

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GABRIELA LUIZA MARTINELLI

**ADIÇÃO DE FITASE CONCENTRADA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS NA FASE
DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO (25 a 135 kg)**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GABRIELA LUIZA MARTINELLI

**ADIÇÃO DE FITASE CONCENTRADA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS NA FASE
DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO (25 a 135 kg)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Área de concentração em “Produção e Nutrição Animal”, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho

Coorientadora: Prof. Dra. Silvana Teixeira Carvalho

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Martinelli, Gabriela Luiza
ADIÇÃO DE FITASE CONCENTRADA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS NA
FASE DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO (25 a 135 kg) / Gabriela
Luiza Martinelli; orientador Paulo Levi de Oliveira
Carvalho; coorientadora Silvana Teixeira Carvalho. --
Marechal Cândido Rondon, 2025.
60 p.

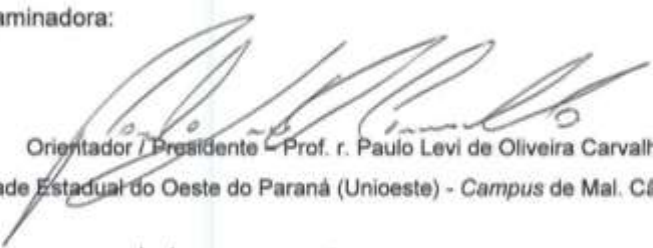
Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal
Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, 2025.

1. Nutrição animal. I. Carvalho, Paulo Levi de Oliveira,
orient. II. Carvalho, Silvana Teixeira, coorient. III.
Titulo.

GABRIELA LUIZA MARTINELLI

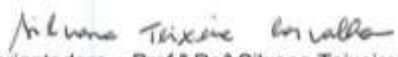
Adição de fitase concentrada na alimentação de suínos na fase de crescimento e terminação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de "Mestra em Zootecnia", Área de Concentração "Produção e Nutrição Animal", Linha de Pesquisa "Produção e Nutrição de Não-Ruminantes / Aquicultura", APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:



Orientador / Presidente – Prof. r. Paulo Levi de Oliveira Carvalho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mar. Cândido Rondon



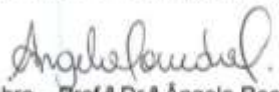
Coorientadora – Prof.ª Dr.ª Silvana Teixeira Carvalho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mar. Cândido Rondon



Membro – Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mar. Cândido Rondon



Membro – Prof.ª Dr.ª Ângela Rocio Poveda Parra

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 11 de março de 2025.

À Claudinéia e Rodrigo Martinelli, meus amados pais.
Sem vocês, nenhum sonho se tornaria realidade.

Com todo o meu amor e carinho, **lhes dedico.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que permitiu esta conquista e a finalização de mais uma jornada.

Aos meus pais Claudinéia e Rodrigo, vocês são meus exemplos e motivação para buscar sempre mais. Obrigada por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em cada circunstância.

A meu namorado Matheus, pela paciência, carinho e incentivo de todos esses anos. Por sempre estar comigo e me incentivar a dar o meu melhor, sem seu apoio nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho. Agradeço pela confiança durante todos os momentos trabalhados e por ver em mim um potencial que, em alguns momentos, nem eu sabia que existia.

À professora e minha coorientadora, Dr^a. Silvana Teixeira Carvalho, por todo suporte no desenvolvimento do trabalho. Sou muito grata por todo incentivo e confiança depositados em mim.

À Dr^a. Janaína Paolucci Sales de Lima e Dr^a. Liliana Bury de Azevedo, pós doutoras vinculadas à minha pesquisa. Agradeço por toda ajuda e conhecimento repassados a mim. Agradeço por me ouvirem e me incentivarem, vocês fizeram grande diferença na minha jornada.

Aos meus colegas de experimento Eduardo Anderle e Willian de Pauli por me auxiliarem nesse momento e por terem compartilhado vários momentos comigo nessa jornada.

À minha amiga de infância e agora colega de grupo, Andressa Trenkel, obrigada por toda ajuda e aconselhamento, você, com certeza, fez todo o processo ser um pouco mais leve e divertido!

Ao grupo de estudos e pesquisa em suínos (GEPS), pela oportunidade no desenvolvimento desta pesquisa, com estrutura e ferramentas necessárias.

A todos os integrantes do grupo, que estiveram dispostos a ajudar no desenvolvimento do trabalho, pela amizade, dedicação e por todos os momentos vividos e compartilhados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná e aos professores do programa pela oportunidade de concluir o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Kemin pelo fornecimento da enzima, por todo o suporte e financiamento da pesquisa.

À Cooperativa Agroindustrial Copagril, pelo fornecimento dos animais e insumos.

Por último, mas não menos importante, à academia, professores, funcionários e todas as pessoas que estiveram envolvidas durante o processo e desenvolvimento do trabalho e a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram ou torceram por mim!

*“Tem vezes que as coisas pesam mais do que a gente acha que pode aguentar, nessa hora,
fique firme pois tudo isso logo vai passar”.*

*Felicidade – **Marcelo Jeneci***

ADIÇÃO DE FITASE CONCENTRADA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS NA FASE DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO (25 a 135 kg)

Resumo – Doses concentradas de fitase são utilizadas para obter melhores resultados em animais não ruminantes, com melhorias no desempenho e digestibilidade, por isso, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase concentrada em dietas com redução da exigência nutricional dos animais de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio, sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, parâmetros bioquímicos sanguíneos dos suínos em fase de crescimento e terminação, características de carcaça e qualidade da carne. Foram utilizados 42 suínos machos inteiros ($24,52 \pm 0,84$ kg PC), designados em um delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos: (1) Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio (CP); (2) Controle negativo (CN) sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; (3) Controle negativo com adição da fitase 500 FTU/kg e com redução dos minerais (CN+500); (4) Controle negativo com adição fitase 1000 FTU/kg e com redução dos minerais (CN+1000); (5) Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU/kg e com redução dos minerais (CN+1500); (6) Controle negativo com adição de fitase de 2000 FTU/kg e com redução dos minerais (CN+2000). O período experimental foi de 93 dias dividido em quatro fases: crescimento I, crescimento II, terminação I e terminação II ($99,60 \pm 5,13$ kg até $128,61$ kg $\pm 6,35$ kg). Foram avaliados os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes. Parâmetros bioquímicos, desempenho zootécnico dos animais. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando os procedimentos do “General Linear Models” do *software* estatístico “SAS University Edition”. Para as variáveis de desempenho na fase de crescimento I e II, os animais alimentados com a dieta CN apresentaram ($P = 0,035$) menor consumo de ração, tendo um consumo semelhante com os tratamentos CN+500, CN+1500 e CN+2000. Já na fase de terminação II, o efeito no consumo de ração foi ($P = 0,008$) para os animais alimentados com a dieta CN, CN+ 500 e CN+2000, que apresentaram menor consumo. Para as variáveis de parâmetros sanguíneos, não houve nenhum efeito. Em relação à digestibilidade, na fase de crescimento, os tratamentos com fitase apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade da matéria seca, matéria orgânica, energia bruta, proteína bruta, cálcio, fósforo, matéria seca digestível, energia digestível e proteína digestível, em comparação ao tratamento positivo. Na fase de terminação, o tratamento controle positivo apresentou os maiores valores para a maioria das variáveis, seguido pelos tratamentos com fitase, e tendo como menor desempenho o tratamento CN+2000. Foram obtidos efeitos para temperatura de carcaça 24h *pós morte* ($P=0,005$), perda de líquido por descongelamento ($P=0,024$) e força de cisalhamento ($P=0,041$). Conclui-se que a melhor concentração a ser adicionada na alimentação de suínos em fase de crescimento 1.100 FTU/kg de ração, e para a fase de terminação 1.500 FTU/kg de ração.

Palavras-chave: desempenho zootécnico, digestibilidade aparente, enzima exógena, redução de minerais

ADDITION OF CONCENTRATED PHYTASE IN THE DIET OF PIGS IN THE GROWTH AND FINISHING PHASE (25 to 135 kg)

Abstract: Concentrated doses of phytase are used to obtain better results in non-ruminant animals, with improvements in performance and digestibility. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of the inclusion levels of concentrated phytase in diets with reduced nutritional requirements of 22.73% calcium, 48.39% phosphorus, and 20% sodium, on zootechnical performance, nutrient digestibility, blood biochemical parameters of pigs in the growth and finishing phases, carcass characteristics, and meat quality. Forty-two entire male pigs (24.52 ± 0.84 kg BW) were used, assigned in a randomized block design with six treatments: (1) Positive control (PC) without phytase and without reduction of calcium, phosphorus, and sodium; (2) Negative control (NC) without phytase and with a reduction of 22.73% calcium, 48.39% phosphorus, and 20% sodium reduction; (3) Negative control with the addition of 500 FTU/kg phytase and mineral reduction (NC+500) (4) Negative control with the addition of 1000 FTU/kg phytase and mineral reduction (NC+1000) (5) Negative control with the addition of 1500 FTU/kg phytase and reduction of minerals (NC+1500); (6) Negative control with the addition of 2000 FTU/kg phytase and reduction of minerals (NC+2000). The experimental period was 93 days divided into four phases: growth I, growth II, finishing I, and finishing II (99.60 ± 5.13 kg to $128.61 \text{ kg} \pm 6.35$ kg). The apparent digestibility coefficients of the nutrients were evaluated. Biochemical parameters and zootechnical performance of the animals were also evaluated. All statistical analyses were performed using the General Linear Models procedures of the SAS University Edition statistical software. For the performance variables in growth phases I and II, animals fed the NC diet had ($P = 0.035$) lower feed intake, with similar intake to the NC+500, NC+1500, and NC+2000 treatments. In the finishing phase II, the effect on feed intake was ($P = 0.008$) for animals fed the NC, NC+500, and NC+2000 diets, which showed lower intake. There was no effect on blood parameter variables. Regarding digestibility, in the growth phase, the treatments with phytase presented higher coefficients of digestibility of dry matter, organic matter, gross energy, crude protein, calcium, phosphorus, digestible dry matter, digestible energy, and digestible protein, compared to the positive treatment. In the finishing phase, the positive control treatment showed the highest values for most variables, followed by the treatments with phytase, with the NC+2000 treatment showing the lowest performance. Effects were obtained for carcass temperature 24 hours post mortem ($P=0.005$), liquid loss due to thawing ($P=0.024$), and shear force ($P=0.041$). It was concluded that the best concentration to be added to the feed of pigs in the growth phase is 1,100 FTU/kg of feed, and for the finishing phase, 1,500 FTU/kg of feed.

Keywords: apparent digestibility, exogenous enzyme, mineral reduction, zootechnical performance.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC - Critério de Informação de Akaike

ALT - Alanina aminotransferase

ANCOVA – Análise de covariância

ANOVA - Análise de variância

AOL – Área de olho de lombo

AST - Aspartato aminotransferase

Ca - Cálcio

CA - Conversão alimentar

CDA - Coeficiente de digestibilidade aparente

CDATT - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total

CDATTCA - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total do cálcio

CDATTMS - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total da matéria seca

CDATTMO - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total da matéria orgânica

CDATTP - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total do fósforo

CDATTPB - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total da proteína bruta

CDATTEB - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total da energia bruta

CIA - Cinza solúvel em ácido

CIE - Comissão Internacional de Iluminação

CN - Controle negativo

CP - Controle positivo

CRDM - Consumo de ração diário médio

DBC - Delineamento em blocos casualizados

EA - Eficiência alimentar

EB - Energia bruta

ED - Energia digestível

EM - Energia metabolizável

EPM - Erro padrão da média

FC – Força de cisalhamento

FTU - Unidade de fitase

g – Gramas

GPD - Ganho de peso diário

kg – Quilograma

Mg – Magnésio

mL – mililitros

mm - milímetros

MM - Matéria mineral

MS - Matéria seca

MSD - Matéria seca digestível

MOD - Matéria orgânica digestível

Na - Sódio

P - Fósforo

PB - Proteína bruta

PC - Peso corporal

PCF - Peso corporal final

PD - Proteína digestível

pH - Potencial hidrogeniônico

PLC - Perda líquida por cocção

PLD - Perda líquida por descongelamento

PLG - Perda líquida por gotejamento

PTH – Paratormônio

TPOA - Tecnologia de Produtos de Origem Animal

Zn – Zinco

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição centesimal das dietas experimentais para suínos machos de 25 a 135 kg de peso corporal alimentados com fitase concentrada.....	35
Tabela 2: Desempenho zootécnico de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio.....	43
Tabela 3: Parâmetros bioquímicos de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio.....	44
Tabela 4: Digestibilidade aparente do trato total de suínos em crescimentos alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio.....	47
Tabela 5: Digestibilidade aparente do trato total de suínos em terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio.....	48
Tabela 6: Efeito da fitase concentrada em dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio para suínos em crescimento-terminação sobre os atributos quantitativos da carcaça e qualidade de carne	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Fitato e Fitase	17
2.2 Fitase.....	18
2.3 Benefícios da Utilização da Fitase	19
2.3.1 Digestibilidade.....	19
2.3.2 Disponibilidade de nutrientes	20
2.3.3 Desempenho zootécnico.....	22
2.3.4 Parâmetros bioquímicos sanguíneos.....	23
2.3.5 Características de carcaça e qualidade da carne	24
2.4 Referências bibliográficas.....	26
3 HIPÓTESE 32	
4 OBJETIVOS 32	
5 MATERIAL E MÉTODOS	33
5.1 Animais, delineamento experimental, alojamento e dietas.....	33
5.2 Desempenho zootécnico.....	36
5.3 Metabólitos sanguíneos	36
5.4 Digestibilidade aparente dos nutrientes	37
5.5 Características de carcaça e qualidade da carne.....	38
5.6 Procedimentos estatísticos	40
6 RESULTADOS	42
6.1 Desempenho zootécnico.....	42
6.2 Metabólitos sanguíneos	44
6.3 Digestibilidade do trato total de nutrientes.....	44
6.3.1 Fase de crescimento.....	44
6.3.2 Fase de terminação	45
6.4 Características de carcaça e qualidade da carne.....	49
7 DISCUSSÃO 51	
7.1 Desempenho zootécnico.....	51
7.2 Metabólitos sanguíneos	52
7.3 Digestibilidade aparente do trato total de nutrientes.....	53
7.4 Características de carcaça e qualidade da carne.....	55
8 CONCLUSÃO.....	57
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

A base das rações utilizadas nas produções de suínos é oriunda dos vegetais como milho e soja, que possui quantidades significativas de compostos antinutricionais, como por exemplo a presença significativa de fósforo (P) na forma de ácido fítico (hexafosfato de inositol) (PUNJABI et al., 2018). A molécula do fitato não é processada pelos animais não ruminantes, como é o caso dos suínos, uma vez que estes não são capazes de digerir por completo essa molécula (KUMAR et al., 2019). Além do impacto negativo na disponibilidade de P, o fitato pode formar sais insolúveis com vários cátions divalentes, como cálcio (Ca), zinco (Zn) e magnésio (Mg) (SCHONS; BATTESTIN; MACEDO, 2012).

Para mitigar os efeitos adversos dos fatores antinutricionais, faz-se o uso de enzimas exógenas na alimentação dos animais que possuem a capacidade de melhorar o desempenho dos não ruminantes e até mesmo minimizar os impactos ambientais associados à produção (YANG et al., 2017). Notavelmente, a adição de fitase à dieta pode ter um efeito “extrafosfórico”, otimizando a digestibilidade dos minerais essenciais como Ca e Mg e a eficiência da sua utilização, reduzindo a excreção de poluentes do sistema de produção suína (WALK; RAMA RAO, 2020; SCHONS; BATTESTIN; MACEDO, 2012).

Estudos como os de Wu et al. (2018), Zouaoui et al. (2018) e Arredondo et al. (2019) demonstraram que por meio da fitase, ocorre a hidrólise do fitato, o que aumenta a concentração de energia e nitrogênio, melhorando a digestibilidade do cálcio, fósforo e aminoácidos (ex: lisina, histidina e arginina), sem comprometer ou, nos melhores casos, otimizar o desempenho dos animais quando comparado aos animais que recebem as dietas sem a enzima.

A atividade da fitase é expressa como unidades de fitase (FTUs ou FYTs). Uma FTU é definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 micromol de fosfato inorgânico por minuto a partir de uma solução de 0,0051 mol/L de fitato de sódio, sob condições padronizadas de pH 5,5 e temperatura de 37°C (AOAC, 2000), em que a dose de 500 FTU/kg considerada como “dose padrão”. Porém, a utilização de doses mais concentradas de fitase (de 3 a 5 vezes a dose padrão, ou seja, a partir de 1.500 FTU/kg) na nutrição de suínos tem despertado interesse como uma estratégia para se melhorar a eficiência nutricional. Estudos como o de Hamdi et al. (2018) mostram que, com o desenvolvimento de maiores concentrações de fitase, é possível alcançar a hidrólise de 90% do fitato dietético, diferente das doses padrão, que atingiam no máximo 70%.

Embora estudos como o de Holloway et al. (2018) demonstrem que o uso de doses mais concentradas (ex. > 1.500 FTU/kg) melhora a eficiência alimentar e ganho diário médio e

apesar dos avanços no uso da fitase na nutrição de suínos, ainda existem lacunas significativas na compreensão dos efeitos de sua superdosagem sobre parâmetros zootécnicos e bioquímicos.

Diante do exposto, a hipótese desta pesquisa foi de que a inclusão progressiva de fitase concentrada na dieta de suínos na fase de crescimento compensaria a redução dos níveis de Ca, P e Na na ração. O objetivo com a pesquisa, portanto, foi avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase concentrada em dietas com redução da exigência nutricional dos animais de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio, sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, parâmetros bioquímicos sanguíneos dos suínos em fase de crescimento e terminação, características de carcaça e qualidade da carne.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fitato e Fitase

Ácido fítico é um composto presente em diversos grãos e cereais utilizados na alimentação animal, tornou-se objeto de considerável atenção devido à sua capacidade de formar complexos insolúveis com minerais essenciais, como o Ca, o ferro, o Zn e o Mg (SCHONS; BATTESTIN; MACEDO, 2012). Este fenômeno, conhecido como quelação, resulta na redução da biodisponibilidade desses nutrientes cruciais para o crescimento e o desenvolvimento saudável dos suínos (PACHECO et al., 2012).

A molécula do ácido fítico ($C_6H_{18}O_{24}P_6$), composta por seis carbonos ligados a seis grupos fosfatos, apresenta uma estrutura multifacetada. Quando presente na sua forma de sal (conhecida como fitato) e em pH neutro, cada grupo fosfato pode conter um ou dois oxigênios negativamente carregados, conferindo-lhe uma notável capacidade quelante. Esses oxigênios são os principais responsáveis por sua interação com cátions como cobre (Cu^{2+}), zinco (Zn^{2+}), cobalto (Co^{2+}), manganês (Mn^{2+}), ferro (Fe^{3+}) e cálcio (Ca^{2+}) (FARIA et al., 2006). Além disso, o fitato é capaz de formar complexos com grupos $\alpha-NH_2$ de aminoácidos, como lisina, histidina e arginina, e também demonstra atividade inibitória sobre enzimas digestivas como a tripsina e a pepsina (FIREMAN; FIREMAN. 1998).

Em animais não ruminantes, como suínos e aves, o fitato atua como um antinutriente devido à baixa ou inexistente atividade de fitase endógena, enzima necessária para quebrar suas ligações e liberar fósforo inorgânico para absorção (COWIESON et al., 2006). Assim, grande parte do fósforo presente na dieta permanece indisponível, resultando em sua excreção e em potenciais deficiências nutricionais.

Além do fósforo, o ácido fítico reduz a biodisponibilidade de minerais essenciais, como cálcio, magnésio, zinco e ferro, ao formar complexos insolúveis com esses cátions (RAVINDRAN et al., 1995). Esse efeito também é amplificado por sua interação com proteínas e a consequente inibição de enzimas digestivas, o que pode comprometer ainda mais o desempenho zootécnico dos animais (SELLE et al., 2000).

A fim de mitigar esse problema e melhorar a utilização dos nutrientes na dieta desses animais, a enzima fitase tem sido amplamente estudada (MILLER et al., 2016; GRELA et al., 2020; WENSLEY et al., 2020) e empregada. A fitase, uma fosfatase ácida capaz de catalisar a hidrólise do ácido fítico, desencadeia a liberação de fosfato inorgânico e a quebra dos

complexos fitato-minerais, promovendo, assim, a disponibilidade desses nutrientes para absorção intestinal (GRELA et al., 2020).

Nesse sentido, Carvalho et al. (2010) destacam que a utilização de aditivos alimentares, como a fitase, emerge como uma abordagem promissora para melhorar a eficiência da utilização de nutrientes na dieta dos suínos. Corassa et al. (2010) indicam que a inclusão de fitase na dieta dos suínos pode melhorar a digestibilidade de nutrientes, especialmente o P, resultando em um aumento na deposição de tecido magro e uma melhoria na eficiência de utilização dos alimentos.

2.2 Fitase

O interesse comercial pela produção de fitase teve início nos anos 90, impulsionado por regulamentações ambientais visando controlar a poluição por fosfatos em unidades de criação de suínos e aves (SCOTTÁ et al., 2014). Existem duas principais classes de fitases: a 3-fitase e a 6-fitase. Tipicamente, a 3-fitase é produzida por microrganismos, enquanto a 6-fitase é sintetizada pelas próprias plantas. Uma distinção crucial entre elas reside na capacidade da 6-fitase em desfosforilar completamente o ácido fítico, ao passo que a 3-fitase não hidrolisa o fosfomonoéster (VATS; BANERJEE, 2004).

A atividade enzimática da fitase é quantificada pela sua capacidade de liberar P complexado ao fitato. Geralmente, essa atividade é expressa em unidades de fitase (FTU), representando a quantidade de enzima necessária para liberar 1 micromol de P inorgânico por minuto a partir de 5,1 mM de substrato (sódio-fitato), em condições padrão de pH 5,5 e temperatura 37 °C (ENGELEN et al., 1994).

A literatura descreve diferentes fontes de fitase, cada uma com características distintas: fitase intestinal (presente nas secreções digestivas), fitase de origem microbiana no trato gastrointestinal, fitase endógena (encontrada em plantas) e fitase exógena (produzida por microrganismos com propósito comercial) (SCOTTÁ et al., 2014).

A fitase utilizada na indústria é produzida por uma variedade de organismos, incluindo fungos (*Aspergillus niger*, *Aspergillus ficcum*, *Aspergillus oryzae*), geralmente, são mais sensíveis à temperatura, com melhor desempenho em pH mais ácido (2,5 – 5,5) o que a torna mais ativa no estômago. Bactérias (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella aerogenes*, *Corynebactrium bovis*, *Pseudomonas sps.*) são mais termotolerantes e com ampla faixa de pH (3,5 – 7,0), tornando-a ativa tanto no estômago quanto no intestino delgado (SINGH, 2008).

As fitases de origem vegetal são mais ativas em pH próximo a 5 e são altamente sensíveis a variações nesse parâmetro. Meios muito ácidos ou alcalinos podem inativá-las de forma irreversível. Portanto, o pH gástrico dos suínos, que é muito baixo (2,0 – 4,0), pode não apenas inibir, mas também inativar a atividade da enzima (ADEDOKUN et al., 2015). Em última análise, a eficácia da hidrólise do fitato no trato digestório dos animais monogástricos pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo variações no pH, umidade, temperatura, presença de minerais como cálcio e outras enzimas, além do tempo de passagem da digesta (HAEFNER et al., 2005).

A aplicação de fitase concentrada em dietas para suínos tem se mostrado uma estratégia eficaz na melhoria da utilização de nutrientes, especialmente em sistemas intensivos de produção animal (CORASSA; LOPES; TEIXEIRA, 2010). Além disso, a utilização de fitase concentrada pode contribuir para a redução dos custos de produção, uma vez que permite a redução da quantidade de fosfato inorgânico adicionado às dietas, além de minimizar a excreção de fósforo no meio ambiente, mitigando potenciais impactos ambientais negativos associados à produção animal (CARVALHO; CARVALHO; CAIRES, 2010). Com isso, as referências citadas anteriormente demonstram os benefícios da adição de fitase na dieta, tanto na redução da excreção de fósforo no meio ambiente quanto na melhoria do desempenho e da qualidade da carcaça dos suínos.

2.3 Benefícios da Utilização da Fitase

2.3.1 Digestibilidade

A utilização da fitase para suínos está relacionada à melhoria da digestibilidade de nutrientes presentes na ração, como minerais, aminoácidos e proteínas (SHE; SPARKS; STEIN, 2018). O fitato, além de ser uma importante fonte de fósforo, também pode atuar como antinutriente, formando complexos insolúveis com outros minerais essenciais, como Ca, Mg e Zn, dificultando sua absorção pelo organismo animal.

A ação da fitase na quebra do fitato libera não apenas P, mas também esses minerais, tornando-os mais disponíveis para absorção no trato digestivo dos suínos. Dessa forma, a utilização de fitase não apenas otimiza o aproveitamento do P, mas também melhora a eficiência global da utilização de nutrientes, resultando em melhores índices de crescimento, saúde e desempenho dos animais (SCHONS; BATTESTIN; MACEDO, 2012).

Além dos benefícios nutricionais diretos, a inclusão de fitase nas dietas de suínos também pode ter efeitos positivos sobre a saúde intestinal dos animais. O fitato não digerido pode agir como substrato para a proliferação de bactérias indesejáveis no trato gastrointestinal, podendo levar a distúrbios digestivos e redução da saúde intestinal (SCOTTÁ et al., 2014).

Com a degradação do fitato pela ação da fitase, há uma diminuição na disponibilidade desse substrato para tais microrganismos, o que pode ajudar a promover um ambiente intestinal mais equilibrado e saudável (SCOTTÁ et al., 2014). Além disso, a melhoria na digestibilidade dos nutrientes também pode contribuir para uma melhor absorção de compostos bioativos importantes para o sistema imunológico dos suínos, como as vitaminas, auxiliando na resistência a doenças e no bem-estar animal (MACIEL; BRITO; SILVA, 2020).

Outro aspecto relevante a ser considerado é o impacto positivo da utilização de fitase na redução da excreção de fósforo pelos suínos e, conseqüentemente, na mitigação dos impactos ambientais associados à produção animal (PACHECO et al., 2012). Considerando as evidências disponíveis sobre suínos na fase de crescimento, a adição de fitase microbiana resulta em maiores digestibilidades de P, Ca, Mg e Cu, e retenção de P e Cu, representando uma diminuição na excreção de P e Cu para o meio ambiente através dos dejetos (MADRID et al., 2013).

Notavelmente, o excesso de P excretado pelos animais pode contaminar o solo e os recursos hídricos, causando problemas de poluição ambiental, como a eutrofização de corpos d'água e a degradação da qualidade do solo, porém, com a maior disponibilidade de P resultante da ação da fitase na dieta haverá redução da excreção de 33% P pelos animais, minimizando os impactos ambientais associados à poluição por nutrientes em sistemas de produção intensiva (DE SOUZA; DE LIMA; LOPES, 2022).

2.3.2 Disponibilidade de nutrientes

A adição de fitase exógena às dietas de suínos desempenha um papel crucial na hidrólise do fitato, liberando minerais essenciais como P e Ca, além de energia associada a macronutrientes como carboidratos, lipídios e proteínas previamente complexados (SINGH, 2008; CARVALHO et al., 2010; DERSJANT-LI et al., 2015; DE SOUZA et al., 2022).

Essa liberação não apenas melhora a biodisponibilidade de nutrientes, mas também potencializa o desempenho produtivo dos animais, como observado em estudos com fitases derivadas de *Aspergillus niger* e *Escherichia coli*, resultaram em ganhos significativos na

digestibilidade de P e Ca, promovendo maior ganho de peso e eficiência alimentar (IGBASAN et al., 2000; BRAÑA et al., 2006).

Apesar desses benefícios, a eficácia da fitase pode ser influenciada por desequilíbrios na composição mineral da dieta. Por exemplo, níveis elevados de Ca, frequentemente utilizados para atender às exigências nutricionais, podem formar complexos insolúveis com o fitato, tornando o meio intestinal menos propício para a ação enzimática (SCOTTÁ et al., 2014). Esse efeito é agravado quando a relação Ca:P não é ajustada adequadamente, como destacado por Magnago et al. (2015) e Wu et al. (2018), que recomendam proporções próximas a 1,2:1 para evitar interferências negativas na digestibilidade mineral.

Além do equilíbrio entre Ca e P, o Na desempenha um papel estratégico no transporte e absorção de P liberado pela fitase. Esse mineral, ao regular a osmolaridade intestinal e estabilizar o pH, cria condições ideais para a ação enzimática e facilita o transporte ativo de fosfatos inorgânicos no lúmen intestinal (RAVINDRAN et al., 2008; SELLE et al., 2019).

Dessa forma, a interação entre Ca, P e Na ilustra como o equilíbrio mineral é fundamental para maximizar os benefícios da adição com fitase visto que a absorção dos fosfatos inorgânicos depende de energia e é mediada pelos transportadores Na^+/P_i . A pesquisa realizada por Selle et al. (2019) destaca a relação entre Na e P, evidenciando que a falta de Na pode comprometer a eficiência da absorção do P liberado pela fitase, impactando diretamente o desempenho zootécnico.

Essa ação sinérgica da fitase não se limita aos minerais. A hidrólise do fitato também libera aminoácidos e proteínas anteriormente “sequestrados”, promovendo melhor digestão e utilização dos nutrientes. Estudos mostram que suínos alimentados com dietas suplementadas com fitase apresentaram maior deposição de proteínas e eficiência alimentar, destacando o papel dessa enzima na melhoria do metabolismo proteico e energético (KETAREN et al., 1993; MROZ et al., 1994).

Kies et al. (2001) afirmam que, em média, a adição 500 FTU/kg de ração de fitase disponibilizam aproximadamente 2g de proteína bruta digestível adicionais na ração. Assim, é evidente a melhoria na utilização de energia do alimento com a adição de fitase nas dietas de suínos representa uma estratégia nutricional eficaz para aumentar a eficiência produtiva, reduzir os custos de produção e promover a sustentabilidade na suinocultura.

Com uma dieta mais rica em energia disponível, os suínos podem direcionar mais nutrientes para processos de crescimento e produção, resultando em um crescimento mais rápido, uma melhor uniformidade do lote e uma maior eficiência na conversão de alimentos em peso corporal (DE SOUZA, 2022).

Isso não apenas aumenta a produtividade da produção suína, mas também reduz os custos de alimentação por unidade de produção, melhorando, assim, a rentabilidade para os produtores. Além disso, a melhoria na utilização de energia do alimento com a fitase pode contribuir para a sustentabilidade ambiental da suinocultura, reduzindo o desperdício de nutrientes excretados pelos animais e minimizando os impactos ambientais associados à produção animal intensiva (SILVA; SILVA, 2015).

Por fim, o impacto da fitase na liberação de energia metabolizável reforça sua importância como estratégia nutricional. Ao quebrar complexos energéticos inativos, a fitase permite um melhor aproveitamento dos nutrientes, resultando em maior ganho de peso e uniformidade do lote, além de reduzir os custos de alimentação e os impactos ambientais da suinocultura (DE SOUZA et al., 2022; WALTERS et al., 2019). Assim, a adição com fitase não apenas otimiza a eficiência produtiva, mas também contribui para a sustentabilidade e rentabilidade na produção de suínos (BABATUNDE; ADEOLA, 2022).

2.3.3 Desempenho zootécnico

A adição de fitase às dietas de animais monogástricos tem se mostrado uma estratégia promissora para otimizar a utilização de nutrientes, resultando em melhorias significativas no ganho de peso e eficiência alimentar (JONES et al., 2010). Assim, a adição de fitase não apenas promove uma melhor utilização de nutrientes, mas também pode representar uma abordagem econômica e sustentável para a produção animal.

Os benefícios começam com o ganho de peso, resultado da maior disponibilidade de P, que é indispensável para o desenvolvimento ósseo e muscular. Esse elemento, anteriormente indisponível no fitato, torna-se acessível graças à ação da fitase, permitindo que os suínos cresçam de forma mais rápida e eficiente (SINGH, 2008; DERSJANT-LI et al., 2015).

Pesquisa realizada por Magnago et al. (2015) evidencia que o ganho de peso diário dos animais aumenta de forma linear em resposta aos diferentes níveis de inclusão de fitase nas rações, independentemente do nível, apresentaram um desempenho aproximadamente 25% superior em comparação aos animais que não receberam fitase na dieta (MAGNAGO et al., 2015).

O fitato possui alta densidade de carga negativa (PO_4^{3-}) em pH fisiológico. Isso o torna altamente reativo, permitindo interações com moléculas carregadas positivamente, como é o caso dos aminoácidos básicos, como a lisina e arginina. Essas interações ocorrem principalmente por meio de ligações eletrostáticas entre os grupos fosfato do fitato e os grupos

amina protonados (NH_3^+) das cadeias laterais desses aminoácidos, sendo reforçadas por pontes de hidrogênio (RAVINDRAN et al., 1995; REDDY et al., 1989). A fitase desempenha um papel crucial na digestibilidade dessas moléculas ligadas ao fitato (MROZ et al., 1994).

Ao quebrar essas complicações, a enzima aumenta a utilização dos nutrientes da dieta, diminuindo a quantidade de ração necessária para o mesmo desempenho, o que gera economia e maior sustentabilidade na produção (ROJAS; LIU; STEIN, 2013). Estudos indicam que dietas suplementadas com fitase resultaram em menores índices de conversão alimentar, aumentando a competitividade econômica e ambiental da suinocultura (SELLE et al., 2019; DE SOUZA et al., 2022).

A liberação de energia adicional também contribui para o desempenho, direcionando os nutrientes liberados para processos metabólicos que apoiam o crescimento e a formação de tecidos (BRAÑA et al., 2006). Outro fator relacionado à eficiência é o equilíbrio eletrolítico no trato gastrointestinal. A ação da fitase é amplificada em ambientes intestinais com pH adequado e níveis ideais de Na, que auxiliam no transporte de P e outros minerais (RAVINDRAN et al., 2008; WU et al., 2018).

Em pesquisa de adição de fitase (6-fitase, *Aspergillus oryzae*) em doses crescentes com suínos na fase de crescimento-terminação, a taxa de conversão alimentar foi melhorada a partir da inclusão de 500 UFT/kg de ração, e a inclusão de 1000 UFT/kg de ração foi o nível ótimo para o ganho de peso médio diário (GRELA et al., 2020).

Os estudos revisados reforçam a importância da adição de fitase como uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho nutricional e produtivo de animais monogástricos, consolidando-se como uma ferramenta indispensável para otimizar o desempenho de suínos, integrando produtividade e sustentabilidade na produção animal.

2.3.4 Parâmetros bioquímicos sanguíneos

A análise dos parâmetros bioquímicos sanguíneos pode ser uma ferramenta útil para detectar potenciais efeitos adversos ou benefícios da adição de fitase nas dietas de suínos. A fitase, ao promover a hidrólise do fitato e melhorar a disponibilidade de minerais e nutrientes, pode melhorar a utilização de minerais como o P e o Ca afetando os níveis de eletrólitos no sangue, contribuindo para a homeostase e a saúde óssea dos animais. Além disso, as alterações nos níveis de enzimas hepáticas e marcadores de estresse oxidativo podem indicar possíveis efeitos da fitase no fígado ou no sistema antioxidante dos suínos. Considerando as evidências disponíveis, a maior disponibilidade de nutrientes essenciais, como aminoácidos, vitaminas e

minerais, pode influenciar a síntese proteica, o metabolismo energético e a função hepática e renal dos suínos, refletindo-se em mudanças nos níveis de proteínas, enzimas e metabólitos presentes no sangue (SÉLOS, 2014; MONTEIRO et al., 2015).

A adição da fitase pode aumentar a biodisponibilidade de P, aumentando os níveis de P no sangue, que, por sua vez, pode melhorar a absorção do Ca, visto que esses dois minerais estão intimamente relacionados (DE SOUZA, 2022).

Em relação à função renal e hepática, a enzima afeta indiretamente, pois a adição com fitase pode ter efeitos indiretos na função renal. Em uma dieta balanceada com fitase, o uso de P mais eficiente pode reduzir a carga sobre os rins, refletida em níveis normais de ureia (JEONG et al., 2010). A melhora na digestibilidade e absorção dos nutrientes, incluindo P, pode otimizar a função hepática, melhorando os níveis de enzimas hepáticas como alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), que, por sua vez, são indicadores de saúde hepática (ANDRIOLO et al., 1989).

As análises bioquímicas permitem uma avaliação abrangente dos benefícios e potenciais efeitos adversos da fitase na saúde e no desempenho dos suínos, auxiliando na otimização das estratégias nutricionais e no desenvolvimento de práticas de manejo que promovam uma produção animal mais eficiente, saudável e sustentável. Portanto, a avaliação dos parâmetros bioquímicos sanguíneos é ferramenta indispensável para a compreensão dos mecanismos de ação da fitase e para o aprimoramento contínuo das práticas de nutrição e manejo na suinocultura.

2.3.5 Características de carcaça e qualidade da carne

A aplicação da fitase tem sido associada a melhorias no crescimento muscular e no desenvolvimento ósseo, o que reflete diretamente em características relevantes da carcaça e na qualidade da carne dos suínos. A digestibilidade aumentada do fósforo e do cálcio, favorecida pela ação da fitase, contribui para uma melhor absorção mineral e, por consequência, para uma estrutura esquelética mais robusta e eficiente para o suporte e crescimento muscular. Estudos como os de Kühn e Männer (2012) e Dersjant-Li et al. (2018) demonstram que a inclusão de fitase, mesmo em níveis moderados, melhora a absorção de nutrientes em dietas com baixo teor de fitato, o que pode resultar em carcaças mais pesadas e de melhor conformação.

Apesar disso, os efeitos sobre características específicas da carcaça, como rendimento de carne magra, deposição de gordura e espessura de toucinho, ainda apresentam resultados divergentes. Alguns trabalhos não observaram impactos significativos (FREITAS et al., 2019;

THACKER; ROSSNAGEL; RABO, 2006), enquanto outros relataram melhorias na deposição de tecido magro e redução de gordura, especialmente em condições de dietas limitantes de nutrientes (HOLLOWAY et al., 2018; CHEN et al., 2023).

A capacidade da fitase de promover melhor mineralização óssea também é destacada como um fator que pode influenciar positivamente o desempenho corporal e, conseqüentemente, os parâmetros de carcaça. Nesse contexto, a disponibilidade de fósforo assume papel central não apenas na saúde esquelética, mas também na eficiência de deposição muscular, o que pode ser fundamental para o alcance de padrões de qualidade exigidos pelo mercado consumidor (CEMIN et al., 2019).

Em relação à qualidade da carne, os efeitos da suplementação com fitase são mais sutis e variáveis. Pesquisas indicam que, mesmo em altas dosagens, a fitase não compromete atributos sensoriais como cor, pH, maciez ou suculência da carne (DANG; KIM, 2021; MCCORMICK et al., 2017), embora haja relatos de alterações no teor de gordura intramuscular e na capacidade de retenção de água (BUZEK et al., 2023), fatores que podem afetar a palatabilidade.

Esses resultados sugerem que a enzima pode influenciar alguns aspectos da qualidade da carne de maneira indireta, dependendo do balanço de nutrientes na dieta, das fases de crescimento e da composição corporal final dos animais. Além disso, interações com outros componentes dietéticos, como proporções de cálcio e fósforo ou inclusão de vitaminas e aminoácidos, também podem modular os efeitos da fitase, sendo relevante destacar que menores proporções de cálcio favorecem a ação da enzima (LIU et al., 1998).

Outro ponto de destaque é a tendência de mercado que favorece carnes mais magras, o que torna a utilização da fitase ainda mais estratégica. Ao promover a redução da gordura corporal e favorecer a deposição de carne magra sem comprometer o sabor e a textura, a enzima se alinha aos padrões de consumo mais recentes, voltados à saúde e à qualidade nutricional dos alimentos (O'DOHERTY et al., 2010; DA SILVA et al., 2022). A aplicação de superdoses da enzima também tem se mostrado promissora, proporcionando desempenho produtivo superior sem prejuízo aos parâmetros sensoriais da carne (ZENG et al., 2014; MORAN et al., 2017), o que reforça a importância de ajustes finos na formulação das dietas.

Dessa forma, o uso da fitase representa uma estratégia nutricional de grande relevância na produção de suínos, atuando de forma integrada sobre a eficiência de aproveitamento de nutrientes, o desempenho zootécnico e as características desejáveis da carcaça e da carne. Seu efeito, no entanto, está condicionado a múltiplos fatores, entre eles a composição da dieta, o estágio fisiológico dos animais, a interação com outros nutrientes e a dose utilizada.

2.4 Referências bibliográficas

- ADEDOKUN, S.A.; RAGLAND, D.; PLUMSTEAD, P. et al. The Efficacy of a New 6-Phytase Obtained from *Buttiauxella* Spp. Expressed in *Trichoderma Reesei* on Digestibility of Amino Acids, Energy, and Nutrients in Pigs Fed a Diet Based on Corn, Soybean Meal, Wheat Middlings, and Corn Distillers' Dried Grain with solubles. **Journal of Animal Science**, v.93, n.1, p.168–175, 2015.
- ANDRIOLO, A.; BORGES, D.R. Enzimologia clínica em doenças do fígado. **Revista Brasileira de Patologia Clínica**, v.25, n.3, p. 95-8, 1989.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official Methods of Analysis**. Official Analytical Chemists International. 17 ed. 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** v.248, p.27–36, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.001>.
- BABATUNDE, O.O.; ADEOLA, O. A time-series effect of phytase supplementation on phosphorus utilization in growing and finishing pigs fed a low-phosphorus diet, **Journal of Animal Science**, v.100, p.1-13, 2022. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skab350>.
- BUZEK, A.; ZAWORSKA, A.; MUZOLF-PANEK, M. et al. Microbial phytase in a diet with lupine and extruded full-fat soya seeds affects the performance, carcass characteristics, meat quality, and bone mineralization of fatteners. **Animals**, v.13, n.10, p.1655, 2023. doi:<https://doi.org/10.3390/ani13101655>.
- BRAÑA, D.V.; ELLIS, M.; CASTAÑEDA, E.O. et al. Effect of a novel phytase on growth performance, bone ash, and mineral digestibility in nursery and grower–finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v.84, p.1839–1849, 2006.
- CARVALHO, A.P.; CARVALHO, C.M.C.; CAIRES, R.M. Nutrição animal como forma de reduzir a poluição ambiental gerada pelos dejetos suínos. **PUBVET**, Londrina, v.4, n.29, Ed. 134, Art. 905, 2010.
- CEMIN, H.; CARPENTER, C.; WOODWORTH, J. et al. Effects of zinc source and level on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs^{1,2}. **Translational Animal Science**, v.3, n.2, p.742-748, 2019. doi:<https://doi.org/10.1093/tas/txz071>.
- CHEN, F.; YANG, L.; LI, Z. et al. Supplementation of a multi-carbohydrase and phytase complex in diets regardless of nutritional levels, improved nutrients digestibility, growth performance, and bone mineralization of growing–finishing pigs. **Animals**, v.13, n.9, p.1557, 2023. doi:<https://doi.org/10.3390/ani13091557>.
- CORASSA, A.; LOPES, D.C.; TEIXEIRA, A.O. Desempenho, características de carcaça e composição óssea de suínos alimentados com diferentes níveis de ractopamina e fitase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1740-1747, 2010.

- COWIESON, A.J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M.R. Phytic Acid and Phytase: Implications for Protein Utilization by. **Poultry Science**, v.85, n.5, p.878-885, 2006. doi:<https://doi.org/10.1093/ps/85.5.878>.
- DA SILVA, C.; CALLEGARI, M.; DIAS, C. et al. Increasing doses of bacterial phytase (*Citrobacter braakii*) improves performance and carcass characteristics of pigs in growing and finishing phases. **Animals**, v.12, n.19, p.2552, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12192552>.
- DANG, D.; KIM, I. Effects of supplementation of high-dosing *Trichoderma reesei* phytase in the corn-wheat-soybean meal-based diets on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, faecal gas emission, and meat quality in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.105, n.3, p.485-492, 2021. doi:<https://doi.org/10.1111/jpn.13499>.
- DE SOUZA, J.P.P.; DE LIMA, M.D.; LOPES, I.M.G. Enzimas exógenas na dieta de leitões desmamados. **Ciência Animal**, v.32, n.2, p.68–84, 2022.
- DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H. et al. Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, n.5, p.878-896, 2015. doi: 10.1002/jsfa.6998.
- DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H. et al. The effect of sodium and phytase on phosphorus digestibility in growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.208, p.130-141, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018>.
- DERSJANT-LI, Y.; PLUMSTEAD, P.; AWATI, A. et al. Productive performance of commercial growing and finishing pigs supplemented with a *Buttiauxella* phytase as a total replacement of inorganic phosphate. **Animal Nutrition**, v.4, n.4, p.351-357, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.02.002>.
- ENGELN, A.J.; HEEFT, F.C.V.; RANDSDORP, P.H.G. et al. Determination of Phytase Activity. **Journal of AOAC International**, v.77, n.3, p.760-764, 1994. <https://doi.org/10.1093/jaoac/77.3.760>.
- FARIA, O.L.V.; KOETZ, P.R.; SANTOS, M.S. et al. Remoção de fósforo de efluentes da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS). **Food Science and Technology**, v.26, n.2, p.309-317, 2006.
- FIREMAN, F.A.T.; FIREMAN, A.K.B.A.T. Enzimas na alimentação de suínos. **Ciência Rural**, v.28, n.1, p.173–178, 1998. doi:<https://doi.org/10.1590/s0103-84781998000100030>.
- FREITAS, H.; NASCIMENTO, K.; KIEFER, C. et al. Graded levels of phytase on performance, bone mineralization and carcass traits of broiler fed reduced dicalcium phosphate. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.32, n.5, p.691-700, 2019. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0228>.
- GRELA, E.R.; MUSZYŃSKI, S.; CZECH, A. et al. Influence of phytase supplementation at increasing doses from 0 to 1500 FTU/kg on growth performance, nutrient digestibility, and

- bone status in grower–finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. **Animals**, v.10, n.847, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/ani10050847>.
- HAEFNER, S.; KNIETSCH, A.; SCHOLTEN, E. et al. Biotechnological production and applications of phytases. **Applied Microbiology and Technology**, v.68, n.5, p.588-597, 2005. doi:10.1007/s00253-005-0005-y.
- HAMDI, M.; PÉREZ, J.F.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M.P. et al. The effects of microbial phytases and dietary calcium and phosphorus levels on the productive performance and bone mineralization of broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 243, p.41–51, 2018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.005>.
- HOLLOWAY, C.L.; BOYD, R.D.; KOEHLER, D. et al. The impact of “super-dosing” phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods. **Translational Animal Science**, v.3, p.420–428, 2018. doi: 10.1093/tas/txy148.
- IGBASAN, F.A.; SIMON, O.; MILKSCH, G. et al. Comparative studies of the *in vitro* properties of phytases from various microbial origins. **Archives of Animal Nutrition**, v.53, p.353–373, 2000. doi:<https://doi.org/10.1080/17450390009381958>.
- JEONG, T.S.; LEE, G.Y.; HEO, P.S. et al. The influence of phase feeding methods on growth performance, meat quality, and production cost in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science Technology**, v.52, p.29-36, 2010. doi: <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0119-z>.
- JONES, C.K.; TOKACH, M.D.; DRITZEL, S.S. et al. Efficacy of different commercial phytase enzymes and development of an available phosphorus release curve for *Escherichia coli*-derived phytases in nursery pigs. **Journal of Animal Science**, v.88, n.11, p.3631-3644, 2010. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2936>.
- KETAREN, P.P.; BATTERHAM, E.S.; DETTMANN, E.B. et al. Phosphorus studies in pigs. 3. Effect of phytase supplementation on the digestibility and availability of phosphorus in soyabean meal for grower pigs. **British Journal of Nutrition**, v.70, n.1, p.289-311, 1993. doi: 10.1079/BJN19930123.
- KIES, A.K.; VAN HEMERT, K.H.F; SAUCER, W.C. et al. Effect of phytase on protein and amino acid digestibility and energy retention. **World's Poultry Science Journal**, v.57, n.2, p.109-126, 2001. doi:10.1079/WPS20010009.
- KÜHN, I.; MÄNNER, K. Performance and apparent total tract phosphorus and calcium digestibility in grower–finisher pigs fed diets with and without phytase. **Journal of Animal Science**, v.90, p.143-145, 2012. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.53829>.
- KUMAR, A.; KUMAR, V.; KRISHNAN, V.; et al. Seed targeted RNAi-mediated silencing of GmMIPS1 limits phytate accumulation and improves mineral bioavailability in soybean. **Scientific Reports**, v.9, p.7744, 2019. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44255-7>.
- LIU, J.; BOLLINGER, D.; LEDOUX, D. et al. Lowering the dietary calcium to total phosphorus ratio increases phosphorus utilization in low-phosphorus corn-soybean meal

- diets supplemented with microbial phytase for growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.76, n.3, p.808, 1998. doi: <https://doi.org/10.2527/1998.763808x>.
- MACIEL, J.T.L.; BRITO, C.O.; SILVA, C.M. **Exogenous enzymes action on the intestinal microbiota: gene expression and perform of poultry**. 2020.
- MADRID, J.; MARTÍNEZ, S.; LÓPEZ, C. et al. Effect of phytase on nutrient digestibility, mineral utilization and performance in growing pigs. **Livestock Science**, v.54, n.1–3, p.144–151, 2013. ISSN 1871-1413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.03.003>.
- MAGNAGO, J.G.P.; HAESEI, D.; KILL, J.L. et al. Níveis de fitase sobre o desempenho, parâmetros ósseos e bioquímicos de suínos alimentados com ração de origem vegetal sem inclusão de fosfato bicálcico. **Ciência Rural**, v.45, n.7, p.1286-1291, 2015. doi:<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140853>.
- MCCORMICK, K.; WALK, C.; WYATT, C. et al. Phosphorus utilization response of pigs and broiler chickens to diets supplemented with antimicrobials and phytase. **Animal Nutrition**, v.3, n.1, p.77-84, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.11.004>
- MILLER, H.M.; SLADE, R.D.; TAYLOR, A.E. High dietary inclusion levels of phytase in grower-finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v.94, n.3, p.121–124, 2016. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9784>.
- MONTEIRO, R.T.; SILVA, C.A.; BRIDI, A.M. et al. Avaliação do ácido fítico e do ferro inorgânico dietéticos Sobre o desempenho zootécnico, características de carcaça e o perfil sérico de suínos em fase de terminação. **Ciência Animal**, v.25, n.1, p. 25-45, 2015.
- MORAN, K.; BOYD, R.; ZIER-RUSH, C. et al. Effects of high inclusion of soybean meal and a phytase superdose on growth performance of weaned pigs housed under the rigors of commercial conditions¹. **Journal of Animal Science**, v.95, n.12, p.5455-5465, 2017. doi:<https://doi.org/10.2527/jas2017.1789>
- MROZ, Z.; JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A. Apparent digestibility and retention of dietary nutrients bound to phytase complexes as influenced by microbial phytase and feeding regimen in pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, p.126-132, 1994. doi:<https://doi.org/10.2527/1994.721126x>.
- O'DOHERTY, J.; GAHAN, D.; O'SHEA, C. et al. Effects of phytase and 25-hydroxyvitamin d3 inclusions on the performance, mineral balance and bone parameters of grower–finisher pigs fed low-phosphorus diets. **Animal**, v.4, n.10, p.1634-1640, 2010. doi:<https://doi.org/10.1017/s1751731110000807>.
- PACHECO, G.D.; LOZANO, A.P.; VINOKUROVAS, S.L. et al. Farelo de gérmen de milho desengordurado associado à fitase. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 236, p. 599-610, 2012. doi:<https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000400012>.
- PUNJABI, M.; BHARADVAJA, N.; SACHDEV, A. et al. Molecular characterization, modeling, and docking analysis of late phytic acid biosynthesis pathway gene, inositol polyphosphate 6-/3-/5-kinase, a potential candidate for developing low phytate crops. **3Biotech**, v.8, p.344. 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1343>.

- RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W.L.; KORNEGAY, E.T. Phytates: Occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. **Poultry and Avian Biology Reviews**, v.6, n.2, p.125-143, 1995.
- RAVINDRAN, V.; COWIESON, A.J.; SELLE, P.H. Influence of Dietary Electrolyte Balance and Microbial Phytase on Growth Performance, Nutrient Utilization, and Excreta Quality of Broiler Chickens. **Poultry Science**, v.87, n.4, p.677-688, 2008. doi:<https://doi.org/10.3382/ps.2007-00247>.
- REDDY, N.R.; PIERSON, M.D.; SATHE, S.K. et al. Methods for analysis of phytate. **Phytate in Cereal and Legumes**, p.26-36, 1989.
- ROJAS, O.J.; LIU, Y.; STEIN, H.H. Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.91, n.11, p.5326-5335, 2013. doi: 10.2527/jas.2013-6324.
- SCHONS, P.F.; BATTESTIN, V.; MACEDO, G.A. Fermentation and enzyme treatments for sorghum. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.43, n.1, p.89-97, 2012. doi: 10.1590/S1517-838220120001000010.
- SCOTTÁ, B.A.; GOMIDE, A.P.C.; CAMPOS, P.F. et al. Utilização de fitase na alimentação de aves e suínos. **PUBVET**, v.8, n.2, 2014. doi: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v8n2.1660>.
- SÉLOS, A.N. **Feeding programs with reduced levels of available phosphorus and calcium on rations containing phytase for weanling piglets**. 2014. 55 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Animais Domésticos; Nutrição e Alimentação Animal; Pastagens e Forragicultura) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- SELLE, P.H.; RAVINDRAN, V.; CALDWELL, A. et al. Phytate and phytase: consequences for protein utilization. **Nutrition Research Reviews**, v.13, n.2, p.255-78, 2000. doi: 10.1079/095442200108729098.
- SELLE, P.H.; COWIESON, A.J.; RAVINDRAN, V. et al. Phytase supplementation and sodium interactions in poultry and swine nutrition. **Animal Production Science**, v.59, n.1, p.11-23, 2019. doi: <https://doi.org/10.1071/AN18681>.
- SHE, Y.; SPARKS, J.C.; STEIN, H.H. Effects of increasing concentrations of an Escherichia coli phytase on the apparent ileal digestibility of amino acids and the apparent total tract digestibility of energy and nutrients in corn-soybean meal diets fed to growing pigs, **Journal of Animal Science**, v.96, n.7, p.2804-2816, 2018. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/sky152>.
- SILVA, H.O.; SILVA, L.F. New concepts and technologies applied to production and pig nutrition allies sustainability. **Edição especial Ciência Animal**, v.25, n.1, p.109-120, 2015.
- SINGH, P.K. Significance of phytic acid and supplemental phytase in chicken nutrition: a review, **World's Poultry Science Journal**, v.64, n.4, p.553-580, 2008. doi:10.1017/S0043933908000202.

- THACKER, P.; ROSSNAGEL, B.; RABO, V. The effects of phytase supplementation on nutrient digestibility, plasma parameters, performance and carcass traits of pigs fed diets based on low-phytate barley without inorganic phosphorus. **Canadian Journal of Animal Science**, v.86, n.2, p.245-254, 2006. doi:<https://doi.org/10.4141/a05-077>
- VATS, P.; BANERJEE, U.C. Production Studies and Catalytic Properties of Phytases (myo-Inositol Hexakisphosphate Phosphohydrolases): an overview. **Enzyme and Microbial Technology**, v.35, p.3-14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.010>.
- WALK, C.L.; RAMA RAO, S.V. Dietary phytate has a greater anti-nutrient effect on feed conversion ratio compared to body weight gain and greater doses of phytase are required to alleviate this effect as evidenced by prediction equations on growth performance, bone ash and phytate degradation in broilers. **Poultry Science**, v.991, p.246–255. 2020. doi:<https://doi.org/10.3382/ps/pez469>.
- WALTERS, H.G.; COELHO, M.; COUFAL, C.D. et al. Effects of increasing phytase inclusion levels on broiler performance, nutrient digestibility, and bone mineralization in low-phosphorus diets. **Journal of applied poultry research**, v.28, n.4, p.1210-1225, 2019. doi:<https://doi.org/10.3382/japr/pfz087>.
- WENSLEY, M.R.; VIER, C.M.; WOODWORTH, J.C. et al. Assessing current phytase release values for calcium, phosphorus, amino acids, and energy in diets for growing-finishing pigs. **Translational Animal Science**, v.4, n.2, p.558–568, 2020. doi:<https://doi.org/10.1093/tas/txaa034>.
- WU, F.; MIKE D TOKACH, M.D.; DRITZ, S.S. et al. Effects of dietary calcium to phosphorus ratio and addition of phytase on growth performance of nursery pigs, **Journal of Animal Science**, v.96, n.5, p.1825-19837, 2018. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/sky101>.
- YANG, Y.Y.; FAN, Y.F.; CAO, Y.H. et al. Effects of exogenous phytase and xylanase, individually or in combination, and pelleting on nutrient digestibility, available energy content of wheat and performance of growing pigs fed wheat-based diets. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.30, p.57-63, 2017. doi:<https://doi.org/10.5713/ajas.15.0876>.
- ZENG, Z.; WANG, D.; PIAO, X. et al. Effects of adding super dose phytase to the phosphorus-deficient diets of young pigs on growth performance, bone quality, minerals and amino acids digestibilities. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.27, n.2, p.237-246, 2014. doi:<https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13370>
- ZOUAOU, M.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P.; GUAY, F. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: A meta-analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.238, p.18-28, 2018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019>.

3 HIPÓTESE

A inclusão de níveis crescentes de fitase concentrada na dieta de suínos em crescimento e terminação compensará as reduções no teor de cálcio, fósforo e sódio, e resultará em melhorias no desempenho zootécnico, na digestibilidade dos nutrientes e nos níveis metabólicos sanguíneos dos animais.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da adição de fitase concentrada (6-fitase, *Escherichia coli*) em doses crescentes, em dietas com a redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio para suínos em fase de crescimento e terminação

4.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase em dieta com redução cálcio, fósforo e sódio sobre a digestibilidade aparente do trato total.

Avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase em dieta com redução cálcio, fósforo e sódio sobre os parâmetros bioquímicos;

Avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase em dieta com redução cálcio, fósforo e sódio sobre o desempenho zootécnico;

Avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase em dieta com redução cálcio, fósforo e sódio sobre as características de carcaça.

Avaliar o efeito dos níveis de inclusão da fitase em dieta com redução cálcio, fósforo e sódio sobre a qualidade de carne.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pelo comitê de ética no uso de animais de produção no setor de suinocultura na Fazenda Experimental, Professor Antônio Carlos Pessoa, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (CEUAP/UNIOESTE, nº P01/23 – Anexo I).

5.1 Animais, delineamento experimental, alojamento e dietas

Um total de 42 suínos machos inteiros, híbridos (Landrace × Large White), com peso médio inicial de $24,52 \pm 0,84$ kg, foram distribuídos em um delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos, sete repetições e um animal por baia, e esta considerada uma unidade experimental.

Inicialmente (dia 0), os animais foram pesados, identificados, e alojados em uma instalação de alvenaria com telhas de cerâmica, com baias de piso compacto ($2,2 \text{ m}^2$), dispostas em duas fileiras, separadas por um corredor central. Todas as baias eram providas de comedouro manual (diâmetro de 34 cm e altura de 1,15 cm) localizado na parte frontal e bebedouro suspenso do tipo chupeta. Os animais foram imunizados contra o hormônio liberador de gonadotrofina (anti-GnRF), em que a primeira dose da vacina Vivax® foi aplicada na fase de crescimento II (36º dia) e a segunda dose aplicada na fase de terminação I (68º dia), conforme as recomendações do fabricante.

A temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar foram registradas utilizando termo-higrômetro com mostrador digital (Modelo nº TH-812) instalado no centro do galpão, em altura de aproximadamente 1,80 m. A temperatura ambiente foi de $21,29 \text{ °C} \pm 3,58 \text{ °C}$ e umidade relativa do ar, de $67,52\% \pm 12,44\%$ foram registradas durante o período experimental. O controle de temperatura e ventilação no interior da instalação foi realizado com auxílio de cortinas laterais e arborização em ambos os lados.

Ao todo, o período experimental foi de 93 dias, divididos em quatro fases: (1) crescimento I (de 0 até 31 dias e de $24,52 \pm 0,84$ kg até $53,56 \pm 2,55$ kg); (2) crescimento II (de 31 até 47 dias de $53,56 \pm 2,55$ kg até $71,23 \pm 3,68$ kg); (3) Terminação I (de 47 até 69 dias e de $71,23 \pm 3,68$ kg até $99,60 \pm 5,13$ kg); e (4) Terminação II (de 69 até 93 dias e de $99,60 \pm 5,13$ kg até $128,61 \pm 6,35$ kg).

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com aminoácidos (AAs) industriais atendendo os requerimentos nutricionais dos animais, formuladas próximas aos limites nutricionais propostos por NRC (2012).

Após algumas pesquisas, foi decidido que seria reduzido da exigência dos animais 22,73% para cálcio, 48,39% para fósforo disponível e 20% para sódio, pressupondo que essa redução na formulação será recuperada através do uso da enzima.

A enzima testada foi a fitase PHYGEST™ produzida pelo laboratório Kemin enzymes, que apresenta 11.000 FTU/g de produto. Esta fitase tem origem da bactéria *Escherichia coli*, ela apresenta estabilidade térmica acima de 80 °C, um pH equilibrado (3,5 – 5,0).

Todas as dietas foram fornecidas na forma farelada, *ad libitum* e os tratamentos dietéticos testados (Tabelas 1) foram:

CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio;

CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU/kg de ração e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU/kg de ração e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU/kg de ração e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU/kg de ração e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio.

Tabela 1: Composição centesimal das dietas experimentais para suínos machos de 25 a 135 kg de peso corporal alimentados com fitase concentrada

Ingredientes (g/kg)	Crescimento I (25 - 50 kg) ³			Crescimento II (50 - 70 kg) ³			Terminação I (75 – 100 kg)			Terminação II (100 – 135 kg)		
	CP	CN	CN+FITAS E	CP	CN	CN+Fitase	CP	CN	CN+Fitase	CP	CN	CN+Fitase
Milho 7,86%	76,75	76,75	76,75	79,29	79,30	79,30	82	82	82,04	90,5	90,5	90,45
Farelo de soja 45,4%	18,52	18,52	18,52	16,00	16,00	16,00	13,5	13,49	13,49	5,67	5,67	5,67
Óleo de soja	1,57	1,57	1,57	1,49	1,49	1,49	1,35	1,35	1,35	0,86	0,86	0,86
Fosfato bicálcico	1,52	0,61	0,61	1,48	0,57	0,57	1,44	0,54	0,54	1,1	0,19	0,19
Calcário calcítico	0,63	0,78	0,78	0,62	0,77	0,77	0,58	0,74	0,74	0,49	0,64	0,64
L-Thr (98,0%)	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,012	0,012	0,11	0,11	0,11
DL-Met (99,0%)	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02
L-Lis@HCl (78,4%)	0,44	0,44	0,44	0,39	0,39	0,39	0,47	0,47	0,47	0,35	0,35	0,35
L-Trp (98%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
L-Valina	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
Blend mineral ¹	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Blend vitamínico ²	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sal Comum, NaCl	0,22	0,17	0,17	0,22	0,17	0,17	0,22	0,17	0,17	0,23	0,18	0,18
Inerte-Caulim	0,00	0,81	x	0,00	0,80	0,75	-	0,81	x	-	0,81	x
Ácido glutâmico	-	-	-	0,21	0,21	0,21	0,10	0,10	0,10	0,63	0,63	0,63
Antibiótico	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Fitase	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X
Composição química calculada												
EM (Kcal/kg)	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Proteína bruta (%)	15,00	15,00	15,00	14,00	14,00	14,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Cálcio tot. (%)	0,66	0,51	0,51	0,64	0,49	0,49	0,61	0,46	0,46	0,47	0,32	0,32
Fósforo disp. (%)	0,31	0,16	0,16	0,30	0,15	0,15	0,29	0,14	0,14	0,22	0,07	0,07
Lisina dig. (%)	0,98	0,98	0,98	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,59	0,59	0,59
Metionina dig. (%)	0,32	0,32	0,32	0,28	0,28	0,28	0,26	0,26	0,26	0,18	0,18	0,18
Metionina + Cistina dig. (%)	0,55	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,47	0,47	0,47	0,35	0,35	0,35
Treonina dig. (%)	0,59	0,59	0,59	0,54	0,54	0,54	0,51	0,51	0,51	0,39	0,39	0,39
Triptofano dig. (%)	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11
Valina dig. (%)	0,64	0,64	0,64	0,58	0,58	0,58	0,54	0,54	0,54	0,4	0,4	0,4
Leucina dig. (%)	1,19	1,19	1,19	1,13	1,13	1,13	1,07	1,07	1,07	0,87	0,87	0,87
Isoleucina dig. (%)	0,56	0,56	0,56	0,51	0,51	0,51	0,46	0,46	0,46	0,32	0,32	0,32
Arginina dig. (%)	0,87	0,87	0,87	0,80	0,80	0,80	0,72	0,72	0,72	0,49	0,49	0,49
Histidina dig. (%)	0,35	0,35	0,35	0,33	0,33	0,33	0,30	0,30	0,30	0,23	0,23	0,23
Sódio %	0,10	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08

¹Níveis nutricionais em mg por kg de dieta: sulfato de Mn, 60,02; óxido de Zn, 80; sulfato de Fe, 60,07; sulfato de Cu, 10,02;

²Níveis nutricionais por kg de dieta: vitamina A, 3000 UI; vitamina D3, 600 UI; vitamina E, 10 UI; vitamina K3, 0,9 mg; vitamina B1, 0,4 mg; vitamina B2, 1,9 mg; vitamina B6, 0,4 mg; vitamina B12, 0,007 mg; niacina, 10 mg; ácido pantotênico, 6,5 mg; ácido fólico, 0,25 mg; Se, 0,3 mg; BHT, 0,06 mg.

³CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio.

5.2 Desempenho zootécnico

Os animais receberam ração e água *ad libitum* durante todo o período experimental. As sobras de rações foram recolhidas, pesadas em balança digital (Modelo UL – 50 Marca DIGI-TRON, Curitiba, Brasil) e descontadas do fornecimento para calcular o consumo diário de ração. Os animais foram pesados individualmente (balança digital Modelo ULB – 3000 Marca DIGI-TRON, Curitiba, Brasil) no início e ao final de cada fase experimental, para registrar o peso corporal inicial (PCI, kg) e o peso corporal final (PCF, kg) e determinar os valores de consumo de ração diário médio (CRDM, kg/dia), ganho de peso corporal diário médio (GPCDM, kg/dia), e a taxa de conversão alimentar (CA, kg/kg) e a eficiência alimentar (EA, %).

Durante o período experimental foi avaliada a espessura de toucinho (mm) e Profundidade de Lombo (mm) nos animais (*in vivo*) durante a fase de crescimento II (aos 50 kg, no 43° dia) e terminação II (aos 115 kg, no 86° dia), na região lombar P2, utilizando o equipamento Ultrassom (Aquila Marca: Saote piemedical) seguindo a metodologia descrita no guia da Beef Improvement Federation (BIF, 1996).

5.3 Metabólitos sanguíneos

Para avaliar a concentração de metabólitos sanguíneos, ao final da fase de crescimento, no 43° dia de experimentação e ao final da fase de terminação, no 92° dia de experimentação, no período da manhã, foi realizada a coleta de sangue em todos os animais ($n = 7$ por tratamento), via punção da veia jugular, usando agulha de calibre $40 \times 1,2$ mm e seringa de 20 mL. A amostra de sangue coletada foi transferida para tubo a vácuo (tubo de vidro para coleta de sangue a vácuo, Labingá; Maringá, PR, Brasil) de 5mL com fluoreto de potássio para análise de glicose e dois tubos de 5mL sem anticoagulante para análise de cálcio, fósforo, magnésio, albumina, ALT, AST glicose e proteínas totais. Em seguida, todas as amostras foram centrifugadas (centrífuga analógica Centrilab, modelo 80-2B, China) a 3.000 g por um período de 10 minutos. Então, aproximadamente 3 mL de plasma ou soro foram transferidos para microtubos de polietileno em duplicata previamente identificados.

As análises sanguíneas de cálcio (método enzimático-colorimétrico, Cat. 448), fósforo (método ultravioleta, Cat.412), magnésio (método enzimático-colorimétrico, Cat.115), albumina (método enzimático-colorimétrico, Cat. 419), aspartato aminotransferase (AST)

(método cinético – UV, Cat. 421), alanina aminotransferase (ALT) (método cinético – UV, Cat. 422), glicose (método enzimático-colorimétrico, Cat. 434), proteínas totais (método enzimático-biureto, Cat. 418), e ureia (método enzimático-colorimétrico, Cat. 427) foram realizadas por espectrofotometria, com o auxílio de um analisador biquímico (Bel Engineering, modelo Bel SPECTRO S05, Monza, Itália), utilizando kits específicos ANALISA (Gold Analisa Diagnóstica – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil).

5.4 Digestibilidade aparente dos nutrientes

A digestibilidade aparente foi realizada pela coleta parcial de fezes, nas fases de crescimento II e terminação II, no 40º e no 82º dia de experimentação. Para isso, foram adicionadas as dietas testes o indicador CIA (cinza ácida insolúvel, Celite®), na proporção 10 g/kg de ração, homogeneizado com o auxílio de misturador vertical por 10 minutos, de acordo com as recomendações de Sakomura e Rostagno (2016).

No 37º dia de experimentação, na fase de crescimento II, iniciou-se o fornecimento das rações com indicador, ou seja, três dias antes da coleta. No 40º dia foi realizada a coleta parcial de fezes, conforme metodologia a descrita por Sakomura e Rostagno (2016). Foram registrados o início e o final do fornecimento das dietas e o consumo real das dietas por animal. O mesmo protocolo foi realizado na fase de terminação II, em que o início do fornecimento foi ao 79º dia e realizada a coleta no 82º dia de experimentação.

As fezes foram coletadas por 10 horas ininterruptas (7h – 17h) no último dia de fornecimento das dietas contendo o indicador. Durante a coleta, as fezes foram armazenadas em sacos plástico de polietileno identificados e mantidas refrigeradas em caixas térmicas ($\cong 4^{\circ}\text{C}$), até o final do período de coleta. Após o fim da coleta, as amostras foram homogeneizadas, retirando-se uma alíquota em duplicata (110 g cada), em seguida, pesadas em balança (bel engineering, modelo M4102, Monza, Itália) e secas em estufa a 55°C (Tecnal, modelo 394/2, Piracicaba, São Paulo, Brasil) por um período de 72 horas, seguindo recomendação AOAC (2006). Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho micropulverizador (Philco Grano Aroma, modelo PMC01I, Curitiba, PR, Brasil) e armazenadas em potes plásticos de polietileno identificados para análises laboratoriais.

As análises de CIA foram realizadas por digestão com ácido clorídrico (4N), seguindo os procedimentos adaptados de Kavanagh et al. (2001). A composição bromatológica das rações experimentais e das fezes coletadas foram realizadas conforme as metodologias descritas pela AOAC (2006) como matéria seca (método 930.15), matéria mineral (método 942.05), proteína

bruta (método 984.13) e extrato etéreo (método 920.85). As análises de energia bruta das dietas e fezes foram realizadas utilizando uma bomba calorimétrica (IKA®, modelo C200, Wilmington, NC, USA).

As análises de energia bruta das rações e das fezes foram realizadas no laboratório de nutrição animal da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Chapecó, SC, utilizando bomba calorimétrica (IKA® modelo C200, Wilmington, Carolina do Norte).

Com base nos valores brutos das análises, os coeficientes de digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes da matéria seca (CDATTMS), matéria orgânica (CDATTMO), proteína bruta (CDATTPB), energia bruta (CDATTEB), cálcio (CDATTCA) e fósforo (CDATTP) foram calculados e os valores digestíveis de matéria seca (MSD), matéria orgânica (MOD), proteína (PD) e energia (ED) foram calculados de acordo com as informações contidas em Sakomura e Rostagno (2016).

5.5 Características de carcaça e qualidade da carne

Aos 93 dias de experimentação, os animais (n= 41) foram pesados e transportados ao frigorífico comercial em Medianeira, PR, Brasil, com certificação federal e abatidos após jejum alimentar de 20 horas. O abate seguiu o protocolo contido na Instrução Normativa nº 3, de 17 de janeiro de 2000, utilizando anestésico inalatório contendo dióxido de carbono para insensibilização dos animais e, posteriormente, foi realizado o processo de sangria. Todas as análises e cálculos para os atributos de carcaça e carne foram realizados de acordo com a metodologia de Bridi e Silva (2009).

As características quantitativas das carcaças: percentual de carne magra, quantidade de tecido muscular, rendimento de carcaça, profundidade do músculo, espessura de toucinho e peso da carcaça foram mensuradas no próprio abatedouro, com a carcaça quente, por meio da pistola de tipificação de carcaças suínas (Ultrafom 300, SFK Technology, Herlev, Denmark). As carcaças foram pesadas com uso de uma balança (modelo, alfa instrumentos, São Paulo, São Paulo, Brasil) instalada na linha de abate no frigorífico.

O valor de pH e da temperatura no músculo *Longissimus thoracis* foram mensurados com o auxílio de um medidor portátil de pH e temperatura (Testo 205, modelo 0563 2051 - Testo SE & Co KGaA, Titisee-Neustadt, Alemanha), na posição entre a última e penúltima costela (T13 e T14) quatro horas *post mortem*, após choque de resfriamento das carcaças, que ocorre na câmara fria (estágio 1º de -18 a -15°C, estágio 2º de -15 a -12°C, estágio 3º de -10 a -8°C, totalizando 180 minutos) e 24 horas *post mortem*.

Após 24 horas do abate, foram coletados aproximadamente 30 cm do músculo *Longissimus thoracis* entre a última vértebra torácica com a primeira vértebra lombar no sentido caudal-cranial, as amostras foram transferidas para sacos plásticos de polietileno, identificadas e acondicionadas em caixas térmicas (4°C) e transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Unioeste.

No laboratório de Tecnologia de Alimentos, foram mensuradas a espessura de toucinho (mm) e profundidade de lombo (mm) com o auxílio de um paquímetro digital (MTX, stainless hardened). Para a determinação da área de olho de lombo (AOL) do músculo *Longissimus thoracis*, as amostras foram escaneadas em impressora multifuncional HP (modelo Officejet 4500 Desktop - G510a) e cobertas por uma caixa preta para evitar a entrada de luz e melhorar a qualidade da imagem. A leitura da amostra digitalizada e o cálculo da AOL foram realizados em um *software* (imageJ 1.53e – Java).

A coloração da carne foi determinada após a exposição da amostra ao ar por aproximadamente 15 minutos para a oxigenação do músculo e posterior análise em colorímetro Minolta CR400 (Konica Minolta Holdings inc. Tóquio, Japão). Os componentes determinados foram: luminosidade (L^*), a^* e b^* que representaram a saturação (croma ou pureza), e a tonalidade (cor ou hue) determinada como componente verde-vermelho (a^*) e componente amarelo-azul (b^*), expressos usando o sistema de cores CIELAB (CIE, 1978). De posse desses resultados, foi calculada a saturação do músculo *Longissimus thoracis*.

O grau de marmoreio da carne foi determinado com o auxílio de padrões fotográficos, (AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION, 2001) usando uma escala de valores numéricos de 1 a 7, em que a carne com valor 1 apresenta somente traços de marmoreio e valor 7 caracteriza marmoreio excessivo. A análise subjetiva de padrão de cor foi avaliada com uma escala de valores numéricos de 1 a 6, em que 1 representa uma coloração clara e 6 com tendência ao vermelho.

Posteriormente, seguindo metodologia de Bridi e Silva (2009) as amostras foram desossadas e o músculo *Longissimus thoracis* foi seccionado sequencialmente com cortes transversais em três subamostras de 2cm cada. As subamostras foram utilizadas para determinação da perda de líquido por gotejamento (PLG), descongelamento (PLD), cocção (PLC), força de cisalhamento (FC), enquanto a terceira subamostra foi congelada como reserva.

A subamostra 1 foi utilizada para avaliação da PLG. Para avaliação da FC foram utilizadas peças da subamostra sequencial da PLD e PLC. Seis pontos foram retirados com o auxílio de um amostrador cilíndrico de inox, e submetidos à análise de FC usando um texturômetro TA.HD.plus (modelo Texture Analyser, Stable Micro Systems, Godalming,

Inglaterra), equipado com lâmina de cisalhamento padrão e calibrado para força de 15 g, deformação de 20 mm e velocidade de 2,0 mm/s. A análise foi realizada no laboratório didático de aves e suínos pertencente a Universidade Federal do Paraná, no Campus de Palotina-Paraná.

5.6 Procedimentos estatísticos

Antes de avaliar o resultado da análise de covariância (ANCOVA) ou variância (ANOVA), foi verificada a análise dos resíduos padronizados de Student, a fim de diagnosticar observações influentes ou *outliers*, o critério utilizado foi baseado na curva de distribuição normal, em que os valores maiores ou iguais a 3 desvios-padrão foram considerados como *outliers*. A normalidade dos erros experimentais e a homogeneidade de variâncias dos erros entre os tratamentos foram avaliados previamente utilizando os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente.

O modelo estatístico apresentado abaixo foi utilizado para as variáveis analisadas.

$$Y_{ijkl} = m + T_i + \beta (X_{ijkl} - \bar{X} \dots) + \varepsilon_{ij}$$

Em que: Y_{ij} = observação média da variável dependente em cada parcela, medida na i -ésima classe de tratamento e na j -ésima repetição; m = efeito da média geral; T_i = efeito fixo das classes de tratamento, para $i = (500, 1000, 1500 \text{ e } 2000)$; β = coeficiente de regressão de Y sobre X ; X_{ij} = observação média da covariável (peso corporal inicial, metabólito sanguíneo, peso corporal final e digestibilidade, respectivamente) em cada parcela, medida na i -ésima classe de tratamento e na j -ésima repetição; $\bar{X}$ = média geral para a covariável X ; ε_{ij} = erro aleatório da parcela associado ao nível i e repetição j .

Quando detectado efeito significativo dos fatores ($P \leq 0,05$), foram procedidas as análises de regressão polinomial para os níveis de fitase adicionados, com o propósito de estimar o modelo de melhor ajuste aos dados.

O modelo estatístico utilizado para as variáveis de desempenho zootécnico considerou tratamento dietético como efeito fixo, bloco (baseado no PC) e erro residual como efeitos aleatórios, e o PC inicial dos animais foram usados como covariável. Para as variáveis de digestibilidade aparente do trato total e metabólitos sanguíneos, o modelo estatístico utilizado foi o mesmo usado para as variáveis de desempenho zootécnico sem incluir o efeito de covariável.

Os efeitos dos níveis de fitase foram avaliados por meio de modelos de regressão. Dois modelos foram ajustados: modelo linear de primeiro grau e modelo quadrático, o critério de seleção dos modelos foi baseado na significância dos parâmetros e no valor do coeficiente de determinação.

Os efeitos de tratamentos sobre as variáveis dependentes foram verificados por meio da ANCOVA ou ANOVA. Comparações múltiplas entre as médias de tratamentos foram analisadas de acordo com o teste t-student ao nível de 5% de probabilidade. Quando detectada significância ($P < 0,05$) na ANCOVA ou ANOVA, a análise do efeito de grupo de tratamento foi feita pelo teste F para quatro contrastes ortogonais estabelecidos (CN vs NF; CP vs NF; CP vs CN_NF e CP_CN vs NF).

O critério para avaliar a qualidade de ajuste do modelo foi verificado pelo Critério de Informação de Akaike (AIC) em conjunto com a análise gráfica de aderência dos resíduos. A variável de escore de marmoreio foi comparada usando um teste da diferença entre as médias dos quadrados mínimos (lsmeans), através da estatística χ^2 .

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando os procedimentos do “General Linear Models” do *software* estatístico “SAS University Edition” (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Todos os dados serão apresentados como médias com erro padrão da média agrupado.

6 RESULTADOS

6.1 Desempenho zootécnico

Para o desempenho zootécnico o estudo não mostrou diferenças ($P > 0,05$) entre os tratamentos para as variáveis PCI, PCF, GPCD, CA e EA nas fases de crescimento I e II e nas fases de terminação I e II (Tabela 2).

Ao avaliar o período experimental total, nas fases de crescimento I + II os suínos alimentados com a dieta CN apresentaram, menor CRDM, tendo um consumo semelhante com os tratamentos CN+500, CN+1500 e CN+2000.

Na fase de terminação II (Tabela 2), houve efeito ($P = 0,008$) para CRDM, em que os animais alimentados com a dieta CN, CN+ 500 e CN+2000 menor consumo.

Tabela 2: Desempenho zootécnico de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio

Variáveis ¹	Dietas ²						EPM ³	P-Value ⁴
	CP	CN	CN+ 500	CN+ 1000	CN+ 1500	CN+ 2000		
Crescimento I (d 0 até 31)								
PCI (kg)	24,70	24,50	25,08	24,13	24,50	24,50	0,12	-
PCF (kg)	53,43	52,22	56,08	53,57	53,57	53,85	0,47	0,317
CRDM (kg)	1,73	1,68	1,72	1,72	1,74	1,74	0,03	0,998
GPCD (kg)	0,93	0,88	0,96	0,94	0,94	0,96	0,02	0,305
CA	1,86	1,85	1,78	1,87	1,86	1,80	0,02	0,631
EA (kg:kg)	54,2	54,46	55,09	53,58	52,26	55,55	0,62	0,662
Crescimento II (d 31 até 47)								
PCF (kg)	72,5	69	72,72	71,22	71,07	71,28	0,71	0,371
CRDM (kg)	2,77	2,19	2,61	2,64	2,53	2,52	0,06	0,205
GPCD (kg)	1,04	0,96	1,04	1,02	1,01	1,03	0,02	0,379
CA	2,18	2,03	2,19	2,24	2,17	2,15	0,03	0,341
EA (kg:kg)	45,98	49,31	45,95	44,93	46,03	46,64	0,58	0,373
Crescimento I + II (d 0 até 47)								
PCF (kg)	72,5	69	72,72	71,22	71,07	71,28	0,71	0,371
CRDM (kg)	1,97 ^{ab}	1,77 ^b	1,94 ^{ab}	2,02 ^a	1,91 ^{ab}	1,84 ^{ab}	0,03	0,035
GPCD (kg)	1,04	0,96	1,04	1,02	1,02	1,03	0,02	0,379
CA (kg)	1,89	1,86	1,86	1,89	1,89	1,87	0,02	0,874
EA (kg:kg)	52,83	52,56	53,58	51,76	52,94	53,44	0,43	0,898
Terminação I (d 47 até 69)								
PCF (kg)	100,64	96,93	102,9	101,28	100,22	99,22	0,91	0,592
CRDM (kg)	3,06	2,82	3,07	3,07	3,25	2,95	0,06	0,567
GPCD (kg)	1,28	1,27	1,27	1,37	1,33	1,27	0,02	0,660
CA (kg)	2,33	2,25	2,32	2,25	2,27	2,26	0,02	0,965
EA (kg:kg)	42,15	44,54	43,25	44,38	44,07	43,25	0,48	0,611
Terminação II (d 69 até 93)								
PCF (kg)	131,36	124,5	132,63	130,64	128,22	127,57	1,09	0,134
CRDM (kg)	5,25 ^a	4,58 ^b	5,16 ^a	5,22 ^a	5,14 ^{ab}	4,93 ^{ab}	0,07	0,008
GPCD (kg)	1,33	1,2	1,32	1,27	1,22	1,23	0,03	0,169
CA (kg)	3,97	3,99	4,09	4,15	4,12	4,02	0,06	0,879
EA (kg:kg)	25,39	25,22	24,62	24,31	24,55	24,99	0,37	0,899
Terminação I + II (d 47 até 93)								
CRDM (kg)	3,82	3,49	4,00	3,66	3,83	3,65	0,05	0,223
GPCD (kg)	1,31	1,23	1,34	1,32	1,27	1,25	0,02	0,257
CA (kg)	2,93	2,73	2,92	2,93	2,92	2,93	0,03	0,337
EA (kg:kg)	34,28	35,5	33,28	34,2	34,41	34,27	0,45	0,916
Período Total (d 0 até 93)								
CRDM (kg)	2,88	2,64	2,85	2,77	2,85	2,76	0,04	0,223
GPCD (kg)	1,15	1,09	1,08	1,17	1,1	1,17	0,02	0,303
CA (kg)	2,51	2,42	2,56	2,46	2,6	2,38	0,04	0,291
EA (kg:kg)	40,12	41,74	39,24	40,96	38,59	42,67	0,66	0,243

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si de acordo com teste t de Student ($P \leq 0,05$).

¹ PCI: peso corporal inicial; PCF: peso corporal final; CRDM: consumo de ração diário médio GPCD: ganho de peso corporal diário; CA: conversão alimentar; EA: eficiência alimentar.

² CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

³ EPM: Erro padrão da média;

⁴ P - value: Nível de significância.

6.2 Metabólitos sanguíneos

Não houve efeito de tratamento ($P > 0,05$) dos níveis de inclusão de fitase na dieta com redução de Ca, P e Na sobre os parâmetros bioquímicos sanguíneos em suínos nas fases de crescimento e terminação (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros bioquímicos de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio

Variáveis ¹	Dietas ²						EPM ³	P-Value ⁴
	CP	CN	CN+ 500	CN+ 1000	CN+ 1500	CN+ 2000		
Crescimento II								
Glicose (mg/dL)	97,86	104,87	94,60	97,26	101,53	108,37	1,51	0,075
Ureia (mg/dL)	18,97	18,58	16,93	16,78	18,33	19,34	0,45	0,489
ALT (U/L)	40,55	26,83	40,87	31,11	34,84	38,81	2,56	0,562
AST (U/L)	21,94	19,28	18,42	18,79	18,65	17,06	1,02	0,872
Proteínas totais (g/dL)	5,51	5,46	5,64	5,59	5,53	5,51	0,08	0,995
Albumina (g/dL)	3,21	3,04	3,04	3,03	3,09	2,91	0,04	0,452
Cálcio (mg/dL)	8,23	8,62	8,90	8,45	8,38	8,43	0,14	0,793
Fósforo (mg/dL)	7,70	7,13	7,29	7,09	7,34	7,61	0,12	0,638
Terminação II								
Glicose (mg/dL)	90,16	93,35	86,75	89,68	84,95	79,02	2,46	0,627
Ureia (mg/dL)	25,86	27,03	28,08	25,37	27,96	27,82	0,89	0,927
ALT (U/L)	21,45	20,72	17,78	20,47	21,98	19,84	0,75	0,721
AST (U/L)	37,5	34,84	39,07	37,5	41,43	35,24	1,62	0,863
Proteínas totais (g/dL)	5,43	5,28	5,14	4,91	5,35	5,00	0,09	0,566
Albumina (g/dL)	3,14	2,77	3,41	3,26	3,49	2,82	0,09	0,166
Cálcio (mg/dL)	9,74	9,72	9,26	9,31	9,78	9,52	0,16	0,918
Fosforo (mg/dL)	8,84	8,07	8,64	8,32	9,05	8,58	0,16	0,581

¹ALT: Alanina aminotransferase; AST: Aspartato aminotransferase;

²CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio.

³EPM: Erro padrão da média;

⁴P - value: Nível de significância.

6.3 Digestibilidade do trato total de nutrientes

6.3.1 Fase de crescimento

Na fase de crescimento (Tabela 4), observou-se que os tratamentos negativos resultaram em diferenças estatísticas significativas em relação ao tratamento CP, apresentando maiores coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (CDATMS), matéria orgânica (CDATMO), energia bruta (CDATTEB), proteína bruta (CDATTPB), cálcio (CDATTCA), matéria seca digestível (MSD).

Para o coeficiente de digestibilidade do fósforo (CDATTP) o tratamento CN apresentou o menor coeficiente, seguido do tratamento CP e CN+2000. Para matéria orgânica (MOD) obteve-se um menor coeficiente para o tratamento CN+2000, seguido do tratamento CP, tendo então seu melhor desempenho nos tratamentos CN+500, CN+1000 e CN+1500.

Em relação à energia digestível (ED) foram obtidos os melhores desempenhos com os tratamentos CN+1000 e CN+1500, seguido dos tratamentos CN+500, CN+2000 e CN. Para a proteína digestível (PD), o melhor desempenho foi obtido com o tratamento CN+1500 e CN+1000.

As análises de regressão revelaram efeito quadrático significativo ($P < 0,05$) para CDATTP, MOD, ED e PD em função dos níveis de fitase, com pontos ótimos estimados de 1.114, 665, 1.129 e 1.110 FTU/kg de ração, respectivamente.

Nos contrastes ortogonais, observaram-se diferenças estatísticas importantes entre os grupos CN vs NF, CP vs CN_NF e CP vs NF para as variáveis CDATTP, MOD, ED e PD, reforçando os efeitos positivos da suplementação de fitase.

6.3.2 Fase de terminação

Na fase de terminação (Tabela 5), também foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas ($P < 0,05$). O tratamento CP apresentou o maior coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDATMS), seguido pelos grupos com fitase — que mostraram desempenho semelhante entre si — e o menor valor foi registrado no CN+2000.

A digestibilidade da matéria orgânica (CDATMO) foi superior nos tratamentos CP e CN, enquanto os demais, com adição de fitase, apresentaram redução progressiva, conforme aumentava o nível da enzima, com CN+2000 sendo o menos eficiente. Quanto à proteína bruta (CDATTPB), não houve diferença estatística entre CN e os grupos com fitase, sendo que CP, CN e CN+1500 alcançaram os melhores índices.

Na digestibilidade da energia bruta (CDATEB), os valores diminuíram à medida que aumentavam os níveis de fitase. O tratamento CP teve o melhor desempenho, CN e CN+500 ficaram em nível intermediário e CN+2000 teve o pior resultado. Para o cálcio (CDATCA), os maiores coeficientes foram encontrados no CP, seguido por CN e CN+1500.

No caso do fósforo (CDATTP), os melhores resultados foram obtidos com os tratamentos CN+1000 a CN+2000, seguidos por CN+500, sendo o CN o de menor desempenho. As variáveis MSD e ED apresentaram seus maiores valores no CP e os menores no CN+2000.

A digestibilidade da matéria orgânica (MOD) foi mais eficiente nos grupos CP e CN+1500, com CN em seguida, e novamente o pior resultado ocorreu no CN+2000. Quanto à proteína digestível (PD), CP e CN lideraram os resultados, enquanto CN+1000 registrou o valor mais baixo.

As análises de regressão revelaram efeitos quadráticos significativos para CDATTP e ED, com níveis ótimos estimados em 1.312 e 1.988 FTU/kg, respectivamente. Os contrastes ortogonais também indicaram diferenças marcantes para CDATTP, ED e PD nos pares CN vs NF, CP vs CN_NF e CP vs NF, destacando, principalmente, o CDATTP, que apresentou aumentos consistentes com a inclusão da fitase.

Tabela 4: Digestibilidade aparente do trato total de suínos em crescimentos alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio

Variáveis ¹	Dietas ²						EPM ³	P-Value ⁴	Reg ⁵	P-Value ⁶			
	CP	CN	CN+500	CN+1000	CN+1500	CN+2000				CN vs NF	CP vs CN_NF	CP vs NF	CP_CN vs NF
CDATTMS	82,47 ^b	89,11 ^a	90,05 ^a	89,59 ^a	89,47 ^a	88,83 ^a	0,538	<,0001	0,404	0,086	0,334	0,198	0,056
CDATTMO	84,83 ^b	90,24 ^a	91,12 ^a	90,69 ^a	90,55 ^a	88,55 ^a	0,478	0,0003	0,079	0,065	0,274	0,151	0,037
CDATTEB	80,78 ^b	87,63 ^a	88,75 ^a	88,59 ^a	88,24 ^a	87,44 ^a	0,616	0,0004	0,315	0,092	0,504	0,321	0,086
CDATTPB	74,45 ^b	85,69 ^a	87,10 ^a	87,35 ^a	87,65 ^a	85,99 ^a	0,892	<,0001	0,121	0,034	0,460	0,249	0,037
CDATTCA	78,35 ^b	84,99 ^a	86,72 ^a	88,20 ^a	86,54 ^a	83,79 ^a	0,816	0,007	0,080	0,029	0,886	0,554	0,072
CDATTP	58,08 ^{ab}	53,20 ^c	82,19 ^a	77,89 ^a	75,91 ^a	67,83 ^{ab}	2,53	0,001	Q=0,002	0,213	0,002	0,004	0,217
MSD (g/kg)	81,88 ^b	88,66 ^a	89,70 ^a	89,28 ^a	89,06 ^a	88,44 ^a	0,553	<,0001	0,365	0,075	0,362	0,222	0,053
MOD (g/kg)	81,35 ^b	86,55 ^a	87,45 ^a	86,72 ^a	86,79 ^a	73,70 ^c	0,853	<,0001	Q=<,0001	<,0001	0,001	<,0001	<,0001
ED (kcal/kg)	3376,30 ^c	3571,26 ^b	3681,21 ^{ab}	3769,49 ^a	3748,08 ^a	3637,80 ^{ab}	27,63 ⁵	<,0001	Q=0,0010	0,006	0,195	0,478	0,173
PD (g/kg)	12,84 ^e	14,94 ^d	15,68 ^{bc}	16,28 ^{ab}	16,49 ^a	15,23 ^{cd}	0,208	<,0001	Q=<,0001	0,0001	0,199	0,672	0,018
Equações de Regressão ⁶								R ² (%)	Nível ótimo de fitase (FTU/kg de ração)				
CDATTP	56,63204 + 0,04506X - 0,00002021X ²							27,26	1.114				
MOD	85,56284 + 0,01042X - 0,00000783X ²							77,87	665				
ED	3564,58460 + 0,34723X - 0,00015376X ²							29,48	1.129				
PD	14,80350 + 0,00282X - 0,00000127X ²							53,82	1.110				

^{a, b, c, d} Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student (P < 0,05);

¹CDATTMS: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria seca; CDATTMO: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria orgânica; CDATTPB: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da proteína bruta; CDATTEB: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da energia bruta; CDATTCA: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total do cálcio; CDATTP: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total do fósforo; MSD: Matéria seca digestível; MOD: Matéria orgânica digestível; PD: Proteína digestível; ED: Energia digestível;

²CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio.

³EPM: Erro padrão da média;

⁴P-Value: Nível de significância;

⁵Análise de Regressão;

⁶P-Value: Nível de significância para os contrastes ortogonais; CN vs NF: Controle negativo vs Níveis de fitase; CP vs NF: Controle Positivo vs Níveis de fitase; CP vs CN_NF: Controle Positivo vs Controle negativo e Níveis de fitase; CP_CN vs NF: Controle Positivo e Negativo vs Níveis de fitase.

Tabela 5: Digestibilidade aparente do trato total de suínos em terminação alimentados com dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio

Variáveis ¹	Dietas ²						EPM ³	P-Value ⁴	Reg ⁵	P-Value ⁶			
	CP	CN	CN+500	CN+1000	CN+1500	CN+2000				CN vs NF	CP vs CN_NF	CP vs NF	CP_CN vs NF
CDATTMS	89,75 ^a	88,28 ^b	87,16 ^b	87,25 ^b	87,96 ^b	85,61 ^c	0,27	<,0001	0,381	0,489	0,159	0,213	0,716
CDATTMO	91,38 ^a	90,51 ^a	89,17 ^{bc}	89,09 ^{bc}	90,19 ^{ab}	87,99 ^c	0,25	0,0002	0,892	0,260	0,070	0,118	0,771
CDATTPB	83,45 ^a	82,28 ^{ab}	79,93 ^b	79,43 ^b	81,63 ^{ab}	79,39 ^b	0,49	0,066	0,352	0,187	0,222	0,349	0,799
CDATTEB	89,94 ^a	88,59 ^{ab}	86,97 ^{bc}	85,08 ^{de}	86,61 ^{cd}	83,59 ^e	0,41	<,0001	0,711	0,014	0,002	0,009	0,913
CDATTCA	82,75 ^a	80,70 ^{ab}	77,41 ^{bc}	72,38 ^d	81,38 ^{ab}	72,95 ^{cd}	0,89	<,0001	0,639	0,001	0,060	0,243	0,135
CDATTP	58,28 ^c	40,33 ^d	67,85 ^{bc}	80,74 ^a	70,21 ^{ab}	70,38 ^{ab}	2,49	<,0001	Q=<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,067
MSD (g/kg)	89,47 ^a	87,95 ^b	86,74 ^b	86,82 ^b	87,59 ^b	85,13 ^c	0,28	<,0001	0,418	0,459	0,146	0,201	0,722
MOD (g/kg)	88,41 ^a	87,47 ^{ab}	86,02 ^{cd}	86,87 ^{bc}	88,40 ^a	85,12 ^d	0,25	<,0001	0,194	0,809	0,308	0,342	0,646
ED (kcal/kg)	3.987,19 ^a	3.893,06 ^b	3.829,32 ^b	3.269,51 ^d	3.385,67 ^c	3.258,74 ^d	49,45	<,0001	Q=0,004	<,0001	<,0001	<,0001	0,116
PD (g/kg)	10,67 ^a	10,36 ^{ab}	10,25 ^{bc}	9,86 ^c	10,08 ^{bc}	10,00 ^{bc}	0,07	0,004	0,094	0,019	0,246	0,513	0,253
Equações de Regressão ⁶								R ² (%)	Nível ótimo de fitase (FTU/kg de ração)				
CDATTP	41,65331+ 0,05472X– 0,00002084X ²							59,13	1.312				
ED	3.957,60394 -0,69329X + 0,00017435X ²							77,69	1.988				

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student (P < 0,05);

¹CDATTMS: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria seca; CDATTMO: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria orgânica; CDATTPB: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da proteína bruta; CDATTEB: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da energia bruta; CDATTCA: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total do cálcio; CDATTP: Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total do fósforo; MSD: Matéria seca digestível; MOD: Matéria orgânica digestível; PD: Proteína digestível; ED: Energia digestível;

²CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio.

³EPM: Erro padrão da média;

⁴P-Value: Nível de significância;

⁵Análise de Regressão;

⁶P-Value: Nível de significância para os contrastes ortogonais; CN vs NF: Controle negativo vs Níveis de fitase; CP vs NF: Controle Positivo vs Níveis de fitase; CP vs CN_NF: Controle Positivo vs Controle negativo e Níveis de fitase; CP_CN vs NF: Controle Positivo e Negativo vs Níveis de fitase.

6.4 Características de carcaça e qualidade da carne

Para as variáveis de características de carcaça e qualidade de carne, foram obtidas diferenças ($P < 0,005$) para os atributos de temperatura II (24h pós abate) ($P = 0,005$), PLD ($P = 0,024$) e FC ($P = 0,041$).

A temperatura de 24 horas *pós mortem* apresentou um valor maior para o tratamento CN+2000 FTU, quando comparado aos demais tratamentos, os quais apresentaram valores semelhantes entre si.

Para a variável de PLD, nota-se que o tratamento CN+1000, CN+1500 e CN+2000 apresentaram os maiores valores, sendo que os tratamentos CN+1500 e CN+2000 foram semelhantes aos tratamentos CP, CN e CN+500. Ainda, o tratamento CP foi o tratamento com menor perda.

Em relação à FC, os animais do tratamento CP e CN+500 obtiveram valores mais altos (3,42 Kg/seg), indicando que a carne dos animais alimentados com o tratamento controle positivo possui maior dureza que os animais alimentados com os demais tratamentos.

Para as variáveis de característica quantitativa da carcaça e qualidade da carne (Tabela 6) não foi obtido nenhum efeito de tratamento ($P > 0,05$) entre os níveis de inclusão crescente da fitase em dieta com redução Ca, P e Na.

Tabela 6: Efeito da fitase concentrada em dietas com ou sem redução de cálcio, fósforo e sódio para suínos em crescimento-terminação sobre os atributos quantitativos da carcaça e qualidade de carne

Variáveis ¹	Dietas ²						EPM ³	P-Value ⁴
	CP	CN	CN+500	CN+1000	CN+1500	CN+2000		
pH_I	6,28	6,28	6,30	6,18	6,20	6,11	0,03	0,469
pH_II	5,70	5,68	5,68	5,62	5,70	5,70	0,03	0,956
Temp_I	10,59	9,56	10,07	9,99	9,61	10,62	0,24	0,753
Temp_II	1,61 ^b	1,68 ^b	1,55 ^b	1,61 ^b	1,66 ^b	2,03 ^a	0,04	0,005
PPG_II (%)	14,52	12,86	15,24	14,29	11,46	9,62	0,90	0,426
PPG (%)	6,74	5,20	6,59	4,77	6,30	6,01	0,28	0,275
PLD (%)	4,82 ^b	5,21 ^b	5,23 ^b	7,34 ^{ab}	8,59 ^a	7,25 ^{ab}	0,40	0,024
PLC (%)	26,27	24,70	25,54	24,40	28,56	22,83	1,03	0,704
FC (Kg/seg)	3,42 ^a	2,74 ^b	2,91 ^{ab}	2,41 ^b	2,59 ^b	2,51 ^b	0,10	0,041
Cor	2,29	2,43	2,50	2,00	2,43	2,00	0,13	0,809
Marm	1,57	1,57	1,00	1,33	1,57	1,43	0,08	0,281
luminosidade, L*	48,22	45,95	48,26	46,76	46,16	46,87	0,35	0,228
a*	5,88	5,50	5,88	5,77	5,41	5,73	0,16	0,944
b*	4,49	4,14	4,45	4,37	3,91	4,11	0,14	0,837
Croma	4,53	4,28	4,67	4,48	4,37	4,33	0,07	0,674
Tonalidade	37,38	33,87	37,00	37,17	35,84	33,95	0,73	0,562
Prof_Lombo (mm)	63,64	62,77	62,24	60,47	58,91	60,18	0,967	0,728
P-Carc (kg)	93,03	87,70	95,34	93,66	78,54	91,24	2,374	0,344
Es_Toucinho (mm)	19,85	18,20	19,48	19,83	17,30	19,66	0,552	0,802
Musc (%)	55,33	59,00	55,33	55,86	54,20	53,86	0,803	0,536
Carn_Mag (%)	56,40	56,92	55,82	55,89	55,46	55,63	0,351	0,894
Kg_car_mag (kg)	51,11	51,04	53,00	52,31	50,53	50,74	0,508	0,748
Ult_PL_Cres (mm)	3,37	3,88	3,61	3,48	3,56	3,82	0,093	0,615
Ult_ET_Cresc (mm)	0,98	0,94	0,98	0,97	0,89	0,95	0,016	0,550
Ult_PL_Term (mm)	4,84	4,72	5,15	4,84	4,72	4,99	0,069	0,467
Ult_ET_Term (mm)	1,44	1,44	1,44	1,51	1,46	1,40	0,046	0,993
AOL (cm ²)	49,58	48,81	51,24	51,65	51,92	47,64	0,623	0,248

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si de acordo com teste t de Student ($P \leq 0,05$).

¹ pH 4 h: potencial hidrogeniônico quatro horas após o abate; pH 24h: potencial hidrogeniônico 24 horas após o abate; Temp I: temperatura quatro horas após o abate; PPG: perda líquida por gotejamento; PLD: perda de líquido por descongelamento; PLC: perda de líquido por cocção; Minolta L*= indica o grau de luminosidade da carne (L* = 0 carne escura, L = 100 carne branca); Minolta a*= indica a coloração da carne, variando do vermelho ao verde (alto indica cor vermelha, baixo indica cor verde); Minolta b*= indica a coloração da carne, variando do amarelo ao azul (b* alto indica cor mais amarela, b* baixo indica cor mais azul); COR= escore subjetivo de coloração (método americano); MARM= escore subjetivo de marmoreio (método americano); FC: força de cisalhamento; Prof_Lombo: Profundidade de lombo; P_Carc: Peso de carcaça; ES_Toucinho: Espessura de toucinho; Musc:Músculo; Carn_Mag: Quantidade de carne magra; kg_car_mag: Kg de carne magra; Ult_PL_Cres: Ultrassom profundidade de lombo na fase de crescimento; Ult_ET_Cresc: Ultrassom espessura de toucinho na fase de crescimento; Ult_PL_Term: Ultrassom profundidade de lombo na fase de terminação; Ult_ET_Term: Ultrassom espessura de toucinho na fase de terminação; AOL: Área de olho de lombo;

²CP: ²CP: Controle positivo sem fitase e sem redução de cálcio, fósforo e sódio; CN: Controle negativo sem fitase e com redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+500: Controle negativo com adição de fitase 500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1000: Controle negativo com adição de fitase 1000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+1500: Controle negativo com adição de fitase 1500 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio; CN+2000: Controle negativo com adição de fitase 2000 FTU e redução de 22,73% cálcio, 48,39% fósforo e 20% sódio;

³EPM: Erro padrão da média;

⁴P - value: Nível de significância.

7 DISCUSSÃO

7.1 Desempenho zootécnico

A eficiência da adição de fitase varia de acordo com fatores como sua estrutura, idade e saúde do animal e composição da dieta. Em dietas formuladas à base de milho e farelo de soja com níveis crescentes de fitase e níveis reduzidos de P e Ca, melhoram o ganho de peso e o desempenho geral dos suínos em crescimento (DA SILVA et al., 2022).

A estrutura da enzima, a 6-fitase é considerada mais eficiente que a 3-fitase devido a sua maior resistência às condições do trato digestivo e melhor eficiência na hidrólise do fitato (DERSJANT-LI et al., 2020). Essa eficiência se dá pelo seu ponto inicial de hidrólise do anel de mio-inositol, por sua estabilidade em diferentes faixas de pH e pela resistência à degradação por proteases endógenas (DERSJANT-LI et al., 2015). Moita e Kim (2022) afirmam que a 6-fitase é mais eficaz que a 3-fitase, por disponibilizar uma maior faixa de benefícios, como maior liberação de fósforo, melhora na digestibilidade de nutrientes, redução do efeito antinutricional do fitato, desempenho zootécnico superior e maior estabilidade em diferentes faixas de pH.

Entretanto, o presente estudo mostrou que a suplementação de níveis crescentes de fitase (6-fitase) em dietas com reduções de Ca, P e Na não influenciou no desempenho zootécnico dos suínos nas fases de crescimento e terminação. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que o desempenho dos animais não depende apenas da inclusão de fitase, mas também de sua capacidade de aumentar a biodisponibilidade de P a partir da degradação do fitato e da quantidade de substrato disponíveis (DERSJANT-LI, et al., 2015).

No contexto da correlação positiva ente a adição de dietas com fitase e o desempenho de suínos, pesquisas como a de Shelton et al. (2005) demonstram resultados semelhantes, ao adicionarem diferentes níveis de fitase nas dietas, não foram obtidos efeitos sobre o desempenho dos animais quando comparado com as dietas de controle negativo e positivo. Esses resultados sugerem que a fitase pode não ter um grande impacto no desempenho animal nas condições testadas, pois durante a fase de terminação, os suínos apresentam uma taxa de deposição de tecido magro relativamente estável, o que pode explicar a ausência de ganhos adicionais no desempenho, o que pode acarretar em uma economia com o custo de ração, visto que foi restringido o uso de alguns ingredientes como o fosfato e calcário.

Em contrapartida, Da Silva et al. (2022) encontraram resultados divergentes à presente pesquisa, pois, ao trabalharem com suínos em fase de crescimento e terminação, apresentaram melhorias no ganho de peso e na conversão alimentar dos animais ao incluírem doses de fitase

na dieta dos animais. Isso ocorre porque, quando a fitase se liga aos grupos fosfatos, diminuem os fatores antinutricionais, o que dará a possibilidade do animal utilizar de uma melhor forma os nutrientes, melhorando sua conversão alimentar e, conseqüentemente, seu aumento de peso (MAGNAGO et al., 2015).

Além disso, na presente pesquisa, foram identificadas diferenças no consumo de ração diário médio em suínos em crescimento com a dieta CN, ou seja, sem fitase e com redução de 20% Ca, P e 50% Na, em comparação com aqueles alimentados com inclusão de fitase, demonstrando que a adição com fitase poderia aumentar o consumo. Esses resultados foram semelhantes aos de Magnago et al. (2015), que trabalharam com rações contendo 0,100% de fósforo disponível e adição de 300, 600 e 1200 FTU/kg de ração, os autores encontram um menor consumo de ração no tratamento sem fitase e que a partir da inclusão da enzima, independentemente do nível, pode-se observar aumento no consumo de ração de suínos. Consistente com o achado, Underwood e Suttle (1999) demonstraram, ainda, que deficiência de P pode causar uma redução no consumo de ração dos animais, então, ao incluir a fitase, há um aumento da biodisponibilidade do fósforo, prevenindo deficiências e promovendo um consumo alimentar adequado.

Madrid et al. (2013) demonstraram através da pesquisa, que a adição de fitase em dieta com baixo teor de P total consegue reverter a menor ingestão média diária de ração e peso corporal final produzidos pela diminuição de P total nas dietas de suínos em fase de crescimento. Dessa forma, a ação enzimática não apenas aumenta a disponibilidade de P, um mineral essencial para o crescimento ósseo e muscular, mas também melhora a absorção de outros minerais ligados ao fitato, como Ca, Mg e Zn (DE SOUZA; LIMA; LOPES, 2022).

7.2 Metabólitos sanguíneos

Os metabólitos sanguíneos são um importante indicador de saúde, refletindo mudanças no corpo devido a fatores internos e externos (LEFTER et al., 2021). Na pesquisa, estes parâmetros não foram influenciados para as variáveis sanguíneas, o que sugere que as dietas experimentais podem não ter um efeito significativo na saúde geral dos animais, como refletido pelos níveis metabólicos próximos aos referenciados para suínos em crescimento (FRIENDSHIP, HENRY; 1992, LEFTER et al., 2021).

A fitase pode influenciar a liberação de carboidratos ligados ao fitato ou impactar indiretamente a disponibilidade de energia pela melhora na digestibilidade dos nutrientes (DE SOUZA et al., 2022). No entanto, o aumento da glicose pode não ser suficientemente expressivo

para refletir em parâmetros de desempenho zootécnico como ganho de peso ou conversão alimentar, em função da manutenção do equilíbrio metabólico.

Os resultados não indicam estresse metabólico significativo ou desbalanceamento de outros parâmetros bioquímicos. Isso ocorre porque a glicemia é regulada por mecanismos hormonais que garantem seu aproveitamento adequado pelos tecidos (QAID; ABDELRAHMAN, 2016). Assim, não há impacto negativo no metabolismo, pois a insulina mantém a captação e o armazenamento de glicose, enquanto o fígado modula sua liberação conforme necessário, garantindo o equilíbrio homeostático do metabolismo energético (ALMEIDA et al., 2021). Dessa forma, a concentração acima da dose padrão atua de forma mais relevante na digestibilidade e no aproveitamento de nutrientes, enquanto os parâmetros sanguíneos, como glicose, permanecem dentro de faixas fisiológicas normais, refletindo a boa saúde geral dos animais.

Com relação à Ca e P sérico, demonstram que não houve deficiência desses minerais em nenhum dos tratamentos incluindo a adição de fitase, uma vez que os resultados permaneceram similares. No geral, a homeostase do Ca e P podem ser alterados quando os animais são submetidos a dietas com deficiência de P, conseqüentemente, ocorrerá uma série de respostas fisiológicas para tentar manter os níveis séricos dentro do ideal.

Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros bioquímicos analisados, diversos estudos prévios ajudam a compreender os possíveis efeitos esperados com o uso da fitase, como no estudo de Torrallardona et al. (2012), o qual mostrou que, em dietas com baixos teores de fósforo, a inclusão da enzima ajudou a normalizar os níveis séricos do mineral, evidenciando melhor aproveitamento da dieta. Klein et al. (2023) complementam esses achados ao identificar que a suplementação com fitase está associada ao aumento da concentração plasmática de mio-inositol, composto relacionado à regulação do metabolismo mineral.

7.3 Digestibilidade aparente do trato total de nutrientes

Os resultados obtidos reforçam que a inclusão de fitase, em níveis crescentes, impacta positivamente a digestibilidade, com reflexos mais expressivos em determinados nutrientes nas fases avaliadas, sendo semelhantes aos apresentados por Almeida, Sulabo e Stein (2013), mostrando que a fitase traz melhores resultados em dietas que contenham nutrientes como Ca e P reduzidos.

Os resultados obtidos neste estudo estão alinhados com evidências recentes da literatura (LAGOS; BEDFORD; STEIN, 2023; DA SILVA et al., 2022), que destacam a relevância de se manter um equilíbrio adequado entre a digestibilidade total do trato do Ca e a digestibilidade total do P nas dietas de suínos. Sendo de extrema importância, pois tanto o excesso quanto a deficiência desses minerais podem comprometer a utilização de outros nutrientes, afetando-os negativamente.

Estudos têm sugerido que a relação ideal entre a digestibilidade total padronizada de Ca e P deve se manter próxima de 2:1 para suínos, embora esse valor possa variar de acordo com a fase produtiva e a composição da dieta. Relações muito elevadas podem reduzir a absorção de fósforo, enquanto valores muito baixos podem comprometer a mineralização óssea. Nesse contexto, a adição de fitase em dietas com níveis reduzidos de Ca e P contribui para melhorar a disponibilidade desses minerais, auxiliando na manutenção dessa relação ideal, o que pode explicar os valores mais elevados de digestibilidade observados nesses tratamentos (WILLIAMS et al., 2023).

Além de atuar sob o P, a fitase também contribui para uma absorção mais eficiente de aminoácidos, como a lisina e proteínas. Com a incorporação de enzimas nas dietas, a energia ligada a moléculas de carboidratos, lipídios e proteínas previamente complexas é liberada, resultando em um aumento na quantidade de energia metabolizável disponível para os suínos. O que possibilita o uso mais eficaz dos nutrientes e uma melhor resposta às necessidades energéticas dos animais, assegurando um uso mais eficiente da energia dos alimentos (FERNANDES et al., 2019; DE SOUZA et al., 2022).

Na presente pesquisa, as variáveis de digestibilidade avaliadas com adição de fitase na concentração de 2.000 FTU/kg de ração não proporcionaram melhorias quando comparados aos demais níveis de inclusão, demonstrando que a alta concentração da fitase (> 1.500 FUT/kg) não geram os maiores benefícios da fitase, como a maior disponibilidade de nutrientes (ZHAI et al., 2023).

Dessa forma, considera-se que a alta concentração de fitase pode estar negativamente relacionada à digestibilidade dos nutrientes em suínos na fase de crescimento. Essa correlação negativa refere-se à possibilidade de que, em concentrações excessivas, a fitase possa diminuir a eficiência na liberação de nutrientes, como minerais, proteínas e energia. Isso ocorre porque, segundo Shirley e Edwards (2003), fatores como a composição da dieta, o pH intestinal desfavorável ou a saturação enzimática podem limitar a ação da fitase, reduzindo sua eficácia na quebra do fitato e comprometendo a digestibilidade dos nutrientes.

No contexto geral, a utilização de enzimas exógenas, como a fitase concentrada na alimentação de suínos e a evolução tecnológica na produção de alimentos tem possibilitado a indústria fazer uma melhor escolha e separação de microrganismos para a produção das enzimas (DA SILVA et al., 2019; DERSJANT-LI et al., 2020 ALMEIDA; SULABO; STEIN, 2013), proporcionando isolamento, proteção e melhor atividade enzimáticas em ambiente mais ácidos.

Essas mudanças são positivas e podem beneficiar a digestibilidade das dietas ao liberarem uma quantidade maior de nutrientes, como minerais e energia (ADEDOKUN et al., 2014), assim como os resultados deste estudo, sugerem valores altos da digestibilidade aparente do P e dos nutrientes como MO, PD e ED nos tratamentos com a adição da fitase.

7.4 Características de carcaça e qualidade da carne

A suplementação de fitase em dietas para suínos mostra efeitos variados sobre a características da carcaça e a qualidade da carne suína. Os efeitos da fitase sobre as características da carcaça podem ser atribuídos à sua capacidade de melhorar a utilização do fósforo a partir de ingredientes vegetais na alimentação. Ao quebrar o fitato e liberar o fósforo, a fitase aumenta a absorção de minerais e a mineralização óssea, o que pode influenciar positivamente a composição da carcaça e a integridade esquelética (SHELTON et al., 2004).

No entanto, a ausência de efeito significativo nas características da carcaça e nos parâmetros gerais de qualidade da carne pode estar relacionada ao fato de que a fitase atua predominantemente no metabolismo mineral, não afetando diretamente a composição ou estrutura muscular. Fatores como genética, composição da dieta e manejo pré-abate provavelmente exercem maior influência sobre esses atributos (LEBRET, 2008).

Ainda assim, parâmetros específicos como a perda de líquido por gotejamento podem estar indiretamente associados ao metabolismo mineral modulado pela fitase. A perda por gotejamento, frequentemente associada às propriedades físicas da carne, é influenciada pela capacidade de retenção de água e pelo conteúdo de gordura intramuscular (WATANABE et al., 2018).

Minerais como o cálcio desempenham um papel essencial na contração e relaxamento muscular durante o *rigor mortis*, sendo cruciais para o funcionamento adequado das proteínas musculares que ligam a água (WATANABE et al., 2018). Níveis adequados de cálcio favorecem a integridade dessas proteínas, reduzindo a perda hídrica pós-abate, enquanto a ingestão insuficiente de minerais, especialmente cálcio e fósforo pode comprometer o desenvolvimento muscular e a hidratação, elevando a perda por gotejamento (SORENSEN;

SHIGUETOMI-MEDINA; POULSEN, 2019). Além disso, o metabolismo mineral influencia a carga elétrica das proteínas da carne, e níveis inadequados de cálcio podem desestabilizar essas estruturas, reduzindo a capacidade de retenção de água (SORENSEN et al., 2019).

Portanto, embora a suplementação de fitase possa mitigar os efeitos negativos da redução do cálcio e fósforo dietéticos sobre as características da carcaça, sua influência direta sobre a qualidade da carne ainda parece ser limitada. O principal papel da enzima permanece sendo a melhora na utilização de nutrientes e no desenvolvimento esquelético, com efeitos secundários pontuais em atributos relacionados à qualidade tecnológica da carne.

8 CONCLUSÃO

Com base nos critérios avaliados neste estudo, conclui-se que a melhor concentração a ser adicionada à alimentação de suínos em fase de crescimento é de 1.100 FTU/kg de ração, no entanto, para a fase de terminação fica entre 1.500 FTU/kg de ração.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEDOKUN, S.A.; RAGLAND, D.; PLUMSTEAD, P. et al. The Efficacy of a New 6-Phytase Obtained from *Buttiauxella* Spp. Expressed in *Trichoderma Reesei* on Digestibility of Amino Acids, Energy, and Nutrients in Pigs Fed a Diet Based on Corn, Soybean Meal, Wheat Middlings, and Corn Distillers' Dried Grain with solubles. **Journal of Animal Science**, v.93, n.1, p.168–175, 2015.
- ALMEIDA, F.N.; SULABO, R.C.; STEIN, H.H. Effects of a novel bacterial phytase expressed in *Aspergillus Oryzae* on digestibility of calcium and phosphorus in diets fed to weanling or growing pigs. **Journal Animal Sci Biotechnology**, v.4, n.8, 2013. doi: <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-8>.
- ALMEIDA, J.; SILVA, D.; PEREIRA, G. et al. Regulação hormonal no metabolismo energético de não ruminantes em estado de jejum. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 28, p. 1–14, 2021. doi: 10.35172/rvz.2021.v28.517.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION – AMSA. **Meat evaluation handbook**. Savoy: 2001, p.83-116.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2023). **Instrução Normativa nº 211**, de 01 de março de 2023.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2006.
- BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. BIF Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs, v.7. **Beef Improvement Federation (BIF)**, 1996.
- BRIDI, A.M.; SILVA, C.A. **Métodos de Avaliação da Carcaça e da Carne suína**. Londrina: Midigraft, 97p., 2009.
- C.I.E. Compagnie Internationale de l'Eclairage. 1978. International Commission on Illumination, **Recommendations on Uniform Color Spaces**. Supplement nº 2 to CIE publication nº 15.2, Bureau central, Paris.
- DA SILVA, C.A.; CALLEGARI, M.A.; DIAS, C.P. et.al. Increasing doses of bacterial phytase (*Citrobacter braakii*) improves performance and carcass characteristics of pigs in growing and finishing phases. **Animals**, v.12, n.19, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/ani12192552>.
- DA SILVA, C.A.; CALLEGARI, M.A.; DIAS, C.P. et al. Increasing doses of phytase from *Citrobacter braakii* in diets with reduced inorganic phosphorus and calcium improve growth performance and lean meat of growing and finishing pigs. **Plos One**, v.14, n.5, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217490>.
- DE SOUZA, J.P.P.; DE LIMA, M.D.; LOPES, I.M.G. Enzimas exógenas na dieta de leitões desmamados. **Ciência Animal**, v. 32, n. 2, p. 68–84, 2022.

- DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H. et al. Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors, **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, n.5, p.878–896, 2015. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.6998>.
- DERSJANT-LI, Y.; VILLCA, B.; SEWALT, V. et al. Functionality of a next generation biosynthetic bacterial 6-phytase in enhancing phosphorus availability to weaned piglets fed a corn-soybean meal-based diet without added inorganic phosphate. **Animal Nutrition**, v.6, n.1, p.24-30, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.11.003>
- FERNANDES, J.I.M.; HORN, D.; RONCONI, E.J. et al. Effects of Phytase Superdosing on Digestibility and Bone Integrity of Broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v.28, n.2, p. 390–398, 2019. doi:<https://doi.org/10.3382/japr/pfz001>.
- FRIENDSHIP, R.M.; HENRY, S.C. Cardiovascular system, hematology, and clinical chemistry. In: LEMAN, A.D.; STRAW, B.E.; MENGELING, W.L.; D'ALLAIRE, S.; TAYLOR, D. J. **Diseases of swine**. 9. ed, 1992. p.3-11.
- KAVANAGH, S.; LYNCH, P.B.; O'MARA, F. et al. comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.89, p.49-58, 2001.
- KLEIN, N.; SARPONG, N.; MELZER, T. et al. Effect of dietary calcium concentration and exogenous phytase on inositol phosphate degradation, mineral digestibility, and gut microbiota in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.101, 2023. doi:<https://doi.org/10.1093/jas/skad254>.
- LAGOS, L.V., BEDFORD, M.R., STEIN, H.H. Amino acid and mineral digestibility, bone ash, and plasma inositol is increased by including microbial phytase in diets for growing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.14, n.152, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00953-x>.
- LEBRET, B. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. **Animal**, v.2, n.10, p.1548–1558, 2008. doi:<https://doi.org/10.1017/s1751731108002796>
- LEFTER, N.A; HABEANU, M.; GHEORGHE, A.; IDRICEANU, L. Performance and blood metabolites of growing pigs fed *Panicum Miliaceum* diet. **Archiva Zootechnica**, v.24, n.2, p.122-133, 2021. doi: 10.2478/azibna-2021-0018.
- MADRID, J.; MARTÍNEZ, S.; LÓPEZ, C.; HERNÁNDEZ, F. Effect of phytase on nutrient digestibility, mineral utilization and performance in growing pigs. **Livestock Science**, v.54, n.1–3, p.144-151, 2013. ISSN 1871-1413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.03.003>.
- MAGNAGO, J.G.P.; HAESEI, D.; KILL, J.L. et al. Níveis de fitase sobre o desempenho, parâmetros ósseos e bioquímicos de suínos alimentados com ração de origem vegetal sem inclusão de fosfato bicálcico. **Ciência Rural**, v.45, n.7, p.1286-1291, 2015. doi:<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140853>.

- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 3, de 17 de janeiro de 2000, aprova o regulamento técnico de métodos de insensibilização para abate humanitário de animais de açougue. **Diário Oficial da União. Brasília**, DF, seção 1, p.14, 2000.
- MOITA, V.H.C.; KIM, S.W. Nutritional and functional roles of phytase and xylanase enhancing the intestinal health and growth of nursery pigs and broiler chickens. **Animals**, v.12, n.23, p.3322, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/ani12233322>
- NRC, National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. **National Academies Press, Washington**, DC, 2012.
- QAID, M.M.; ABDELRAHMAN, M.M. Role of insulin and other related hormones in energy metabolism - A review. **Cogent Food & Agriculture**, v.2, n.1, 2016. doi:<https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1267691>.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: FUNEP, 262 p., 2016.
- SHELTON, J.L.; LEMIEUX, F.M.; SOUTHERN, L.L. et al. Effect of microbial phytase addition with or without the trace mineral premix in nursery, growing, and finishing pig diets. **Journal of Animal Science**, v.83, p.376-385, 2005. doi: <https://doi.org/10.2527/2005.832376x>
- SHELTON, J.L.; SOUTHERN, L.L.; BIDNER, T.D. et al. Effects of microbial phytase, low calcium and phosphorus, and removing the dietary trace mineral premix on carcass traits, pork quality, plasma metabolites, and tissue mineral content in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.82, n.9, p.2630-2639, 2004. doi: <https://doi.org/10.2527/2004.8292630x>
- SHIRLEY, R.B.; EDWARDS JUNIOR, J.A. Graded levels of phytase past industry standards improves broilers performance. **Poultry Science**, v.82, p.671-680, 2003. doi:<https://doi.org/10.1093/ps/82.4.671>.
- SORENSEN, K.U.; SHIGUETOMI-MEDINA, J.M.; POULSEN, H.D. Mineralisation of tubular bones is affected differently by low phosphorus supply in growing-finishing pigs. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.99, n.7, p.3628-3634, 2019. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.9583>
- TORRALLARDONA, D.; SALVADÓ, R.; BROŽ, J. The supplementation of low-p diets with microbial 6-phytase expressed in *aspergillus oryzae* increases p and ca digestibility in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.90, p.77-79, 2012. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.51702>.
- UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. Phosphorus. In: **The mineral nutrition of livestock**. 3.ed. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, 1999. p.-614.
- WATANABE, G.; MOTOYAMA, M.; NAKAJIMA, I. et al. Relationship between water-holding capacity and intramuscular fat content in japanese commercial pork loin. **Asian-**

Australasian Journal of Animal Sciences, v.31, n.6, p.914-918, 2018.
doi:<https://doi.org/10.5713/ajas.17.0640>

WILLIAMS, H.R.; TOKACH, M.D.; WOODWORTH, J.C. et al. Impact of dietary analyzed calcium to phosphorus ratios and standardized total tract digestible phosphorus to net energy ratios on growth performance, bone, and carcass characteristics of pigs. **Journal of Animal Science**, v.101, 2023. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skad168>.

ZHAI, H.; ZHANG, J.; WANG, Z. et al. Comparison of digestible and available phosphorus release values for a novel phytase determined with fecal phosphorus digestibility and bone mineralization in weaner pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.297, 2023. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2023.115580](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115580).

ANEXO I



*Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção*

Certificado Experimental no Uso de Animais de Produção em Pesquisa

Nº 01/2023 - CEUAP

Certificamos que a proposta intitulada **"Adição de fitase concentrada sobre o desempenho zootécnico, característica de carcaça e qualidade de carne de suínos nas fases de crescimento e terminação"**, registrada com o número **"Protocolo 045/2022"**, sob a responsabilidade de **"Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho"**, que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao Filo *Chordata*, Subfilo *Vertebrata* (exceto humanos), para fins de pesquisa científica (ou ensino) – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pelo COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO (CEUAP) DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ (UNIOESTE), em reunião de 15/12/2023.

Finalidade	Pesquisa Científica
Vigência da autorização	15/02/2023 a 15/07/2023
Espécie/linhagem/raça	Suína/ <i>Sus scrofa domesticus</i> /Mestiça/Landrace-Large White
Nº de animais	42
Peso/Idade	Média de 24 kg/70 dias
Sexo	Masculino
Origem	Crechário comercial

Marechal Cândido Rondon, 15/12/2023

Prof. Paulo Levi de Oliveira Carvalho
Coordenador do Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção - CEUAP
Portaria nº 3171-2021-GRE
Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon