,14	0 - 1000/3000	<i>Aspergillus oryzae</i>
Broch et al. (2018)	624	0,15	0 - 4500	<i>Aspergillus oryzae</i>
Dessimoni et al. (2019)	672	0,14	0 - 500	<i>Escherichia coli</i>
Lee et al. (2019)	2970	0,15	0 - 500/3000	<i>Escherichia coli</i>
Ribeiro et al. (2019)	792	0,15	0 - 1000/4000	<i>Aspergillus oryzae</i>
Attia et al. (2020)	360	0,15	0 - 500	<i>Aspergillus niger</i>
Babatunde et al. (2020)	2400	0,15	0 - 250/1000	<i>Aspergillus niger</i>
Taheri et al. (2020)	440	0,25	0 - 1500/3000	<i>Escherichia coli</i>
Broch et al. (2021)	875	0,15	0 - 500/1500	-
Kriseldi et al. (2021)	1024	0,15	0 - 4500	<i>Escherichia coli</i>
Bertechini et al. (2022)	1000	0,20	0 - 500	-
Gulizia et al. (2022)	1200	0,20	0 - 500/2000	<i>Escherichia coli</i>
Javadi et al. (2022)	490	0,10	0 - 250/1000	<i>Serratia odorifera</i>
Mulvenna et al. (2022)	308	0,22	0 - 500/1500	<i>Escherichia coli</i>
Shi et al. (2022)	528	0,10	0 - 500/10000	<i>Trichoderma strain</i>
Shimeno et al. (2022)	900	0,10	0 - 500	<i>Aspergillus oryzae</i>
Maynard et al. (2023)	480	0,15	0 - 2000	<i>Escherichia coli</i>

No banco de dados dos artigos utilizados, avaliou-se o total de 15.983 frangos de corte, a suplementação média de fitase foi de 1.664 FTU/kg. A redução média de P digestível foi de 0,15%. O peso médio inicial e final das aves foram de  $44,02 \pm 2,03$  g e  $2.731 \pm 0,57$  g, respectivamente. O período experimental médio foi de 43,86 dias.

Para a análise técnico econômica foram realizadas formulações de dietas a base de milho e farelo de soja, de acordo com as exigências nutricionais de frangos de corte machos de desempenho regular-médio (1 - 7; 8 - 21; 22 - 33; 34 - 42 dias), conforme recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2017).

A partir das formulações de rações foram gerados os custos nutricionais para cada uma das fases e sua aplicação sobre os resultados de desempenho obtido em cada estudo avaliado. Para isso, os ingredientes foram cotados no banco de dados do centro de estudos avançados em economia aplicada (CEPEA/Esalq/USP) e bolsa de Chicago, através da média dos preços dos ingredientes (kg) durante os anos de 2018 à 2023. O fosfato bicálcico, calcário, premix, inerte, aminoácidos e fitase, foram cotados através de diferentes fornecedores nacionais e seus respectivos preços médio foram adotados.

Os valores cotados em reais foram convertidos em dólar (US\$ 1,00 = R\$ 5,12) de acordo com o valor médio obtido a partir do histórico de cinco anos do banco central: Milho= US\$ 0,188, farelo de soja= US\$ 0,415, óleo de soja= US\$ 0,674, fosfato bicálcico= US\$ 0,776, calcário calcítico= US\$ 0,023, L- lisina= US\$ 3,233, DL- metionina= US\$ 7,759, L- Treonina= US\$ 5,990, L- triptofano= US\$ 16,784, Sal= US\$ 0,508, Premix= US\$ 10,906, inerte= US\$ 0,041, fitase= US\$ 17,142. O preço do frango vivo adotado foi US\$ 0,922.

Para o desempenho foram avaliadas o ganho de peso (GP), consumo de ração (CR), consumo de P (CP), conversão alimentar (CA) e peso final (PF). O cálculo para o

consumo de P digestível foi: DB, CP,g =  $((CR \times 0,356) / 100)$ ; DRP e DRP + F, CP,g =  $((CR \times 0,206) / 100)$ .

Para os custos alimentares analisou-se a receita, custo alimentar/cabeça de frango, lucro, margem bruta (MB), custo alimentar/kg de frango, custo alimentar/tonelada de frango e variação de custos alimentares. A variação do custo alimentar foi determinada a partir das dietas DRP e DRP + F em relação a dieta basal.

Os custos das dietas por fase foram obtidos a partir das seguintes equações: Custo da dieta por fase (CDF) = custo/Kg da dieta na fase  $\times$  CR da fase; Custo da dieta total (CDT): somatório dos custos da ração de todas as fases; Custo alimentar por frango produzido (Custo/cabeça) = CDT / GP; Variação do custo alimentar DRP =  $((\text{Custo/cabeça da DRP} \times 100) / \text{Custo/cabeça da DB}) - 100$ ; Variação do custo alimentar DRP+F =  $((\text{Custo/cabeça da DRP} + \text{F} \times 100) / \text{Custo/cabeça da DB}) - 100$ ; Custo alimentar por kg de frango (Custo/kg) = custo alimentar por kg de frango / PF; Custo alimentar por tonelada de frango = Custo/kg  $\times$  1000; Receita = Preço do kg do frango (US\$)  $\times$  PF; Lucro = receita - Custo/kg; Margem bruta = lucro / receita.

O conjunto de dados foi analisado usando o software estatístico SAS (SAS, 2004). A análise das médias foi realizada pelo teste F de Fisher, e quando significativas, adotou-se a comparação das médias com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## Resultados

Frangos de corte alimentados com DRP apresentaram redução ( $P < 0,05$ ) no CRT, GPT, PF e piora na CA em relação aos alimentados com DB e DRP+F (Tabela 2). A DB e DRP+F não diferiram ( $P > 0,05$ ) entre si para essas variáveis. Frangos de corte

alimentados com a DB apresentaram maior ( $P<0,05$ ) CP percentual e diário em relação aos animais alimentados com a DRP e DRP+F.

**Tabela 2.** Desempenho de frangos de corte (1 a 42 dias) alimentados com dietas contendo ou não fitase

Variáveis	Dietas			P-value	CV, %
	DB	DRP	DRP+F		
PI, g	43,955	43,932	44,191	0,887	3,87
CR, kg	4,518a	4,242b	4,460a	$P<0,05$	3,34
CP, %	0,356a	0,206b	0,206b	$P<0,05$	15,31
CP, kg	0,016a	0,009b	0,009b	$P<0,05$	7,11
GP, kg	2,770a	2,550b	2,721a	$P<0,05$	3,43
CA, kg/kg	1,661b	1,703 <sup>a</sup>	1,665b	$P<0,05$	2,62
PF, kg	2,816a	2,603b	2,773a	$P<0,05$	3,50

DB- dieta basal; DRP- dieta com redução de P, DRP+F- dieta DRP suplementada com fitase.

PI- peso inicial; CR- consumo de ração total; CP- consumo de P; GP- ganho de peso total; CA- conversão alimentar; PF- peso final; CV- Coeficiente de Variação.

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem ( $P<0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Os frangos de corte alimentados com DRP apresentaram menor ( $P<0,05$ ) receita, custo/cabeça e lucro, em relação aqueles que consumiram a DB e DRP+F (Tabela 3).

As aves submetidas a DRP+F apresentaram menor ( $P<0,05$ ) custo/cabeça em comparação aos alimentados com DB, mas para receita e lucro não diferiram entre si. Não foram observados efeitos ( $P>0,05$ ) das dietas sobre a MB, custo/kg, custo/ton e para a variação.

**Tabela 3.** Custo alimentar e indicadores econômicos de frangos de corte (1 a 42 dias) suplementados ou não com fitase

Variáveis	Dietas			P-value	CV, %
	DB	DRP	DRP+F		
Receita, U\$	2,598a	2,400b	2,557 <sup>a</sup>	P<0,05	3,45
Custo/cabeça, U\$	1,662a	1,523c	1,605b	P<0,05	3,35
Lucro, U\$	0,936a	0,876b	0,951 <sup>a</sup>	0,001	6,27
MB, %	35,118	35,186	36,200	0,120	4,68
Custo, U\$/kg	0,609	0,610	0,599	0,114	2,59
Custo, U\$/ton	609,220	610,181	599,697	0,114	2,59
Variação, %	0,000	0,108	-1,497	0,140	-552,53

DB- Dieta basal; DRP- dieta com redução de P; DRP+F- dieta DRP suplementada com fitase; MB- margem bruta; CV- Coeficiente de Variação.

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem (P<0,05) pelo teste de Tukey.

### Discussão

Os resultados do presente estudo demonstram que frangos de corte alimentados com dietas com redução dos níveis de P e suplementadas com fitase, apresentam desempenho similar aos animais alimentados com dietas formuladas atendendo o nível nutricional de P e sem fitase. No entanto, verificou-se que as dietas manipuladas com redução do nível nutricional de P e não suplementadas com fitase prejudicam o desempenho dos frangos de corte.

Dessa forma, podemos inferir que a suplementação de fitase foi eficiente em disponibilizar o P fítico contido nos ingredientes vegetais das dietas, uma vez que, o CR, GP, CA e o PF dos frangos de corte alimentados com DRP+F foi superior aos animais alimentados com DRP. As dietas formuladas com redução de P e sem fitase reduziram o CR e o GP e conseqüentemente prejudicaram a CA e o PF dos frangos. O consumo de

P foi menor para aves alimentadas com DRP e DRP+F em relação as alimentadas com DB.

Os resultados do presente estudo estão de acordo aos observados por Freitas et al. (2019), que ao avaliarem níveis crescentes de fitase (500, 1000 e 1500 FTU/kg) em dietas de frangos de corte com redução de P (0,150%), Ca (0,165%) e Na (0,035%) da matriz nutricional, não observaram diferença sobre o desempenho dos animais em relação aos que consumiram DB.

É importante salientar que a DRP+F melhorou a CA, mesmo com menor concentração e consumo de P em relação a DB, isso demonstra que a suplementação de fitase potencializou o aproveitamento dos nutrientes da dieta pelos animais, utilizando-os para seu desenvolvimento pleno o que refletiu em frangos de corte mais pesados quando comparada a DRP sem fitase.

O melhor aproveitamento dos nutrientes e redução de consumo de P inorgânico também sugere menor excreção de P, N e outros compostos poluentes ao ambiente, evidenciando a contribuição da fitase em reduzir os efeitos poluentes da produção avícola, conforme observado por Moradi et al., (2023).

O fitato presente em ingredientes de origem vegetal é considerado um fator antinutricional que restringe a absorção e digestão de minerais e nutrientes, piorando o desempenho das aves. Além disso, o consumo inadequado de P pelo animal pode prejudicar seu desempenho. De acordo com McDowell (1992) a perda de apetite é um dos primeiros sinais clínicos observados em um quadro de deficiência de P pelas aves, o que reduz o consumo de alimento. O P também participa integralmente do metabolismo energético e da produção de ATP, sendo que sua deficiência nutricional pode promover a diminuição do ganho de peso, piora da CA e, conseqüentemente, a

queda do PF das aves, sendo esses os fatores que podem explicar os efeitos negativos provocado pela DRP observados no presente estudo.

Por outro lado, os resultados positivos de desempenho observados por meio da suplementação de fitase na dieta com redução de P para frangos de corte, estão provavelmente relacionados ao aumento da disponibilidade de P (Bertechini et al., 2022). A fitase é capaz de hidrolisar a molécula de ácido fitico contido nos ingredientes de origem vegetal, liberando P e outros minerais como cálcio, sódio, zinco, ferro e magnésio, bem como de aminoácidos como glicina, serina, treonina e prolina complexados a molécula de fitato, tornando-os disponíveis para absorção e metabolismo (Adeola & Cowieson, 2011).

A dieta DRP+F não afetou negativamente o desempenho, de modo que se equiparou a DB, sugerindo que é possível realizar a substituição parcial ou total de fontes inorgânicas de P nas fases iniciais, de crescimento e final, de tal forma que, torna essa estratégia nutricional atraente ao ponto de viabilizar a produção reduzindo o custo nutricional.

Referente aos indicativos econômicos, a receita e o lucro foram reduzidos quando os animais foram alimentados com DRP. A DB e DRP+F geraram receitas e lucros semelhantes. Quando analisamos o custo/cabeça, notamos que a inclusão de fitase reduziu ( $P < 0,05$ ) em US\$ -0,057, quando comparada aos animais que receberam DB. Os animais alimentados com DRP + F tiveram lucro por cabeça produzida, superiores a DB e DRP, em US\$ 0,015 e US\$ 0,075, respectivamente.

É importante destacar que, embora a fitase não tenha afetado ( $P > 0,05$ ) o custo nutricional/kg e o custo nutricional/ton no presente estudo, quando analisamos os valores médios do custo/ton, observamos que a DRP+F foi capaz de reduzir o custo/ton

em US\$ -9,523 e -10,484, quando comparado a DB e DRP, respectivamente, sem piorar o desempenho dos animais.

Considerando a perspectiva da escala industrial da produção de frango de corte mundial, a inclusão da fitase com redução de P digestível da matriz nutricional da dieta pode impactar claramente o custo da ração, pois diminui o custo da dieta por tonelada de frango de corte produzido em US\$ 9,523. De acordo com a previsão da USDA, em 2023 a produção mundial de carne de frango aumentou em 1,8%, aproximando-se dos 103 milhões de toneladas produzidas, isso representaria uma redução de 980 mil dólares. Por sua vez, no Brasil considerando a produção de 14,745 milhões de toneladas produzidas em 2023, isso representaria uma diminuição do custo nutricional por volta de 140,4 mil dólares.

Além disso, observou-se que os valores médios da MB e variação de custos se alteraram entre os tratamentos, em que, a DRP+F promoveu maior MB em relação a DB e DRP e obteve uma variação de custo negativa, o que indica um bom desempenho financeiro e eficiência operacional da dieta, viabilizando sua utilização em frangos de corte.

Esses indicadores de desempenho econômico são importantes para orientar o produtor na tomada de decisão em quais planos administrativos e nutricionais adotarem, assegurando o uso mais racional dos recursos financeiro e fatores de produção, afim de obter melhores resultados econômicos (Silva & Brito, 2024). No caso do presente estudo, claramente pode-se evidenciar resultados satisfatórios que possibilita sugerir a inclusão de fitase na dieta de frango de corte.

Considerando os impactos globais da fitase sobre os custos da dieta, Moss et al., (2022) ao utilizar a fitase (1000 FTU/kg) na alimentação de frango de corte durante 42 dias observaram que a utilização da enzima juntamente com seus valores da matriz

nutricional reduziu o custo da dieta em US\$ 44,20 por tonelada. Considerando a perspectiva do volume total de ração produzido mundialmente de 351 milhões de toneladas para frango de corte, isso equivaleria a uma redução de 15,5 milhões de dólares dos custos nutricionais. Tais ponderações indicam a magnitude dos impactos econômicos da inclusão da fitase e seu potencial em contribuir para a produção global de carne de frango.

Os resultados de custo com a inclusão de fitase em dietas para frango de corte corroboram com os achados de Santos et al. (2008) e Nascimento et al. (2021), em que ambos relataram redução nos custos quando as dietas foram formuladas com fitase e nutricionalmente reduzidas em Ca, P, EM e PB. Nascimento et al. (2021) propuseram que, a medida que se inclui níveis de 1.000 e 1.500 FTU/kg de fitase e suas respectivas reduções nutricionais sugeridas na matriz nutricional da enzima, é possível diminuir os custos em US\$ 3,58 e US\$ 6,12 por tonelada.

Estratégias nutricionais que buscam reduzir o custo da alimentação e melhorar a rentabilidade da produção avícola vem sendo trabalhadas constantemente, dentre essas os ajustes nutricionais associados a inclusão enzimática são eficientes. Contudo, reduções nutricionais drásticas podem diminuir a disponibilidade de nutrientes e impactar negativamente o desempenho animal. Dessa forma, os resultados desse estudo evidenciam que a redução do nível de P digestível da matriz nutricional da dieta com a suplementação de fitase é possível manter o padrão de desempenho dos frangos de corte e reduzir o custo nutricional da dieta.

É interessante destacar que, a redução nutricional e os ingredientes utilizados nas dietas formuladas para esse estudo, contribuíram para os resultados positivos do custo nutricional. Na avicultura industrial, reduções nos custos e aumento de receita, mesmo que pequenas como os obtidos no presente trabalho, são extremamente

relevantes, visto que, essa cadeia produtiva gera elevadas movimentações e o capital gerado é altíssimo. Dessa forma, podemos inferir que a possibilidade de redução de 0,15% do P digestível da matriz nutricional e a redução da suplementação de P de fontes inorgânicas da dieta pode promover a redução no custo da alimentação sem afetar negativamente o desempenho dos frangos de corte.

### **Conclusão**

A redução dos níveis de P nas dietas sem o uso de fitase prejudica o desempenho de frangos de corte. A suplementação de fitase em dietas com nível reduzido de P mantém o desempenho, diminui o custo nutricional e reduz em US\$ 9,523 o custo da alimentação por tonelada de frango de corte produzido. Sugere-se uma redução de 0,15% de P digestível da matriz nutricional da dieta e a suplementação de fitase.

### **Referências**

- Abd el-hack.; M. E., Alagawany, M.; Arif, M.; Emam, M.; Saeed, M.; Arain, M. A. & Khan, R. U. 2018. The uses of microbial phytase as a feed additive in poultry nutrition—a review. *Annals of Animal Science*, 18: 639-658. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0009>.
- Adeola, O.; & Cowieson, A. J. 2011. Board-invited review: opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *Journal of animal science*, 89: 3189-3218. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3715>.
- Attia, Y. A.; Bovera, F.; Iannaccone, F.; Al-Harhi, M. A.; Alaqil, A. A.; Zeweil, H. S. & Mansour, A. E. 2020. Microbial and fungal phytases can affect growth performance,

nutrient digestibility and blood profile of broilers fed different levels of non-phytic phosphorous. *Animals*, 10:580. <https://doi.org/10.3390/ani10040580>.

Babatunde, O. O.; Jendza, J. A.; Ader, P.; Xue, P.; Adedokun, S. A. & Adeola, O. 2020. Response of broiler chickens in the starter and finisher phases to 3 sources of microbial phytase. *Poultry science*, 99: 3997-4008. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.008>.

Barrilli, L. N. E.; Santos, M. C. D.; Bassi, L. S.; Kuritza, L. N.; Oliveira, S. G. D. & Maiorka, A. 2023. Phytase in diets with different phytate concentrations for broilers. *Ciência Rural*, 53: e20210831. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210831>.

Bertechini, A. G.; Reis, M. P.; Dalólio, F. S. & Carvalho, J. C. C. 2022. Phosphorus release capacity in different dietary commercial phytases through performance and bone characteristics assessment of broiler chickens. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 94: e20210286. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210286>.

Broch, J.; Nunes, R. V.; Eyng, C.; Pesti, G. M.; Souza, C.; Sangallia, G. G. & Teixeira, L. 2018. Effect of dietary phytase superdosing on broiler performance. *Animal Feed. Science and Technology*, 2018: 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.06.001>

Broch, J.; Savaris, V. D. L.; Wachholz, L.; Cirilo, E. H.; Tesser, G. L. S.; Pacheco, W. J. & Nunes, R. V. 2021. Influence of phytate and phytase on performance, bone, and blood parameters of broilers at 42 days old. *South African Journal of Animal Science*, 51: 160-171. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v51i2.3>.

Cordell, D. & White, S. 2011. Peak phosphorus: Clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, 3:2027–2049. <https://doi.org/10.3390/su3102027>.

Cordell, D.; Drangert, J.-O.; White, S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19:292305. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.

Cowieson, A. J.; Ruckebusch, J. P.; Sorbara, J. O. B.; Wilson, J. W.; Guggenbuhl, P. & Roos, F. F. 2017. A systematic view on the effect of phytase on ileal amino acid digestibility in broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 225:182-194. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.008>.

Dallmann, H. M.; Avila, V. S.; Krabbe, E. L.; Surek, D.; Bedendo, G. C.; Toledo, T. S. & Rutz, F. 2023. Diferentes níveis de fitase e de densidades energéticas em dietas de frangos de corte sobre desempenho, digestibilidade de nutrientes e integridade óssea de 28 a 35 dias de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 75: 280-292. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12790>.

Dessimoni, G. V.; Sakomura, N. K.; Donato, D. C. Z.; Goldflus, F.; Ferreira, N. T. & Dalólio, F. S. 2019. Effect of supplementation with *Escherichia coli* phytase for broilers on performance, nutrient digestibility, minerals in the tibia and diet cost. *Semina: Ciências Agrárias*, 40:767-780. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p767>.

Dessimoni, G. V.; Sakomura, N. K.; Donato, D. C. Z.; Vargas, L.; Melare, M.; Pacheco, L. & Dalolio, F. S. 2020. Supplemental phytase derived from *E. coli* in different concentrations on performance, bone mineralization and cost of broilers diets. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 92: e20180826. <https://doi.org/10.1590/0001-3756202020180826>.

Gulizia, J. P.; Rueda, M. S.; Ovi, F. K.; Bonilla, S. M.; Prasad, R.; Jackson, M. E. & Pacheco, W. J. 2022. Evaluate the effect of a commercial heat stable phytase on broiler performance, tibia ash, and mineral excretion from 1 to 49 days of age assessed using nutrient reduced diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 31: 100276. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100276>.

Javadi, M.; Cerisuelo, A.; Cambra-López, M.; Macías-Vidal, J.; Donadeu, A.; Dupuy, J. & Pascual, J. J. 2022. The Duration of the Trial Influences the Effects of Mineral Deficiency

and the Effective Phytase Dose in Broilers' Diets. *Animals*, 12: 1418. <https://doi.org/10.3390/ani12111418>.

Kriseldi, R.; Bedford, M. R.; Dilger, R. N.; Foradori, C. D.; MacKay, L. & Dozier III, W. A. 2021. Effects of phytase supplementation and increased nutrient density on growth performance, carcass characteristics, and hypothalamic appetitive hormone expression and catecholamine concentrations in broilers from 1 to 43 days of age. *Poultry science*, 100: 101495. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101495>.

Lee, S. A.; Nagalakshmi, D.; Raju, M. V.; Rao, S. V. R.; Bedford, M. R. & Walk, C. L. 2019. Phytase as an alleviator of high-temperature stress in broilers fed adequate and low dietary calcium. *Poultry science*, 98: 2122-2132. <https://doi.org/10.3382/ps/pey566>

Liu, S. Y.; Cadogan, D. J.; Péron, A.; Truong, H. H.; & Selle, P. H. 2014. Effects of phytase supplementation on growth performance, nutrient utilization and digestive dynamics of starch and protein in broiler chickens offered maize-, sorghum- and wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 19:164-175. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.005>.

Maynard, C. J.; Maynard, C. W.; Mullenix, G. J.; Ramser, A.; Greene, E. S.; Bedford, M. R.; & Dridi, S. 2023. Impact of Phytase Supplementation on Meat Quality of Heat-Stressed Broilers. *Animals*, 13:2043. <https://doi.org/10.3390/ani13122043>.

McDowell, R. L. 1992. Calcium and phosphorus. *Minerals in animal and human nutrition*. San Diego: Academic press. p.31-32.

Moradi, S.; Abdollahi, M. R.; Moradi, A.; & Jamshidi, L. 2023. Effect of Bacterial Phytase on Growth Performance, Nutrient Utilization, and Bone Mineralization in Broilers Fed Pelleted Diets. *Animals*, 13:1450. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.005>.

Moss, A.F.; Ghane, A.; Dersjant-Li, Y.; Dao, T.H.; Suleman, M.; Morgan, N. & Crowley, T.M. 2022. Appraisal of matrix values for exogenous phytase alone or in combination with

other enzymes in diets for broiler chickens. In Proceedings of the 33rd Australian Poultry Science Symposium, 33:85–88.

Mulvenna, C. C.; McCormack, U. M.; Magowan, E.; McKillen, J.; Bedford, M. R.; Walk, C. L. & Ball, M. E. E. 2022. The growth performance, nutrient digestibility, gut bacteria and bone strength of broilers offered alternative, sustainable diets varying in nutrient specification and phytase dose. *Animals*, 12: 1669. <https://doi.org/10.3390/ani12131669>.

Nascimento, R. A.; Pelissari, P. H.; Moraes, U. R. T. D.; Gonçalves, J. C.; Wen, N.; Araújo, C. S. D. S.; & Araújo, L. F. 2021. Nutritional cost reduction and increase profitability in commercial broiler production using phytase superdosing. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50:e20200031. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200031>.

Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C; Mulrow, C. D. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372, 134: 178-189 . <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

Ribeiro, T.; Dal Pont, G.; Dahlke, F.; da Rocha, C.; Sorbara, J. O. & Maiorka, A. 2019. Available phosphorus and calcium reduction in the finisher phase and phytase utilization on broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 28: 263-270. <http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfy066>.

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Hannas, M. I.; Donzele, J. L.; Sakomura, N. K.; Perazzo, F. G.; Saraiva, A.; Teixeira, M. L.; Rodrigues, P. B.; Oliveira, R. F.; Barreto, S. L. T. & Brito, C. O. 2017 . *Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais)*. 4.ed., Editora UFV, Viçosa, MG.

Santos, F. R.; Hruby, M.; Pierson, E. E. M.; Remus, J. C. and Sakomura, N. K. 2008. Effect of phytase supplementation in diets on nutrient digestibility and performance in

broiler chicks. *Journal of Applied Poultry Research* 17:191-201.  
<https://doi.org/10.3382/japr.2007-00028>.

Silva, T. D. S.; & Brito, D. A. A. Aplicação da contabilidade gerencial para otimização da produção e rentabilidade em propriedades pecuárias. *Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia-REIVA*, 7: 23-23.  
<https://reiva.unifaj.edu.br/reiva/article/view/469>.

Selle, P. H.; Macelline, S. P.; Chrystal, P. V. & Liu, S. Y. 2023. The contribution of phytate-degrading enzymes to chicken-meat production. *Animals*, 13:603. <https://doi.org/10.3390/ani13040603>.

Shi, C. X.; Lv, X. L.; Wu, L. H.; Liu, M. Y.; He, L.; Zhang, T. Y. & Han, J. C. 2022. High Doses of Phytase Alleviate the Negative Effects of Calcium and Phosphorus Imbalance on Growth Performance and Bone Mineralization in Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 24:01-10. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2021-1568>.

Shimeno, M.; Hashimoto, Y.; Yanagawa, A.; Yamamoto, M.; Yorozuya, T.; Nollet, L. & Yonemochi, C. 2022. Evaluation of Commercial 6-Phytases on Growth Performance, Bone Mineral Content, and Feed Digestibility of Broiler Chicks. *The Journal of Poultry Science*, 59:86-89. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0210010>.

Taheri, H. R. & Abbasi, M. M. 2020. Effect of high-dose phytase and low calcium concentration on performance of broiler chicken given diet severely limited in nonphytate phosphorus. *Journal of Applied Poultry Research*, 29: 817-829.  
<https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.07.004>.

Trouong, H. H.; Bold, R. M.; Liu, S. Y. & Selle, P. H. 2015. Standard phytase inclusion in maize-based broiler diets enhances digestibility coefficients of starch, amino acids and sodium in four small intestinal segments and digestive dynamics of starch and

protein. *Animal Feed Science and Technology*, 209: 240-248.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.012>.

Tsai, T. C.; Dove, R.; Bedford, M. R.; & Azain, M. J. 2020. Effect of phytase on phosphorous balance in 20-kg barrows fed low or adequate phosphorous diets. *Animal Nutrition*, 6:9-15. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.11.002>.

Vieira, B. S.; Barbosa, S. A. P. V.; Tavares, J. M. N.; Beloli, I. G. C.; Melo S., G. M.; Neto, H. R. L. & Corrêa, G. D. S. S. 2016. Phytase and protease supplementation for laying hens in peak egg production. *Semina: Ciências Agrárias*, 37: 4285-4293. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p4285>.

Walk, C. L.; Santos, T. T.; & Bedford, M. R. 2014. Influence of superdoses of a novel microbial phytase on growth performance, tibia ash, and gizzard phytate and inositol in young broilers. *Poultry science*, 5: 1172-1177. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03571>.

Zouaoui, M.; Létourneau-Montminy, M. P.; & Guay, F. 2018. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: a meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 238:18-28. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019>.

## **CAPÍTULO 2- FITASE EM DIETAS DE SUÍNOS: AVALIAÇÃO TÉCNICO- ECONÔMICA**

O artigo a seguir foi elaborado conforme as normas do periódico científico “*Revista Brasileira de Zootecnia*”.

## **Fitase em dietas de suínos: avaliação técnico-econômica**

**RESUMO:** Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a influência da fitase na dieta de suínos em crescimento e terminação sobre o desempenho zootécnico, característica de carcaça e custo nutricional, por meio de análise econômica associada a revisão sistemática e meta-análise. Foi criado um banco de dados através de artigos científicos indexados e publicados entre os anos de 2016 à 2023, na plataforma scholar google. Utilizou-se treze publicações após a aplicação dos critérios de elegibilidade que foram: estudos de desempenho e características de carcaça de suínos suplementados com fitase; estudos in vivo; estudos com no mínimo três dietas (dieta de acordo com a exigência nutricional sem fitase (DB), dieta com redução de P digestível da matriz nutricional sem fitase (DRP) e dieta com redução de P digestível da matriz nutricional com fitase (DRP+F). Os animais alimentados com DRP obtiveram menor CRD e GPD, do que os alimentados com DB e DRP+F. Os suínos alimentados com DRP e DRP+F apresentaram menor CP em relação aos alimentados com DB, e os que consumiram DRP+F obtiveram PF semelhante aos submetidos a DB. As dietas experimentais não influenciaram as características de carcaças avaliadas. O custo/cabeça foi maior para os animais alimentados com DB do que os submetidos a DRP, no entanto, a DRP gerou menor receita NBF. A fitase melhora o GPD e o PF dos animais, sem afetar negativamente a característica de carcaça a um menor custo produtivo. A dieta DRP afeta negativamente o desempenho e gera menor receita em suínos não bonificados.

**Palavras-chave:** característica de carcaça, custo nutricional, enzima exógena, suinocultura

## **Phytase in pig diets: technical and economic evaluation**

**Abstract:** The aim of this study was to evaluate the influence of phytase in the diet of growing and finishing pigs on zootechnical performance, carcass characteristics and nutritional costs, by means of a systematic review associated with meta-analysis and economic analysis. A database was created using indexed scientific articles published between 2016 and 2023 on the google scholar platform. Thirteen publications were used after applying the eligibility criteria, which were: performance studies and carcass characteristics of pigs supplemented with phytase; in vivo studies; studies with at least three diets (diet according to the nutritional requirement without phytase (BD), diet with reduced digestible P from the nutritional matrix without phytase (RPD) and diet with reduced digestible P from the nutritional matrix with phytase (RPD+P). The animals fed RPD had lower DFC and DWG than those fed BD and RPD+P. The pigs fed RPD and RPD+P had lower PC compared to those fed BD, and those that consumed RPD+P had similar FW to those fed DB. The experimental diets did not influence the carcass characteristics evaluate. The cost/head was higher for animals fed BD than those fed RPD, however, RPD generated lower not subsidized revenue. Phytase improves the DWG and FW of animals, without negatively affecting carcass characteristics at a lower production cost. The RPD diet negatively affects performance and generates lower revenue in non-subsidized pigs.

**Keywords:** carcass characteristic, nutritional cost, exogenous enzyme, pig farming

## Introdução

Cerca de dois terços do fósforo (P) contido nos ingredientes de origem vegetal estão ligados a molécula de ácido fítico, este pode-se quelatar a nutrientes carregados positivamente formando complexos fitatos (Selle et al., 2006). Animais não ruminantes não possuem enzimas endógenas capazes de degradar essa molécula, tornando parte do P e nutrientes inacessíveis ao organismo através da dieta (Rizwanuddin et al., 2023).

O fitato é uma molécula polianiônica que tem a capacidade de se ligar ao P, minerais (cálcio, ferro, zinco, sódio) (Dersjant-Li et al., 2015), aminoácidos (histidina, lisina, arginina, entre outros) (Selle et al., 2012) e outros nutrientes, reduzindo a solubilidade e biodisponibilidade da proteína, amido, lipídeos e oligoelementos (Humer et al., 2015). Uma alternativa viável para reduzir os efeitos negativos do fitato é a utilização da fitase, essa enzima catalisa a hidrólise do fitato, disponibilizando essa molécula para aproveitamento do animal (Tsai et al., 2020; Selle et al., 2023).

A fitase em dietas para suínos promove a melhora da digestibilidade do cálcio e P (Wu et al., 2018), aumenta a retenção e concentração de nitrogênio, energia (Zouaoui et al., 2018; Arredondo et al., 2019), e de aminoácidos (Trouong et al., 2015; Cowieson et al., 2017) e melhora a mineralização óssea (Jlali et al., 2024). Tais efeitos são promovidos sem prejudicar o desempenho zootécnico (Dersjant-Li et al., 2017; Dallmann et al., 2023), característica de carcaça dos animais (Lozano et al., 2011; Silva et al., 2022), diminuindo a excreção de P ao meio ambiente (Abd El-Hack et al., 2018), a um custo nutricional reduzido e rentável (Cowieson et al., 2011; Dersjant-Li et al., 2018).

Embora haja um vasto conhecimento sobre os efeitos produtivos da fitase em suínos (Adeola & Cowieson, 2011; Humer et al., 2015; Dang & Kim, 2021; Guachamín

& Gaibor, 2024), observa-se que esses benefícios também se entendem a produção de frangos de corte, poedeiras comerciais, codornas, equinos e outros (Selle et al., 2023; Pirzado et al., 2024). Entretanto, há uma carência de estudos na literatura que tratam dos efeitos da fitase sobre aspectos econômicos da produção, especialmente relacionado ao custo da dieta.

Assim, torna-se necessário verificar se a enzima é realmente eficiente no desempenho e característica de carcaça, mas principalmente sob a perspectiva do custo da ração. Além disso, metodologias que simulam avaliações técnico-econômica com dados obtidos através de revisão sistemática e meta-análise são pioneiros em suínos.

Portanto, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a influência da fitase na dieta de suínos em crescimento e terminação sobre o desempenho zootécnico, característica de carcaça e o custo nutricional, por meio de uma análise técnico-econômica, revisão sistemática e meta-análise.

## **Material e Métodos**

Para a confecção do estudo, foi criado um banco de dados através de artigos científicos indexados e publicados entre os anos de 2016 à 2023. As buscas foram feitas na plataforma scholar google e pubmed usando as palavras chaves “phytase”, associada com “pigs” e “growing and finishing”. Todos os artigos obtidos em cada base de dados foram exportados para o *software* EndNote X9, o que permitiu organizar as referências bibliográficas obtidas nas bases indexadoras. As buscas foram realizadas durante o mês de setembro de 2022 a maio de 2023.

O fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foi seguido para realização da seleção dos artigos (Page et al., 2020) (figura 1). Apenas os artigos que tratavam sobre o desempenho e características de carcaça de suínos suplementados com fitase foram considerados elegíveis, atendendo o critério primário.

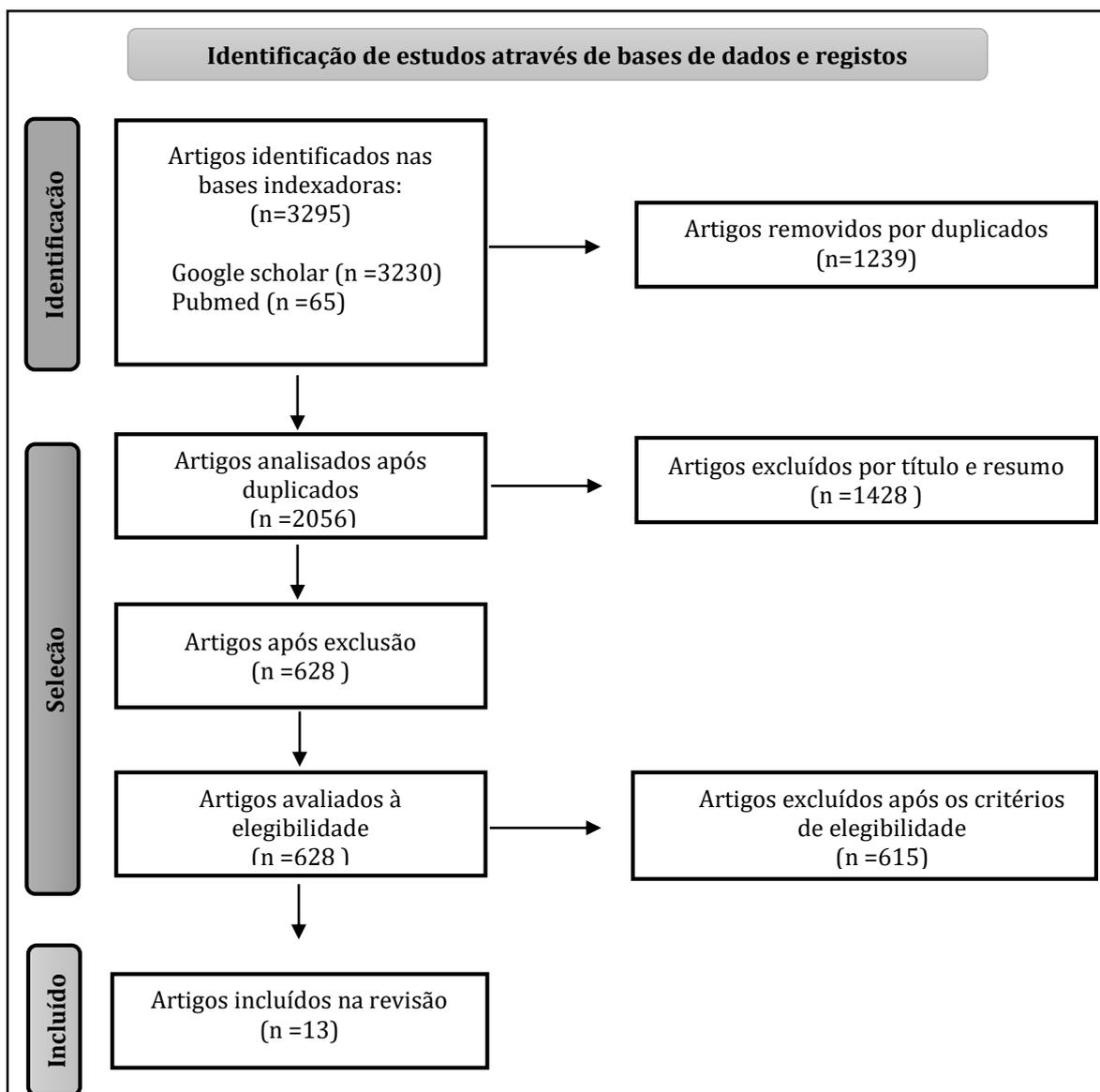


Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA.

Fonte: Adaptado de Page et al., (2020).

Os critérios de elegibilidade secundários foram: a) estudos in vivo; b) estudos compostos por no mínimo três dietas (dieta formulada de acordo com a exigência nutricional e sem fitase (DB), dieta formulada com redução de P digestível da matriz nutricional sem inclusão de fitase (DRP) e dieta formulada com redução de P digestível da matriz nutricional contendo fitase (DRP+F); c) estudos de desempenho nas fases de crescimento e terminação; d) estudo de característica de carcaça dos animais.

Foram encontradas 3.295 publicações, no entanto, utilizou-se somente 13 publicações após a aplicação dos critérios de elegibilidade (tabela 1), sendo todas essas utilizadas para compor os dados de desempenho, mas para as características de carcaça utilizou-se apenas os dados publicados por Dersjant- Li et al., (2017), Torres-Pitarch et al., (2018); Silva et., (2019); Farias (2021); Lagos et al., (2021) e Silva et. al., (2022).

Os dados coletados dos artigos foram tabulados e organizados em planilhas eletrônicas e, posteriormente aplicou-se codificações nos dados das fases de crescimento e terminação para facilitar a explanação e interpretação. O mesmo procedimento de codificação foi aplicado para agrupar as dietas experimentais.

No banco de dados dos artigos utilizados, os estudos avaliaram um total de 2.754 suínos, a suplementação média de fitase foi de 980 FTU/kg. A redução média de P digestível foi de 0,12%. O peso médio inicial e final dos suínos foi de  $29,38 \pm 6,96$  kg e  $111,34 \pm 10,30$  kg, respectivamente. O período experimental médio foi de 92 dias.

Para a análise técnico econômica foram realizadas formulações de dietas a base de milho e farelo de soja, de acordo com as exigências nutricionais de suínos machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio-superior nas fases de 30 a 50 kg; 50 a 70 kg; 70 a 100 kg e 100 a 120 kg, conforme as recomendações

nutricionais de Rostagno et al. (2017). A DB foi formulada com P adequado, já a DRP e DRP+F foi calculada com redução de -0,12% de P digestível em todas as fases.

A cotação dos ingredientes foi realizada no banco de dados do centro de estudos avançados em economia aplicada (CEPEA/Esalq/USP) e bolsa de Chicago, através da média dos preços dos ingredientes durante os anos de 2018 à 2023, exceto para o fosfato bicálcico, calcário, premix, inerte, aminoácidos e fitase, que foram cotados através de diferentes fornecedores nacionais. Os valores cotados em reais foram convertidos em dólar (US\$ 1,00 = R\$ 5,12) de acordo com o valor médio obtido a partir do histórico de cinco anos do banco central.

**Tabela 1.** Características dos artigos usados no estudo técnico econômico sobre o uso da fitase em dietas para suínos em fase de crescimento e terminação

Referências	Animais, nº	Redução de P, %	Níveis de Fitase, FTU/kg	Origem da Fitase
Miller et al. (2016)	252	0,11	0/ 2000	<i>Aspergillus oryzae</i>
Dersjant-Li et al. (2017)	180	0,11	0/ 1000	<i>Trichoderma reesei</i>
Veum & Liu (2018)	252	0,12	0/ 800	<i>Aspergillus niger</i>
Torres- Pitarch et al. (2018)	108	0,08	0/ 500	-
Silva et al. (2019)	216	0,13	0/3000	<i>Aspergillus oryzae</i>
Lagos et al. (2020)	300	0,11	0/ 500	<i>Escherichia coli</i>
Grela et al. (2020)	216	0,1	0/ 1500	<i>Aspergillus oryzae</i>
Farias (2021)	60	0,15	0/1000	<i>Aspergillus niger</i>
Lagos et al. (2021)	240	0,11	0/ 500	<i>Escherichia coli</i>
Babatunde & Adeola (2022)	96	0,13	0/ 1000	<i>Aspergillus oryzae</i>
Silva et al. (2022)	216	0,13	0/ 4500	<i>Aspergillus oryzae</i>
Souza et al. (2022)	78	0,12	0/ 500	<i>Trichoderma reesei</i>
Williams et al. (2022)	540	0,11	0/ 2000	<i>Aspergillus oryzae</i>

Os valores dos ingredientes (kg) cotados foram: Milho= US\$ 0,188, farelo de soja= US\$ 0,415, óleo de soja= US\$ 0,674, fosfato bicálcico= US\$ 0,776, calcário calcítico= US\$ 0,023, L- lisina= US\$ 3,233, DL- metionina= US\$ 7,759, L- Treonina= US\$ 5,990, L- triptofano= US\$ 16,784, Sal= US\$ 0,508, premix= US\$ 10,906, inerte= US\$ 0,041, fitase= US\$ 17,142. O preço de comercialização do suíno vivo foi US\$ 1,376/kg.

A partir das formulações realizadas foram gerados os custos nutricionais para cada uma das fases e sua aplicação sobre os resultados de desempenho e característica de carcaça obtido em cada estudo avaliado. Para o desempenho foram avaliadas o peso inicial (PI), consumo de ração diário (CRD), consumo de P digestível (CP), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA) e peso final (PF). Para obtenção do CP foi utilizado o seguinte cálculo:  $CP, g = (CRD \text{ fase total} \times \text{Média exigência de P digestível (\% das fases)}) / 100$ .

Já para as características de carcaça foram analisados o peso da carcaça (PC/kg), rendimento de carcaça (RC/%), espessura de toucinho (ET/mm), área de olho de lombo (AOL/cm<sup>2</sup>), percentual de carne magra (PCM/%), rendimento de carne magra (RCM/kg) e índice de bonificação (IB). O índice de Bonificação foi estimado através da equação sugerida por Guidoni (2000):  $IB = 23,6 + 0,286 \times \text{peso de carcaça quente} + \text{percentual de carne na carcaça fria}$ .

As variáveis para custos alimentares foram: Receita NBF (suínos não bonificados), receita BF (suínos bonificados), custo alimentar/suíno produzido, lucro, margem bruta (MB), custo alimentar/kg de suíno, custo alimentar/tonelada de suíno, variação de custo alimentar. A variação de custo alimentar foi realizada a partir da DRP e DRP + F em relação a dieta controle.

A equação de receita pelo sistema de bonificação (BF) proposto por Guidoni (2000) foi:  $\text{Receita BF} = R\$/PV \times ((PCarc/\%Rend) \times (23,6 + (0,286 \times PCarc) + \%$

CarnM), em que: R\$/PV= preço pago ao produtor por quilo de suíno vivo; PCarc= peso de carcaça; %Rend= percentual de rendimento de carcaça e %CarnM= percentual de carne magra da carcaça.

Os custos alimentares das dietas por fase foram obtidos a partir das seguintes equações: Custo da dieta por fase (CDF)= custo/Kg da dieta na fase × CR da fase; Custo da dieta total (CDT): somatório dos custos da ração de todas as fases; Custo alimentar por suíno produzido (Custo/cabeça) = CDT / GP; Variação de custo alimentar DRP=  $((\text{Custo/cabeça da DRP} \times 100) / \text{Custo/cabeça da DB}) - 100$ ; Variação de custo alimentar DRP+F =  $((\text{Custo/cabeça da DRP} + F \times 100) / \text{Custo/cabeça da DB}) - 100$ ; Custo alimentar por kg de suíno (Custo/kg) = custo alimentar por kg de suíno/ PF; Custo alimentar por tonelada de suíno= Custo/kg × 1000; Receita= Preço do kg do suíno (US\$) × PF; Lucro= receita - Custo/kg; Margem bruta= lucro / receita.

O conjunto de dados foi analisado usando o software estatístico SAS (SAS, 2004). A análise das médias foi realizada pelo teste F de Fisher e, quando significativas, adotou-se a comparação das médias com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## **Resultados**

Observou-se que a CA não foi afetada ( $P > 0,05$ ) pelas dietas experimentais, por outro lado, evidenciou-se efeito ( $P < 0,05$ ) para o CRD, GPD, CP e PF dos animais (Tabela 2). Verificou-se que os animais alimentados com DRP obtiveram menor CRD e GPD, do que os alimentados com DB e DRP+F.

Em relação ao CP, os animais alimentados com DRP e DRP+F apresentaram menor ( $P < 0,05$ ) CP em relação aos alimentados com DB. Os animais que consumiram DRP apresentam PF menor do que os alimentados com a DB, entretanto, observou-se

que os suínos submetidos a DRP+F apresentam PF semelhante aos que consumiram DB.

**Tabela 2.** Desempenho zootécnico de suínos alimentados com dietas contendo ou não fitase durante as fases de crescimento e terminação

Variáveis	Dietas			P- value	CV.%
	DB	DRP	DRP+F		
PI (kg)	29,07	28,91	29,04	0,225	0,76
CRD (kg/dia)	2,50 a	2,46 b	2,49 ab	< 0,05	1,84
CP (%)	0,27 a	0,15 b	0,15 b	< 0,05	0,20
CP (g/dia)	6,75 a	3,69 b	3,73 b	< 0,05	6,95
GPD (kg/dia)	0,96 a	0,91 b	0,96 a	< 0,05	4,14
CA (kg/kg)	2,61	2,69	2,61	0,07	3,79
PF (kg)	117,01 a	115,20 b	116,88 ab	<0,05	2,32

DB: dieta basal, DRP: dieta com redução de P, DRP+F: dieta DRP suplementada com Fitase.

PI- peso inicial; CRD- consumo de ração diário; CP- consumo de P; GPD- ganho de peso diário; CA- conversão alimentar; PF- peso final; CV- Coeficiente de Variação.

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

As dietas experimentais não influenciaram ( $P < 0,05$ ) as características de carcaças avaliadas (Tabela 3). Em relação aos custos nutricionais, as dietas estudadas não afetaram ( $P > 0,05$ ) a receita BF, lucro, MB, custo/kg, custo/ton e variação. Por outro lado, verificou-se efeito sobre a receita NBF e custo/cabeça (Tabela 4).

O custo/cabeça foi maior para os animais alimentados com DB do que os submetidos a DRP ( $P < 0,05$ ), sendo maior em US\$ 2,99, no entanto, observou-se que a DRP gerou menor receita NBF, uma vez que, verificou-se uma diferença de US\$ 4,71 e US\$ 3,69 a mais para DB e DRP+ F, respectivamente.

**Tabela 3.** Características de carcaça de suínos alimentados com dietas contendo ou não fitase

Variáveis	Dietas			P- value	CV.%
	DB	DRP	DRP+F		
PC (kg)	90,08	88,72	89,17	0,456	1,85
RC (%)	75,10	75,41	75,31	0,603	0,65
ET (mm)	15,83	15,99	15,78	0,909	5,18
AOL (cm <sup>2</sup> )	57,64	58,91	58,02	0,395	2,45
PCM (%)	55,96	55,93	56,09	0,865	0,84
RCM (kg)	50,56	49,72	50,12	0,387	1,81
IB	105,33	104,91	105,19	0,521	0,54

DB: dieta basal, DRP: dieta com redução de P, DRP+F: dieta DRP suplementada com Fitase.

PC- peso da carcaça, RC-rendimento de carcaça, ET- espessura de toucinho, AOL- área de olho de lombo, PCM- percentual de carne magra, RCM- rendimento de carne magra, IB- índice de bonificação; CV- Coeficiente de Variação.

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

**Tabela 4.** Custo alimentar e índices econômicos de suínos em crescimento e terminação suplementados ou não com fitase

Variáveis*	Dietas			P- value	CV.%
	DB	DRP	DRP+F		
Receita NBF, U\$	153,36 a	148,65 b	152,34 a	< 0,05	2,36
Receita BF, U\$	173,87	164,68	170,72,03	0,142	4,36
Custo nutricional/cabeça, U\$	67,81 a	64,82 b	66,17 ab	< 0,05	1,79
Lucro, U\$	85,54	83,82	86,17	0,153	3,61
MB, %	55,90	56,46	56,68	0,110	1,66
Custo alimentar, U\$/kg	0,779	0,777	0,766	0,302	3,03
Custo alimentar, U\$/ton	779,88	777,75	766,29	0,302	3,03
Variação de Custo, %	0	-0,17	-1,71	0,334	-503,95

DB: dieta basal; DRP: dieta com redução de P; DRP+F: dieta DRP suplementada com fitase; MB: margem bruta; CV- Coeficiente de Variação. \*valores em dólar.

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

## Discussão

Como esperado a inclusão de fitase na dieta melhorou a GPD e PF dos animais no presente estudo, o que corrobora com Dersjant-Li et al., (2017), que observaram aumento do GPD sem afetar o CRD e CA de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas suplementadas com fitase (1000 FTU/kg) e com redução de P, quando comparado a dieta basal com P adequado e sem fitase. De modo similar, Grela et al. (2020) observaram que a dieta com redução de P e suplementada com fitase (500 e 1000 FTU/kg) melhoraram o GPD e a CA, sem afetar o CRD.

Por outro lado, Buzek et al. (2023) não observaram efeito sobre o GPD e CRD, mas observaram redução na CA de suínos alimentados com fitase, assim como Kasproicz-Potocka et al. (2020) também não encontraram efeitos sobre o GPD, mas os animais alimentados com dieta contendo fitase com redução de P apresentaram maior CRD.

Os suínos não são capazes de hidrolisar eficientemente o composto fitato dos ingredientes de origem vegetal contido na dieta, devido a sua deficiência em sintetizar enzimas endógenas suficientes e capazes de quebrar as ligações fíticas, o que justifica a inclusão de fitase exógena nas dietas (Selle & Ravindran, 2008). Além disso, dietas com baixo teor de P para suínos em crescimento e terminação tendem a reduzir o seu desempenho, o que indica a importância da biodisponibilidade de P e seu adequado fornecimento na dieta para a produtividade plena dos animais (Blavi et al., 2019).

No presente estudo, observou-se que os animais alimentados com a DRP tiveram uma redução no ganho de peso, mas quando a fitase foi incluída nessa dieta (DRP+F) os animais responderam com uma melhora no ganho de peso, se equiparando a DB. Tal resultado pode ser explicado pela capacidade da fitase em reduzir os efeitos

antinutricionais promovidos pelo fitato, o que aumenta a digestibilidade do P, cálcio, aminoácidos e energia, promovendo então a melhora do GPD dos animais (Dersjant-Li et al., 2015).

A fitase (mio-inositol hexafosfato fosfohidrolase; IP6) atua sobre a molécula de fitato em reações sequenciais de desfosforilação (pentafosfato - IP5, tetrafosfato - IP4, trifosfato - IP3 e possivelmente inositol difosfato - IP2 e monofosfato - IP1), subtraindo-o em ésteres de fosfato de mio-inositol e ortofosfato (Bedford e Partridge, 2010), liberando P e também moléculas de aminoácidos, minerais e outros nutrientes que estão ligados ao ácido fítico, que antes estavam indisponíveis para absorção no lúmen intestinal do animal (Yu et. al., 2012).

É importante salientar que, mesmo com a redução do nível de P (-0,12%) da matriz nutricional da dieta, a fitase foi capaz de recuperar o ganho de peso dos animais, mostrando sua eficiência sobre o desempenho dos suínos. Segundo Babatunde & Adeola (2022), a inclusão de fitase em uma dieta com redução de P melhora a eficiência alimentar de suínos em 11% quando comparado a animais alimentados com uma dieta sem fitase e com redução de P.

Por mais que o CRD não tenha sido afetado, os níveis de P ingeridos foi menor para os animais alimentados com DRP, isso pode ser explicado devido a essa dieta ser formulada com redução de P digestível da matriz nutricional, assim conseqüentemente a quantidade ingerida de P foi reduzida, sugerindo que a ingestão de P não foi suficiente para atender à sua exigência e promover o pleno desempenho dos animais submetidos a DRP do presente estudo, refletindo assim, no menor ganho de peso e peso final.

Segundo Bunzen et al., (2012), a variação de consumo de ração indica que suínos são vulneráveis a níveis inadequados de P da dieta, já que a deficiência ou excesso de fósforo promove a redução do consumo de alimento.

O P é um mineral essencial para o desenvolvimento corporal de suínos em crescimento e terminação, pois auxilia o aumento da deposição de proteína muscular e a mineralização óssea. Se o animal não estiver o fornecimento adequado de P via alimentação para suprir sua exigência nutricional, sua performance será prejudicada (Zhai et al., 2022).

Por outro lado, observou-se que os animais que consumiram DRP+F apresentaram peso final semelhante aos que consumiram DB, implicando que a fitase foi eficiente em disponibilizar o P contidos nos alimentos, mesmo com a baixa ingestão de P, apontando que possivelmente a excreção de P e outros nutrientes pode ter sido reduzida, o que possibilita benefícios ao meio ambiente por reduzir a poluição ambiental. Tais efeitos comprovam que a enzima é eficaz e promove a melhora do aproveitamento nutricional da dieta, demonstrando também os possíveis efeitos estendidos aos fatores ambientais e econômicos.

As características de carcaça de suínos alimentados com dietas suplementadas com fitases derivadas de *Buttiauxella* spp. (250, 500 e 1000 FTU/kg de ração) e *C. braakii* (1000, 2000 e 3000 FYT/kg de ração), foram avaliados por Dersjant-Li et al. (2017) e Silva et al. (2019), respectivamente. Nenhum dos estudos evidenciaram efeitos negativos das fitases sobre as características de carcaça, sendo confirmado pelos resultados encontrados no presente estudo.

Por outro lado, Lozano et al. (2011) ao avaliarem a inclusão de fitase de origem *A. niger* (500 e 1000 FTU/kg) em dietas com reduções nutricionais para suínos em terminação, observaram aumento na profundidade de músculo. Por sua vez, Silva et al., (2022) encontraram aumento no percentual de carne magra de suínos alimentados com dietas com redução de P e suplementadas com 4500 FTU/kg de fitase (*Aspergillus oryzae*).

Esses efeitos são atribuídos ao aumento da sensibilidade a insulina que confere a molécula, causando o uso progressivo da energia dietética (mio-inositol) liberada pelo aumento dos níveis de fitase, que basicamente aumenta a deposição muscular e reduz a quantidade de gordura (Yamashita et al., 2013). Entretanto, esses resultados não foram observados no presente estudo, o que indica que fatores relacionados aos aspectos composicionais e nutricionais das dietas devem ser considerados para esses efeitos.

É importante destacar que o presente trabalho foi embasado em um compilado de resultados de diferentes estudos, sendo esses executados em diferentes países, condições ambientais e de produção, além de serem desenvolvidos com diferentes delineamentos experimentais que consideraram diferentes tipos de dietas, composições nutricionais, genéticas, ingredientes, níveis de redução nutricional e principalmente níveis de inclusão de fitase (baixa ou alta dosagem), sugerindo então que, a fitase não afeta negativamente as características de carcaça quando incluídas em dietas de suínos em crescimento e terminação.

Os resultados econômicos desse trabalho estão de acordo com Oliveira et al. (2010) que ao reduzirem o P e incluírem a fitase na dieta de suínos não observaram efeito sobre a característica de carcaça, mas detectaram melhora nos custos de produção reduzindo em US\$ 12,58 em comparação a dieta com P adequado e sem fitase. Do mesmo modo, Dersjant-Li et al. (2018) destacaram que a suplementação de fitase é capaz de reduzir o custo das dietas sem afetar o desempenho dos animais, sendo possível obter lucro líquido por animal produzido de US\$ 3,58 ( 500 FTU/kg) e US\$ 4,21 (1000 FTU/kg) a mais, quando comparado aos animais com uma dieta basal sem inclusão de fitase.

Entretanto, o mesmo não foi observado por Corassa et al. (2022), uma vez que não observaram efeitos da fitase sobre a viabilidade econômica, pois a enzima não alterou o custo médio por ganho de peso (GPC), índice de custo (IC) e índice de eficiência econômica (EEI) de suínos. Os resultados econômicos relatados estão intimamente relacionados ao cenário econômico (preço dos ingredientes e enzima) no qual os trabalhos foram realizados, a forma com que foram manipulados os valores nutricionais (níveis de redução de P e outros nutrientes), origem da fitase, nível de inclusão e fase de suplementação.

Além disso, observou-se que os valores médios da MB e variação de custos se alteraram entre os tratamentos, em que, a DRP+F promoveu maior MB em relação a DB e DRP e obteve uma variação de custo negativa, o que indica um bom desempenho financeiro e eficiência operacional da dieta e relação as demais, viabilizando sua utilização em frangos de corte.

Esses indicadores de desempenho econômico são importantes para orientar o produtor na tomada de decisão em quais planos administrativos e nutricionais adotarem, assegurando o uso mais racional dos recursos financeiro e fatores de produção, afim de obter melhores resultados econômicos (Silva & Brito, 2024). No caso do presente estudo, claramente pode-se evidenciar resultados satisfatórios que possibilita sugerir a inclusão de fitase na dieta de suínos.

É importante destacar que a fitase não afetou significativamente o lucro e o Custo nutricional/ton no presente estudo, mas se considerarmos a perspectiva da gigantesca escala industrial da produção de suínos, nota-se que, os valores médios destacados nas dietas são representativos, pois se compararmos a DRP+F com a DB e DRP observa-se um aumento dos lucros por cabeça produzida de US\$ 0,63 e US\$ 2,35, respectivamente. Já quando analisamos o custo nutricional/ton observamos que a

DRP+F foi capaz de reduzir em US\$ 13,59 (DB) e US\$ 11,46, (DRP) sem piorar o desempenho e a característica de carcaça dos animais.

Normalmente, o P é o terceiro componente mais caro na alimentação de suínos, depois da energia e da proteína (Lautrou et al., 2020). Para o presente estudo, os ingredientes que mais afetaram o custo total da dieta foram o farelo de soja e o fosfato bicálcico. Para alcançar o melhor desempenho econômico, as dietas experimental DRP e DRP+F adotaram a estratégia nutricional baseada na redução de P digestível na matriz nutricional por meio da redução apenas do fosfato bicálcico. A matriz nutricional da fitase nesse caso não foi adotada.

Se considerarmos o grande volume produtivo, o elevado capital gerado e o cenário atual econômico dos ingredientes das dietas que sofrem oscilações constantes nos preços encarecendo os custos nutricionais dos animais, reduções de custos ou aumento de lucro, mesmo que pequenas, podem gerar significativos retornos econômicos (Nascimento et al., 2021; Corassa et al., 2022).

Segundo os dados da USDA, em 2023 a produção mundial de carne de suínos foi de 115,2 milhões de toneladas produzidas, considerando a capacidade da DRP+F reduzir US\$ 13,59 em relação a DB, isso representaria uma redução de custo nutricional de 1,56 milhões de dólares. Por sua vez, considerando a produção de 4,465 milhões de toneladas de carne em 2023 no Brasil, os resultados do presente estudo representariam uma redução de aproximadamente 60,68 mil dólares no custo nutricional.

## Conclusão

A suplementação de fitase em dietas com redução de P digestível para suínos em crescimento e terminação melhora o GPD e o PF dos animais, sem afetar negativamente a característica de carcaça a um menor custo produtivo. A dieta DRP afeta negativamente o desempenho e gera menor receita em suínos não bonificados, entretanto, a DRP+F aumenta a receita de suínos não bonificados em US\$ 3,69 em relação aos alimentados com DRP. Sugere-se uma redução de 0,12% de P digestível da matriz nutricional da dieta.

## Referências

- Abd El-Hack, M. E.; Alagawany, M.; Arif, M.; Emam, M.; Saeed, M.; Arain, M. A.; & Khan, R. U. 2018. The uses of microbial phytase as a feed additive in poultry nutrition—a review. *Annals of Animal Science*, 18:639-658. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0009>.
- Adeola, O. & Cowieson, A. J. 2011. Board-invited review: opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non ruminant animal production. *Journal of animal science*, 89: 3189-3218. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3715>.
- Arredondo, M. A.; Casas, G. A. & Stein, H. H. 2019. Increasing levels of microbial phytase increases the digestibility of energy and minerals in diets fed to pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 248: 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.001>.

Babatunde, O. O. & Adeola, O. 2022. A time-series effect of phytase supplementation on phosphorus utilization in growing and finishing pigs fed a low-phosphorus diet. *Journal of Animal Science*, 100:skab350. <https://doi.org/10.1093/jas/skab350>.

Blavi, L.; Munoz, C. J.; Broomhead, J. N. and Stein, H. H. 2019. Effects of a novel corn-expressed *E. Coli* phytase on digestibility of calcium and phosphorous, growth performance, and bone ash in young growing pigs. *Journal of animal science*. 97:3390–3398. <https://doi.org/10.1093/jas/skz190>.

Bünzen, S.; Rostagno, H. S.; Kiefer, C.; Teixeira, A. D. O. & Ribeiro Junior, V. 2012. Níveis de fósforo digestível para suínos em fase de crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:320-325. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200013>.

Buzek, A.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Muzolf-Panek, M., Łodyga, D.; Lisiak, D. & Kasproicz-Potocka, M. 2023. Phytase Supplementation of Growing-Finishing Pig Diets with Extruded Soya Seeds and Rapeseed Meal Improves Bone Mineralization and Carcass and Meat Quality. *Life*, 13:1275. <https://doi.org/10.3390/life13061275>.

Corassa, A.; Silva, D. R. D.; Ton, A. P. S. Kiefer, C. Sbardella, M.; Brito, C. D. O. & Rothmund, V. L. 2022. Digestibility, performance and economic efficiency of diets containing phytase and distillers dried grains with solubles for growing pigs. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 23: 1-12. <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-9940202200092022>.

Cowieson, A. J., Wilcock, P., & Bedford, M. R. (2011). Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics. *World's Poultry Science Journal*, 67: 225-236. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000250>.

Cowieson, A. J.; Ruckebusch, J. P.; Sorbara, J. O. B.; Wilson, J. W.; Guggenbuhl, P. & Roos, F. F. 2017. A systematic view on the effect of phytase on ileal amino acid digestibility in

broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 225:182-194.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.008>.

Dallmann, H. M.; Avila, V. S.; Krabbe, E. L.; Surek, D.; Bedendo, G. C.; Toledo, T. S. & Rutz, F. 2023. Diferentes níveis de fitase e de densidades energéticas em dietas de frangos de corte sobre desempenho, digestibilidade de nutrientes e integridade óssea de 28 a 35 dias de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 75: 280-292.  
<https://doi.org/10.1590/1678-4162-12790>.

Dang, D. X. & Kim, I. H. 2021. Effects of adding high-dosing *Aspergillus oryzae* phytase to corn-wheat-soybean meal-based basal diet on growth performance, nutrient digestibility, faecal gas emission, carcass traits and meat quality in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105: 1056-1062.  
<https://doi.org/10.1111/jpn.13537>.

Dersjant-Li, Y.; Awati, A.; Schulze, H. & Partridge, G. 2015. 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*, 95: 878-896.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6998>.

Dersjant-Li, Y.; Plumstead, P.; Awati, A. & Remus, J. 2018. Productive performance of growing and finishing commercial pigs supplemented with *Buttiauxella* phytase as a total substitute for inorganic phosphate. *Animal Nutrition*, 4: 351-357.  
<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.02.002>.

Dersjant-Li, Y.; Schuh, K.; Wealleans, A.L.; Awati, A. and Dusel, G. 2017. Effect of a *Buttiauxella* Phytase on Production Performance in Growing/Finishing Pigs Fed a European-Type Diet without Inclusion of Inorganic Phosphorus. *J. Appl. Anim. Nutr.*, 5:1-7. <https://doi.org/10.1017/JAN.2017.3>.

Farias, T. V. A. 2021. Xilanase, fitase, protease isoladas e associadas em dietas com ajustes nutricionais para suínos machos castrados dos 30 aos 100 Kg.

Grela, E. R., Muszyński, S., Czech, A., Donaldson, J., Stanisławski, P., Kapica, M., ... & Tomaszewska, E. 2020. 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*, 10: 847. <https://doi.org/10.3390/ani10050847>.

Guachamín-Guachamín, R. A. & Quisirumbay-Gaibor, J. R. 2024. Efeito das fitases em dietas de suínos sobre o desempenho produtivo: metanálise. *Ciência e Tecnologia Agropecuária*, 25: 1- 18. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol25\\_num1\\_art:3362](https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3362).

Guidoni, A. L. 2000. Melhoria de processos para a tipificação e valorização de carcaças suínas no Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 2000, Concórdia, S.C.. Anais... Concórdia, 14. [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/anais00cv\\_guidoni\\_pt.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais00cv_guidoni_pt.pdf).

Humer, E.; Schwarz, C. & Schedle, K. 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 99:605-625. <https://doi.org/10.1111/jpn.12258>.

Jlali, M.; Hincelin, C.; Torrallardona, D.; Rougier, T.; Ceccantini, M.; Ozbek, S. & Devillard, E. 2024. A New Biosynthetic 6-Phytase Added at 500 Phytase Unit/kg Diet Improves Growth Performance, Bone Mineralization, and Nutrient Digestibility and Retention in Weaned Piglets and Growing–Finishing Pigs. *Veterinary Sciences*, 11: 250. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060250>.

Kasprowicz-Potocka, M.; Zaworska-Zakrzewska, A. & Rutkowski, A. 2020. Effect of phytase on digestibility and performance of growing and finishing pigs fed diets with

lupins and rapeseed meal. *J. Agric. Sci. Technol.* 10:121-131.  
<https://doi.org/10.17265/2161-6256/2020.04.005>.

Lagos, L. V.; Lee, S. A.; Bedford, M. R.; & Stein, H. H. 2021. Formulating diets based on digestible calcium instead of total calcium does not affect growth performance or carcass characteristics, but microbial phytase ameliorates bone resorption caused by low calcium in diets fed to pigs from 11 to 130 kg. *Journal of animal science*, 99: skab057. <https://doi.org/10.1093/jas/skab057>.

Lagos, V.; Bedford, M. R. & Stein, H. H. 2020. Effect of formulating diets based on a ratio between STTD Ca and STTD P and the inclusion of phytase on growth performance, plasma Ca and P, and bone ash of pigs from 11 to 130 kg. *Journal of Animal Science*, 98:104-105. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa054.178>.

Lautrou, M.; Pomar, C.; Dourmad, J. Y.; Narcy, A.; Schmidely, P. & Létourneau-Montminy, M. P. 2020. Phosphorus and calcium requirements for bone mineralisation of growing pigs predicted by mechanistic modelling. *Animal*, 14:313-322.  
<https://doi.org/10.1017/S1751731120001627>.

Lozano, A.P.; Pacheco, G.D.; Silva, C.A.; Bridi, A.M.; Silva, R.A.M.; Vinokurovas, S.L.; Dalto, D.B.; Tarsitano, M.A.; Agostini, P.S. 2011. Níveis de fitase em rações para suínos em fase de terminação. *Arch. Zootec.* 60: 839–850. <https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922011000400001>.

Miller, H. M.; Slade, R. D. & Taylor, A. E. 2016. High dietary inclusion levels of phytase in grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 94: 121-124.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9784>.

Nascimento, R. A.; Pelissari, P. H.; Moraes, U. R. T. D.; Gonçalves, J. C.; Wen, N.; Araújo, C. S. D. S.; & Araújo, L. F. 2021. Nutritional cost reduction and increase profitability in

commercial broiler production using phytase superdosing. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50: e20200031. <https://doi.org/10.37496/rbz502020003>.

Oliveira, A. P. A.; Nunes, R., Roner, M. N. B.; Stringhini, J. H.; Rufino, L. M. & Farias, L. A. 2010. Desempenho e avaliação da carcaça em suínos alimentados com rações de terminação com fitase associada à retirada de microminerais, vitaminas e fósforo inorgânico. *Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science*, 11:, 775-783. <https://doi.org/10.5216/cab.v11i4.4534>

Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C; Mulrow, C. D. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372, 134: 178-189 . <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

Pirzado, S. A.; Liu, G.; Purba M. A.; Cai, H. 2014. Enhancing the Production Performance and Nutrient Utilization of Laying Hens by Augmenting Energy, Phosphorous and Calcium Deficient Diets with Fungal Phytase (*Trichoderma reesei*) Supplementation. *Animals (Basel)*. 3:376. <https://doi.org/10.3390/ani14030376>.

Rizwanuddin, S.; Kumar, V., Naik, B., Singh, P., Mishra, S., Rustagi, S., & Kumar, V. 2023. Microbial phytase: Their sources, production, and role in the enhancement of nutritional aspects of food and feed additives. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100559. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100559>.

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Hannas, M. I.; Donzele, J. L.; Sakomura, N. K.; Perazzo, F. G.; Saraiva, A.; Teixeira, M. L.; Rodrigues, P. B.; Oliveira, R. F.; Barreto, S. L. T. & Brito, C. O. 2017 . Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais). 4.ed., Editora UFV, Viçosa, MG.

Selle, P. H. & Ravindran, V. 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. *Livestock science*, 113: 99-122. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.05.014>.

Selle, P. H.; Cowieson, A. J.; Cowieson, N. P. & Ravindran V. 2012. Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutrition Research Reviews*. 25:1-17. <https://doi.org/10.1017/S0954422411000151>.

Selle, P. H.; Macelline, S. P.; Chrystal, P. V. & Liu, S. Y. 2023. The contribution of phytate-degrading enzymes to chicken-meat production. *Animals*, 13:603. <https://doi.org/10.3390/ani13040603>.

Selle, P. H.; Ravindran, V.; Bryden, W. L.; & Scott, T. 2006. Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: a review. *The journal of poultry science*, 43: 89-103. <https://doi.org/10.2141/jpsa.43.89>.

Silva, T. D. S.; & Brito, D. A. A. Aplicação da contabilidade gerencial para otimização da produção e rentabilidade em propriedades pecuárias. *Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia-REIVA*, 7: 23-23. <https://reiva.unifaj.edu.br/reiva/article/view/469>.

Silva, C. A.; Callegari, M. A.; Dias, C. P.; de Souza, K. L.; de Carvalho, R. H.; Alebrante, L.; & Fascina, V. B. 2022. Increasing doses of bacterial Phytase (*Citrobacter braakii*) improves performance and carcass characteristics of pigs in growing and finishing phases. *Animals*, 12: 2552. <https://doi.org/10.3390/ani12192552>.

Silva, C.A.; Callegari, M.A.; Dias, C.P.; Bridi, A.M.; Pierozan, C.R.; Foppa, L.; Martins, C.C.; Dias, F.T.; Passos, A.; Hermes, R. 2019. 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* , 14: 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217490>.

Souza, A. L. P.; Remus, J. C.; Zarate, M. & Samuel, R. S. 2022. PSVIII-12 Use of a Bacterial Consensus 6-Phytase Variant Expressed in *Trichoderma Reesei* in a no Inorganic

Phosphorus, High Phytate Diet for Grow-Finish Pigs. *Journal of Animal Science*, 100, 177-178. <https://doi.org/10.1093/jas/skac064.301>.

Torres-Pitarch, A.; McCormack, U. M.; Beattie, V. E.; Magowan, E.; Gardiner, G. E.; Pérez-Vendrell, A. M. & Lawlor, P. G. 2018. Effect of phytase, carbohydrase, and protease addition to a wheat distillers dried grains with solubles and rapeseed based diet on in vitro ileal digestibility, growth, and bone mineral density of grower-finisher pigs. *Livestock Science*, 216:94-99. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.07.003>.

Trouong, H. H.; Bold, R. M.; Liu, S. Y. & Selle, P. H. 2015. Standard phytase inclusion in maize-based broiler diets enhances digestibility coefficients of starch, amino acids and sodium in four small intestinal segments and digestive dynamics of starch and protein. *Animal Feed Science and Technology*, 209: 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.012>.

Veum, T. L.; & Liu, J. 2018. The effect of microbial phytase supplementation of sorghum-canola meal diets with no added inorganic phosphorus on growth performance, apparent total-tract phosphorus, calcium, nitrogen and energy utilization, bone measurements, and serum variables of growing and finishing swine. *Livestock Science*, 214: 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.017>

Williams, H.; Gebhardt, J. T.; Tokach, M. D.; Woodworth, J. C.; DeRouchey, J. M.; Goodband, R. D. & Ensley, S. 2022. The Effect of Different Bones and Analytical Methods on Assessment of Bone Mineralization Response to Dietary P, Phytase, and Vitamin D in Finishing Pigs. *Journal of Animal Science*, 100:113-114. <https://doi.org/10.1093/jas/skac247.218>.

Wu, F.; Tokach, M. D.; Dritz, S. S.; Woodworth, J. C.; DeRouchey, J. M.; Goodband, R. D. & Bergstrom, J. R. 2018. Effects of dietary calcium to phosphorus ratio and addition of

phytase on growth performance of nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 96: 1825-1837. <https://doi.org/10.1093/jas/sky101>.

Yamashita, Y.; Yamaoka, M.; Hasunuma, T.; Ashida, H. & Yoshida, K. I. 2013. Detection of orally administered inositol stereoisomers in mouse blood plasma and their effects on translocation of glucose transporter 4 in skeletal muscle cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61: 4850-4854. <https://doi.org/10.1021/jf305322t>.

Yu, S.; Cowieson, A.; Gilbert, C.; Plumstead, P.; & Dalsgaard, S. 2012. Interactions of phytate and myo-inositol phosphate esters (IP1-5) including IP5 isomers with dietary protein and iron and inhibition of pepsin. *Journal of Animal Science*, 90: 1824-1832. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3866>.

Zhai, H.; ADEOLA, O. & LIU, J. 2022. Phosphorus nutrition of growing pigs. *Animal Nutrition*, 9:127-137. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.01.010>.

Zouaoui, M.; Létourneau-Montminy, M. P. & Guay, F. 2018. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: a meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 238: 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019>.

### **Considerações Finais**

O presente estudo demonstrou o potencial da fitase na produção de aves e suínos, evidenciando benefícios sólidos sobre parâmetros produtivos e econômicos em ambas as espécies. Para reduzir o custo nutricional da dieta, a fitase deve ser incluída aliada a reduções de nutrientes da matriz nutricional, principalmente de P. Os ajustes nutricionais devem ser realizados com muita cautela utilizando reduções adequadas de nutrientes e inclusão de fitase, pois ajustes exagerados pode promover a queda de desempenho do animal.

O presente estudo é pioneiro, assim o mesmo pode ser utilizado como modelo para elaboração de estudos futuros que visam obter respostas de custos nutricionais utilizando diferentes aditivos zootécnicos na produção animal. Essas simulações auxiliam o nutricionista na tomada de decisão no momento da escolha do aditivo, assegurando em termos econômicos quais as respostas sobre os custos nutricionais que o aditivo pode provocar.

Para estudos futuros os níveis de inclusão de fitase (FTU) podem ser considerados como critérios de elegibilidade, assim é possível tratar esses níveis como tratamentos o que possibilita observações isoladas de seus efeitos sobre o desempenho, característica de carcaça e custo nutricional, bem como, realizar análise de regressão a fim de obter um nível ótimo de inclusão da enzima. Além disso, sugere-se investigar os efeitos econômicos da fitase em superdose para aves e suínos, de acordo com a metodologia aplicada no presente estudo.