

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

**PAULO EVARISTO RUPOLO**

**ADIÇÃO DA  $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA  
METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**2022**

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

**PAULO EVARISTO RUPOLO**

**ADIÇÃO DA  $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA  
METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS**

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

Coorientador: Prof. Dr. Jansller Luiz Genova

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**2022**

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

Rupolo, Paulo Evaristo  
ADIÇÃO DA  $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA  
METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS / Paulo Evaristo Rupolo;  
orientador Paulo Levi de Oliveira Carvalho; coorientador  
Jansller Luiz Genova. -- Marechal Cândido Rondon, 2022.  
97 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,  
2022.

1. Zootecnia. 2. Suínos. 3. Nutrição. 4. Enzimas. I.  
Carvalho, Paulo Levi de Oliveira, orient. II. Genova,  
Jansller Luiz, coorient. III. Título.

## **PAULO EVARISTO RUPOLO**

### **Adição de $\alpha$ -amilase em dietas com redução de energia metabolizável para suínos**

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

Orientador / Presidente – Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Coorientador – Prof. Dr. Jansller Luiz Genova  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Membro – Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cinthia Eyng  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Membro – Prof. Dr. Gabriel Cipriano Rocha  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Marechal Cândido Rondon, 06 de dezembro de 2022.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**

GOVERNO DO ESTADO

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

### DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, **Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho**, declaro como **ORIENTADOR** que presidi os trabalhos de defesa à distância, de forma síncrona e por videoconferência, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação do candidato **Paulo Evaristo Rupolo**, aluno de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, a apresentação e a arguição dos membros da Banca Examinadora, **formalizo como Orientador**, para fins de registro, por meio desta declaração, a decisão da Banca Examinadora de que o candidato foi considerado **APROVADO** na banca realizada em 06/12/2022, com o trabalho intitulado **"Adição de  $\alpha$ -amilase em dietas com redução de energia metabolizável para suínos"**.

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):

**Candidato aprovado, sem restrições, apenas sugestões dos membros para correção da dissertação.**

**Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira – ORIENTADOR/PRESIDENTE**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) / *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

*Modelo 2 – Para orientador(a) da Banca Examinadora de Programa de Pós-graduação da UNIOESTE*



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**

GOVERNO DO ESTADO

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

### DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE MESTRADO REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, **Prof. Dr. Jansller Luiz Genova**, declaro que **participei à distância, de forma síncrona e por videoconferência**, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação do candidato **Paulo Evaristo Rupolo**, aluno de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, **formalizo como COORIENTADOR**, para fins de registro, por meio desta declaração, minha decisão de que o candidato pode ser considerado **APROVADO** na banca realizada em 06/12/2022, com o trabalho intitulado "**Adição de  $\alpha$ -amilase em dietas com redução de energia metabolizável para suínos**".

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):

**Jansller Luiz Genova**  
**Professor - DZO / UFV**  
**Matr. 13203-9**

---

**Prof. Dr. Jansller Luiz Genova**  
UFV – Departamento de Zootecnia



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**

GOVERNO DO ESTADO

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

### DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE MESTRADO REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cinthia Eyng**, declaro que **participei à distância, de forma síncrona e por videoconferência**, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação do candidato **Paulo Evaristo Rupolo**, aluno de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, **formalizo como Membro**, para fins de registro, por meio desta declaração, minha decisão de que o candidato pode ser considerado **APROVADO** na banca realizada em 06/12/2022, com o trabalho intitulado "**Adição de  $\alpha$ -amilase em dietas com redução de energia metabolizável para suínos**".

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):

*Cinthia Eyng*

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cinthia Eyng**,  
Unioeste – *Campus* de Mal. Cândido Rondon  
Centro de Ciências Agrárias



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**  
GOVERNO DO ESTADO

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

### DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE MESTRADO REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, **Prof. Dr. Gabriel Cipriano Rocha**, declaro que **participei à distância, de forma síncrona e por videoconferência**, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação do candidato **Paulo Evaristo Rupolo**, aluno de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, **formalizo como Membro Externo**, para fins de registro, por meio desta declaração, minha decisão de que o candidato pode ser considerado **APROVADO** na banca realizada em 06/12/2022, com o trabalho intitulado "**Adição de  $\alpha$ -amilase em dietas com redução de energia metabolizável para suínos**".

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):

**Gabriel C  
Rocha**

Assinado de forma digital por  
Gabriel C Rocha  
DN: cn=Gabriel C Rocha,  
o=Universidade Federal de Viçosa,  
ou=UFV, email=gcrocha@ufv.br,  
c=BR  
Dados: 2023.02.07 20:03:43 -03'00'

**Prof. Dr. Gabriel Cipriano Rocha**  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)



## DEDICATÓRIA

*A Deus, meu protetor e meu guia,  
À minha família,  
Meus pais Luiz Carlos Rupolo e Marlene Schmitt Rupolo,  
Minha irmã Carla Rafaela Rupolo,  
Minha companheira Bruna Dreissing Emmel,*

*Aos meus professores,  
Por toda a dedicação em transferir o conhecimento,  
por ensinar, educar, orientar e formar...*

*Aos meus amigos,  
Minha família de coração...*

*Com infinita gratidão e amor dedico este trabalho...*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que permitiu esta conquista e a finalização de mais uma jornada. A quem recorri em todos os momentos difíceis, pedindo força, foco e sabedoria para finalizar este trabalho.

Aos meus pais Luiz e Marlene, vocês são meus exemplos e a minha segurança. A vocês sempre pude recorrer nos momentos de dificuldade, sempre me incentivaram e torceram por mim. Vocês me passaram os valores da vida e não tenho palavras que possam agradecer tudo o que fizeram por mim, obrigado por tudo!

À minha namorada, Bruna, pelo companheirismo, carinho, paciência e suporte em todos os momentos. Por sempre estar ao meu lado, me incentivando e me passando força para seguir em frente, muito obrigado!

À toda a minha família, em especial a minha irmã Carla, que mesmo longe, estava disposta a me ouvir e me incentivar em todos os momentos.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Levi de Oliveira Carvalho, exemplo de profissional a ser seguido. Que sempre me deu suporte quando necessário. Pela confiança e credibilidade durante todos os momentos trabalhados. Além de tudo, pela amizade e pelo profissionalismo.

À professora Silvana Teixeira Carvalho, por sua dedicação e amor a profissão. A quem pude recorrer com problemas pessoais ou profissionais e que sempre me deu suporte e incentivo para me tornar um profissional melhor.

Ao meu coorientador, Dr. Jansler Luiz Genova por todo suporte no desenvolvimento do trabalho. Você sempre esteve disposto a sanar dúvidas e a ajudar em todos os momentos necessários. Sou muito grato e tenho grande admiração por sua dedicação e profissionalismo!

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

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

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

Aos meus amigos que convivi e trabalhei durante o período de pós-graduação, por todo o apoio e momentos compartilhados, em especial: Liliana Bury de Azevedo, Cristine Regina

Gregory, Cristine Kaufmann, Renan Maltauro, Maiara Ananda Grando, Jonata Guesser, Amanda Gabriela Bickel.

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

À empresa Tectron fornecimento da enzima, por todo o suporte e financiamento da pesquisa.

Por último e não menos importante, a academia, professores, funcionários e todas as pessoas que estiveram envolvidas durante a graduação e no desenvolvimento do trabalho.

À todos que de maneira direta ou indireta contribuíram ou torceram por mim!

## **BIOGRAFIA**

PAULO EVARISTO RUPOLO, filho de Luiz Carlos Rupolo e Marlene Schmitt Rupolo, nasceu em Marechal Cândido Rondon – PR, em 05 de janeiro de 1998.

No ano de 2000 ingressou no Colégio Estadual Do Campo Margarida, concluindo o Ensino Fundamental e Ensino Médio.

Em março de 2015, ingressou na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Marechal Cândido Rondon – PR, cumprindo todas as exigências para obtenção do título de Zootecnista.

Em março de 2020, iniciou o curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Nível de Mestrado, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Marechal Cândido Rondon – PR, concentrando seus estudos na área de Produção e Nutrição de Não Ruminantes, cumprindo todas as exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia, submetendo-se aos exames finais de defesa de dissertação em agosto de 2022.

*“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores,  
para fazer melhor ainda!” (Sérgio Cortella)*

*“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica:  
a vontade.” (Albert Einstein)*

*“A vida é muito curta para ser pequena!” (Benjamin Disraeli)*

*“Gente que não tem dúvida, só é capaz de repetir.” (Sérgio Cortella)*

## ADIÇÃO DA $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS

**Resumo** – Um estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da adição da  $\alpha$ -amilase em dietas, com ou sem redução de energia metabolizável (EM), para suínos em crescimento-terminação sobre a digestibilidade aparente do trato total (DATT) dos nutrientes e energia aparente, balanço de N, desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos e atributos de carcaça e carne. No experimento I, 36 leitões machos inteiros ( $25,9 \pm 0,5$  kg PC) foram alocados em um delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos: (1) dieta controle (DC) sem  $\alpha$ -amilase e sem redução de EM, (2) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t e sem redução de EM (AM0), (3) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 50 kcal EM/kg (AM-50) e (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 100 kcal de EM/kg (AM-100), e 9 repetições. Os coeficientes de DATT (CDATT) da energia bruta (EB) e de metabolizabilidade da EB foram maiores ( $P < 0,05$ ) em suínos alimentados com  $\alpha$ -amilase comparado ao DC. O experimento II envolveu 42 suínos machos inteiros ( $25,8 \pm 0,2$  kg PC) designados em um DBC, com 6 tratamentos: (1) DC, (2) DC sem  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg (DC-50), (3) DC sem  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg (DC-100), (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t e sem redução de EM (AM0), (5) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 50 kcal de EM/kg (AM-50) e (6) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 100 kcal de EM/kg (AM-100), e 7 repetições. Os suínos em crescimento I do grupo AM tiveram ( $P < 0,05$ ) maior taxa de alimentação para ganho em comparação ao DC, diferindo aos resultados na fase de terminação I. Os suínos em terminação II no grupo DC tiveram ( $P < 0,10$ ) maior ganho de peso em comparação aos alimentados com AM. Os suínos em crescimento do grupo AM tiveram ( $P < 0,05$ ) maior PD em comparação ao DC, e maior ( $P < 0,10$ ) CDATTMS, MSD, MOD e ED do que o grupo DC na fase de terminação. Os animais do grupo AM mostraram ( $P < 0,05$ ) maior profundidade de lombo e de proteína bruta, mas menor valor em  $a^*$  e de matéria mineral na carne, comparados aos alimentados com DC. Em conclusão, a  $\alpha$ -amilase isolada melhora a DATT e sustenta o desempenho zootécnico em suínos alimentados com dietas reduzidas de EM, sem afetar negativamente as demais variáveis.

**Palavras-chave:** amilase exógena, balanço de N, desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, qualidade de carne, suínos

## **ADDITION OF $\alpha$ -AMYLASE IN DIETS WITH REDUCED METABOLIZABLE ENERGY FOR SWINE**

**Abstract** - A study was conducted to assess the effect of adding  $\alpha$ -amylase in diets with or without reduced metabolizable energy (ME) for growing-finishing pigs on the apparent total tract digestibility of nutrients and apparent energy (ADTT), nitrogen balance, zootechnical performance, blood metabolites and carcass and meat attributes. In Expt. I, 36 entire male piglets ( $25.9 \pm 0.5$  kg BW) were allocated to a randomized block design (RBD), with 4 treatments: (1) control diet (CD) without  $\alpha$ -amylase and without reduction of ME, (2) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t and without reduction of ME (AM0), (3) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with reduction of 50 kcal ME/kg (AM-50) and (4) CD + 100 g  $\alpha$ -amylase/t with reduction of 100 kcal of ME/kg (AM-100), and 9 repetitions. The DATT (ADCTT) coefficients of gross energy (GE) and of GE metabolizability were higher ( $P < 0.05$ ) in pigs fed  $\alpha$ -amylase compared to CD. Expt. II answered entire male piglets 42 pigs ( $25.8 \pm 0.2$  kg BW) allocated to a RBD, with 6 treatments: (1) CD, (2) CD without  $\alpha$ -amylase with 50 kcal ME reduction (CD-50), (3) CD without  $\alpha$ -amylase with reduction of 100 kcal of ME/kg (CD-100), (4) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t and without reduction of ME (AM0), (5) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with a reduction of 50 kcal of ME/kg (AM-50) and (6) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with a reduction of 100 kcal of ME/kg (AM-100), and 7 repetitions. The growing pigs I in the AM group had ( $P < 0.05$ ) higher feed-to-gain ratio compared to CD, differing from the results in termination phase I. weight compared to those fed with AM. The growing pigs in the AM group had ( $P < 0.05$ ) higher DP compared to CD, and higher ( $P < 0.10$ ) ADCTTMS, DDM, DOM and DE than the CD group in the finishing phase. Animals from the concentrated AM group, the smallest ( $P < 0.5$ ) of higher protein depth and lower  $a^*$  value protein fed mineral meat compared to those fed meat with CD. In conclusion,  $\alpha$ -amylase alone to a single definition and sustaining the performance in those fed diets compared to ME, without definition of set as other variables.

**Keywords:** exogenous amylase, N balance, zootechnical performance, nutrient digestibility, meat quality, swine

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a\* Componente verde-vermelho

AA - Aminoácidos

AGCC - Ácidos graxos de cadeia curta

AMD - Amido digestível

ANCOVA – Análise de covariância

ANOVA - Análise de variância

ALT - Alanina aminotransferase

AOL - Área de olho de lombo

AST - Aspartato aminotransferase

b\* - Componente amarelo-azul

F:G - Taxa de alimentação para ganho

CA - Conversão alimentar

CDA - Coeficiente de digestibilidade aparente

CDATT - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total

CDATTAM - Coeficiente de digestibilidade aparente do trato total do amido

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

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

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

CME - Complexo multienzimático

CMEB - Coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta

CRDM - Consumo de ração diário médio

DBC - Delineamento em blocos casualizados

DC - Dieta controle

DAI - Digestibilidade aparente ileal

DATT - Digestibilidade aparente do trato total

DFD- Escura, firme e seca

DNA - Ácido desoxirribonucleico

EA - Eficiência alimentar

EB - Energia bruta

ED - Energia digestível



EE - Extrato etéreo  
EL - Energia líquida  
EM - Energia metabolizável  
EPM - Erro padrão da média  
FC - Força de cisalhamento  
FI - Fator de indigestibilidade  
GPD - Ganho de peso diário  
HCL - Ácido clorídrico  
L\* - Luminosidade  
LD - Lisina digestível  
MS - Matéria seca  
MSD - Matéria seca digestível  
MM - Matéria mineral  
MOD - Matéria orgânica digestível  
N – Nitrogênio  
NUP - Nitrogênio ureico proteico  
PB - Proteína bruta  
PC - Peso corporal  
PCF - Peso corporal final  
PD - Proteína digestível  
pH - Potencial de hidrogênio  
PLC - Perda de líquido por cocção  
PLD - Perda de líquido por descongelamento  
PLG - Perda de líquido por gotejamento  
PL - Profundidade de lombo  
PNAs - Polissacarídeos não amiláceos  
PSE - Pálida, flácida e exsudativa  
RN - Rendimento Napole ou ácida  
TGI - Trato gastrintestinal

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	19
2.1 Uso de enzimas exógenas na alimentação de suínos.....	19
2.2 Visão geral das enzimas carboidrases e aplicações para suínos.....	21
2.3 Caracterização e relação entre o amido e a $\alpha$ -amilase.....	25
2.4 Os mecanismos chave para verificar os efeitos enzimáticos.....	29
2.5 Resultados experimentais com a suplementação de amilase para suínos.....	31
2.6 Referências .....	35
3. ADIÇÃO DA $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS .....	48
3.1 Introdução.....	50
3.2 Material e Métodos.....	52
3.3 Resultados.....	63
3.4. Discussão.....	73
3.5 Conclusões.....	82
3.6 Referências .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

Na suinocultura, alcançar a produtividade desejada envolve avanços tecnológicos, genéticos, sanitários, nutricionais e de bem-estar. Visto que a alimentação é o componente mais oneroso no setor produtivo, investigar estratégias nutricionais que tenham modo de ação efetivo na fisiologia digestiva, melhorando o aproveitamento dos nutrientes e o desempenho zootécnico torna-se essencial.

Com o propósito de favorecer o potencial digestivo e a eficiência do aproveitamento dos alimentos, a adição de enzimas exógenas em dietas de não ruminantes tem sido pesquisada (TEIXEIRA et al., 2005). No entanto, grande parte dos estudos com carboidrases avaliam o aditivo na forma de complexo multienzimático buscando resultados aditivos e sinérgicos. Mesmo que grande parte dos estudos com enzimas na alimentação de suínos manifestam efeitos positivos no aproveitamento nutricional, eles nem sempre refletem em ganhos no desempenho zootécnico (SWIATKIEWICZ et al., 2015). Dessa forma, tem-se necessidade de convalidar os mecanismos de ação das enzimas exógenas com âmbito individual bem como seus efeitos em dietas ajustadas com níveis energéticos reduzidos para suínos.

Nesse contexto, as enzimas exógenas podem melhorar o aproveitamento nutricional, minimizar a excreção de nutrientes e reduzir a variação da qualidade nutricional (RUIZ et al., 2008). Ainda, ganhos no desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, saúde intestinal, e redução de efeitos negativos dos fatores antinutricionais são relatados (YANG et al., 2017; CLARKE et al., 2018; KARUNARATNE; CLASSEN, 2019; SUN et al., 2019; CHEN et al., 2020; ZHONG et al., 2020; PETRY et al., 2020; DUARTE; SPARKS; KIM, 2021).

A hipótese desta pesquisa era de que a  $\alpha$ -amilase compensaria a redução energética na dieta por potencializar a capacidade digestiva, melhorando a digestibilidade dos nutrientes e o desempenho zootécnico dos suínos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento e terminação sobre a digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio, desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos e atributos da carne.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Uso de enzimas exógenas na alimentação de suínos

Uma variedade de produtos é pesquisada, atualmente, como alternativa para ganhos na produção animal, sejam relacionados à segurança alimentar, à substituição de antimicrobianos promotores de crescimento, buscando melhorar o desempenho zootécnico, saúde intestinal, bem-estar animal, qualidade da carne, aproveitamento dos nutrientes e redução dos custos de produção. Entre estes aditivos, encontram-se os fitogênicos, prebióticos, próbióticos, simbióticos, acidificantes e enzimas exógenas (THACKER, 2013; CHENG et al., 2014; HAN et al., 2017; DUARTE et al., 2019; CHEN et al., 2020; RESENDE et al., 2020; YANG; PARK; KIM, 2020; DAHMER; JONES, 2021; GENOVA et al., 2021).

A utilização das enzimas exógenas como aditivo alimentar na produção animal teve consideráveis avanços nos últimos anos em decorrência de três principais fatores, o crescimento no número de empresas, o aumento na fabricação e disponibilidade de produtos e aumento no número de pesquisas com sua utilização (SAKOMURA et al., 2014). A suplementação enzimática é uma solução alternativa para melhorar a digestibilidade da energia, da fibra dietética, o desempenho zootécnico, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental através de menor excreção de minerais (ARANDA-AGUIRRE et al., 2021).

Nessa mesma linha de raciocínio, Bedford (2000) reiterou que o principal efeito da utilização das carboidrases na alimentação de não ruminantes é reduzir a diferença entre amostras, ou seja, atribuir igualdade entre alimentos de menor com os de maior qualidade, ou ainda, permitir atingir as exigências nutricionais dos animais em dietas com menor concentração de nutrientes. O mesmo autor descreve que esses fatores podem ser alcançados por meio de um maior aproveitamento de nutrientes indisponíveis ou ligados à parede celular, disponibilizados pelas carboidrases. Além disso, existe a possibilidade da inclusão de diferentes tipos de matérias primas com variação na sua qualidade (PALOHEIMO; PIIRONEN; VEHMAANPERÄ, 2010).

A inclusão das enzimas nas dietas dos animais pode ser na forma isolada ou associada em duas ou mais carboidrases, buscando respostas aditivas ou sinérgicas (CLARKE et al., 2018; ZENG et al., 2018). De acordo com Paloheimo, Piironen e Vehmaanperä (2010), a suplementação das carboidrases associadas pode aumentar o valor energético de um dado

ingrediente, além de reduzir a matéria orgânica não digerida nas fezes, o que explicaria a tendência das pesquisas na utilização de complexos multienzimáticos (CME).

O maior aproveitamento dos nutrientes contidos nos alimentos utilizados na produção animal impacta diretamente na eficiência e na sustentabilidade da produção. Dessa forma, as razões para a suplementação das carboidrases na nutrição de suínos incluem a degradação de componentes resistentes a enzimas endógenas ou à potencialização da ação destas na degradação de nutrientes das dietas e melhorando o desempenho zootécnico (por exemplo,  $\alpha$ -amilase celulase, xilanase,  $\beta$ -glucanase,  $\beta$ -mananase,  $\alpha$ -galactosidase e pectinase). Resultados relevantes da suplementação individual ou em complexos das carboidrases supracitadas para suínos em crescimento e terminação são encontrados nos anexos A e B (CAMPBELL; BEDFORD; 1992; WANG et al., 2009; AO et al., 2011; JO et al., 2012; SILVA et al., 2013; HAN et al., 2017; CLARKE et al., 2018; ZENG et al., 2018; SUN et al., 2019; CHEN et al., 2020; KPOGO et al., 2021; DZIERVA, 2021).

Outras razões para a suplementação de carboidrases incluem reduzir a emissão de gases pelos suínos (CHEN et al., 2020; KPOGO et al., 2021), influenciar metabólitos sanguíneos (AO et al., 2011; JO et al., 2012), modificar a diversidade bacteriana no trato gastrointestinal (RECHARLA et al., 2019), influenciar a concentração de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), a expressão de genes transportadores de nutrientes e reguladores de apetite (CLARKE et al., 2018), atuar como alternativa aos antibióticos melhoradores de crescimento (CHENG et al., 2014), apresentar ação antioxidante (HAN et al., 2017), melhorar índices de eficiência econômica e atributos de carcaça (SILVA et al., 2013).

As principais preocupações na utilização de enzimas exógenas na alimentação animal, incluem a variabilidade no substrato entre as dietas e fatores de interação, podendo interferir nos resultados reais, anulando ou minimizando as ações enzimáticas. Dessa forma, para a utilização das enzimas suplementares é preciso levar em consideração a fase de produção, a composição da dieta, a fonte da enzima, o número de enzimas utilizadas e a dose destas (ARANDA-AGUIRRE et al., 2021).

Somado a isso, é preciso dar importância ao local de liberação e atuação das carboidrases exógenas, visto que existe o potencial de serem inativadas no estômago pela ação do pH baixo (SAKOMURA et al., 2014). Os processamentos mecânicos e térmicos industriais também podem influenciar na inativação das enzimas e para isso tem sido desenvolvido mecanismos de proteção, como a utilização de enzimas termotolerantes que contribuem com a resistência aos processos industriais e as enzimas proteolíticas do estômago (GOMES et al., 2007). O encapsulamento com substâncias permite maior resistência a fatores adversos,

estabilidade, viabilidade, além de contribuir para a liberação e ação em local específico do TGI (DE VOS et al., 2010; GENOVA et al., 2021).

Ademais, é sabido que a atividade catalítica das enzimas pode ser influenciada pela temperatura, pH e especificidade do substrato, portanto, elas devem resistir a esses fatores, ter estabilidade e capacidade de manutenção de sua atividade catalítica pelo TGI (OJHA; SINGH; SHRIVASTAVA, 2019). Para permitir isso, a modificação de cepas de microrganismos produtores de enzimas resistentes ou a busca por novas formas de encapsulamento são aspectos importantes a serem investigados (VELÁZQUEZ-DE LÚCIO et al., 2021).

Contudo, é normal encontrar trabalhos sem a influência das enzimas em variáveis metabólicas ou de produção, sendo que esta flutuação de resultados pode ser decorrente de uma gama de fatores, como o tipo dos ingredientes da dieta, a relação da quantidade de substrato específico, a forma de suplementação/incorporação da enzima com redução ou não de nutrientes da dieta, a proteção, a origem da enzima, as interações fisiológicas que ocorrem no animal como as ações catalíticas, a variação de pH, a umidade, a presença de coenzimas e inibidores de reação, a idade do animal e fatores secundários da criação (SAKOMURA et al., 2014; TORRES-PITARCH et al., 2018; BEDFORD; COWIESON, 2019).

A suplementação das enzimas em dietas de suínos é relatada em uma gama de estudos nesta revisão e sendo possível que novos estudos e métodos ainda serão desenvolvidos com intuito de comprovar os benefícios e os mecanismos de ação das enzimas exógenas de forma individual. Além disso, de acordo com Velázquez-De Lúcio et al. (2021), mesmo com a convalidação de muitos estudos com aditivos enzimáticos na alimentação animal, é necessário buscar novas ferramentas e enzimas que atuam em condições ambientais e substratos específicos permitindo maximizar a produtividade, reduzir custos e otimizar a eficiência de produção.

## 2.2 Visão geral das enzimas carboidrases e aplicações para suínos

As carboidrases são proteínas com função catalítica que aumentam a velocidade das reações químicas e proporcionam a diminuição no peso molecular de grandes polissacarídeos em moléculas menores (CAMPBELL; BEDFORD, 1992; ADEOLA; COWIESON, 2011; VELÁZQUEZ-DE LÚCIO et al., 2021) liberando oligossacarídeos, dissacarídeos e monossacarídeos (CAMPBELL; BEDFORD, 1992). De acordo com a INº 13, de 30 de novembro de 2004, alterada pela IN nº 44 de 15 de dezembro de 2015, as enzimas são aditivos

zootécnicos por possuírem objetivo de melhorar o desempenho dos animais de produção maximizando a hidrólise de nutrientes ingeridos nas dietas (MAPA, 2004).

Na nutrição animal, as carboidrases podem ser classificadas de acordo com o substrato de atuação, com ação em fibras ou em açúcares solúveis. A xilanase e a  $\beta$ -glucanase são as duas principais enzimas que atuam sobre as fibras na nutrição animal, além destas, as enzimas  $\beta$ -mananase, pectinase, celulase e  $\alpha$ -galactosidase também possuem importância. Enquanto que a  $\alpha$ -amilase é a principal para a degradação do amido (OJHA; SINGH; SHRIVASTAVA, 2019) e constitui um grupo de enzimas industriais que representa aproximadamente 25% das enzimas comercializadas (SINDHU; BINOD; PANDEY, 2017). Há diversas carboidrases utilizadas na alimentação animal com variadas fontes e funções (Tabela 1).

De forma geral, as carboidrases são moléculas que podem contribuir na redução de algumas limitações no aproveitamento dos alimentos pelos suínos, como a digestão de componentes da parede celular de vegetais, contribuindo na liberação de nutrientes inacessíveis na matriz celular como o amido, proteínas, lipídeos e minerais (CAMPBELL; BEDFORD, 1992; MENG; SLOMINSKI, 2005; NORTEY et al., 2007), principalmente, porque dietas com teores elevados de fibras e PNAs podem reduzir o aproveitamento de nutrientes e desempenho zootécnico em suínos (SORUNKE et al., 2021).

Ainda que os animais não ruminantes tenham alta eficiência na conversão de alimentos em seus produtos de degradação de menor peso molecular, eles excretam quantidades significativas de nutrientes não aproveitados nas fezes (KIARIE et al., 2021). Vale salientar que, ainda que os suínos possuam enzimas endógenas para hidrolisar os alimentos, eles são incapazes de produzir algumas dessas moléculas que atuam na hidrólise de fatores antinutricionais como os PNAs e fibras alimentares insolúveis e isso pode resultar no aumento da viscosidade do conteúdo dietético no lúmen do TGI e na redução da digestibilidade dos nutrientes, além de afetar a morfologia intestinal (LINDBERG, 2014; PASSOS et al., 2015).

Dessa forma, além da atenção nas fontes e propriedades dos ingredientes utilizados, o uso de técnicas associadas à sua utilização pode garantir os efeitos sinérgicos desejados, como a utilização das carboidrases exógenas  $\beta$ -glucanase,  $\beta$ -xilanase e  $\beta$ -mananase por proporcionar hidrólise da matriz de carboidratos complexos, aliviando efeitos negativos nos suínos e antinutritivos e hidrolisar ligações glicolíticas inacessíveis pelas enzimas endógenas (LI et al., 2004; KIM et al., 2008; KERR; SHURSON, 2013; KIM et al., 2016; CLARKE et al., 2018).

Tabela 1. Enzimas carboidrases utilizadas na alimentação animal, fonte e função

Enzima	Classificação	Organismo produtor	Substrato de hidrólise
$\alpha$ -amilase	Carboidrase	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Rhizopus spp.</i>	Amido
$\alpha$ -amilase maltogênica	Carboidrase	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>d-Bacillus stearothermophilus</i> .	Amido com produção de maltose
$\beta$ -amilase	Carboidrase	<i>Malte de cevada</i>	Amido com produção de maltose
Celulase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus niger</i> , <i>Mortierella</i>	Celulose
$\alpha$ -Galactosidase	Carboidrase	<i>vinaceae var Saccharomyces sp.</i>	Oligossacarídeos
$\beta$ -Glucanase	Carboidrase	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp</i>	$\beta$ -glucanos Produtos de degradação da celulose em glicose
$\beta$ -glucosidase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i>	degradação da celulose em glicose
Glucoamilase (amiloglucosidase)	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Rhizopus niveus</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> .	Amido com produção de glicose
Hemicelulase	Carboidrase	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Humicola sp.</i> , <i>Trichoderma sp.</i>	hemicelulose
Invertase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Saccharomyces sp</i>	Sacarose em glicose e frutose
Lactase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Candida pseudotropicalis</i> , <i>Kluyveromyces marxianis</i> .	Lactose em glicose e galactose
$\beta$ -mananase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Bacillus lentus</i> , <i>Trichoderma reesei</i> . <i>Aspergillus aculeatus</i> ,	$\beta$ -mananos
Pectinase	Carboidrase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> .	Pectina
Pululanase	Carboidrase	<i>Bacillus acidopullulytic</i> <i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> ,	Amido
Xilanase	Carboidrase	<i>Humicola sp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Trichoderma sp.</i>	Xilanos

Fonte: Adaptado de Munir e Maqsood (2013).

Os resultados benéficos do uso de enzimas são dependentes do tipo e do nível de substrato presente na dieta. Portanto, a utilização dessas enzimas deve ser baseada no tipo e na quantidade de um substrato específico para a sua atuação (KIM et al., 2016). Nesse contexto, destaca-se a importância das carboidrases para suínos jovens devido à capacidade digestiva não estar totalmente desenvolvida (LI et al., 2018) e para animais cujas dietas incluem altas concentrações de fibras que não podem ser aproveitadas pelos suínos (TSAI et al., 2017).



De acordo com Kiarie et al. (2021), a suplementação de enzimas exógenas alimentares comumente abrange cinco modos de ação: 1) hidrólise de ligações químicas específicas em alimentos que são insuficientemente degradados pelas enzimas endógenas dos animais (por exemplo, ácido fítico); 2) acessibilidade à matriz celular de polissacarídeos e eliminação do efeito de encapsulamento de nutrientes, disponibilizando amidos, aminoácidos e minerais; 3) minimização dos efeitos antinutricionais que estão presentes em muitos ingredientes (por exemplo, PNAs e ácido fítico); 4) aumento na solubilização de PNAs, aumentando a fermentação intestinal, melhorando o aproveitamento de energia; e 5) complementação da ação de enzimas endógenas produzidas pelos animais (por exemplo, amilase, protease, lipase). Ademais, estas ações enzimáticas digestivas (Figura 2) ocorrem, em sua maioria, na porção proximal do intestino (SAKOMURA et al., 2014; MARTENS et al., 2020).

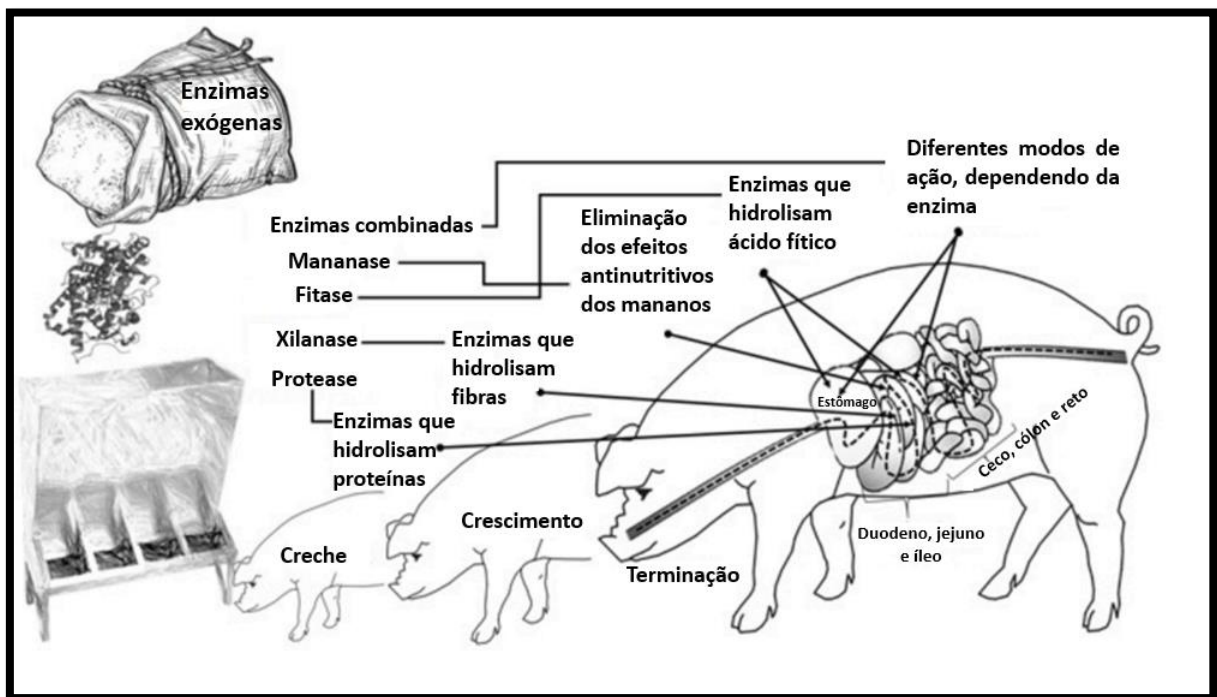


Figura 1. Local de ação das enzimas exógenas

Fonte: Adaptada de Aranda-Aguirre et al. (2021).

A suplementação de xilanase e  $\beta$ -glucanase de forma individual ou associadas possuem a capacidade de neutralizar os efeitos antinutritivos dos PNAs, melhorar a digestibilidade aparente dos nutrientes, o desempenho zootécnico e podem contribuir na saúde intestinal melhorando a integridade da barreira intestinal, a capacidade antioxidante, reduzindo a viscosidade da digesta e estabilizando a microbiota intestinal em suínos (PASSOS et al., 2015; YANG et al., 2017; CLARKE et al., 2018; TORRES-PITARCH et al., 2018;

KARUNARATNE; CLASSEN, 2019; PETRY et al., 2020; DUARTE; SPARKS; KIM, 2021). Torres-Pitarch et al. (2018) relataram que a variação de resultados com a utilização de xilanase e  $\beta$ -glucanase pode ser explicada pelo baixo aproveitamento dos produtos xilose e/ou glucanos liberados por essas enzimas, pela variação dos substratos nos cereais utilizados e variação nas práticas de manejo e saúde dos animais nos experimentos.

Nessa mesma linha de raciocínio, o uso da  $\beta$ -mananase em dietas animais é direcionado, comumente, para dois fatores, minimizar os efeitos antinutricionais e melhorar potencialmente a utilização dos nutrientes e o desempenho tendo como alvo as ligações  $\beta$ -1, 4-manosil dos  $\beta$ -mananos (KIM et al., 2016; KIARIE et al., 2021). Estudos desenvolvidos com a suplementação de  $\beta$ -mananase em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação confirmam efeitos positivos para desempenho zootécnico e digestibilidade dos nutrientes (KIM et al., 2016; TORRES-PITARCH et al., 2017; JEON et al., 2019; KIARIE et al., 2021).

Ainda, outras enzimas são utilizadas na alimentação animal, incluindo a  $\beta$ -galactosidase, celulase e pectinase para reduzir fatores antinutricionais (EMIOLA et al., 2009; ADEOLA; COWIESON, 2011; ZENG et al., 2018; ZHANG et al., 2017) e amilase para auxiliar a digestão do amido (DZIERVA, 2021). A associação de duas, três ou quatro enzimas diferentes em combinação tem sido alvo de estudos, incluindo fitase, celulase, xilanase,  $\beta$ -glucanase, protease, mananse,  $\alpha$ -galactosidase e  $\alpha$ -amilase, como exemplo disso, Torres-Pitarch et al. (2018) atribuíram resultados os positivos na digestibilidade dos nutrientes e na eficiência alimentar de suínos em crescimento e terminação, nos efeitos aditivos e na sinergia entre a ação das enzimas.

De fato, a utilização de carboidrases exógenas na alimentação de suínos vem se consolidando em decorrência do aumento de estudos com resultados consistentes. Em contrapartida, é difícil fazer uma recomendação generalista da associação e dose de enzimas, uma vez que se deve levar em consideração vários fatores influentes, como as características da dieta, que envolvem fonte das fibras, propriedades das fibras, quantidades de substrato para as enzimas utilizadas, ingredientes de interação, características das enzimas, que envolvem a origem, atividade, estabilidade, propriedades e características exógenas, que incluem fatores do ambiente e do animal. Dessa forma, torna-se necessário conhecer esses fatores e a interação entre eles para maximizar os resultados na produção animal.

### 2.3 Caracterização e relação entre o amido e a $\alpha$ -amilase

A biossíntese, estruturação, propriedades e degradação do amido tem sido assuntos muito estudados ao longo dos anos (TESTER; KARKALAS, 2004) por ter grande importância na produção animal e pelo fato do amido ser predominante no principal ingrediente utilizado em dietas de não ruminantes, podendo atingir mais de 66 % na composição do milho (ROSTAGNO et al., 2017). O amido é um polissacarídeo constituído de resíduos de glicose, agrupados na síntese de amilose (cadeias lineares de glicose com ligações  $\alpha$ -1,4 e pequenos número de ramificações com ligações  $\alpha$ -1,6) e amilopectina, molécula grande e altamente ramificada (cadeias lineares de glicose com ligações  $\alpha$ -1,4 e ramificações com ligações  $\alpha$ -1,6) que totalizam 98-99% do seu peso seco e podem conter até 2% de lipídeos integrais, 0,6% de proteínas e 0,4% de minerais (TESTER et al., 2004; DAMORADAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Vale ressaltar que, o amido pode ser classificado de acordo com sua estrutura ou de acordo com sua hidrólise enzimática. Dessa forma, Englyst, Kingman e Cummings (1992) classificaram em amido glicêmico (digestão rápida, dentro de 20 minutos), lentamente digerível (digerido entre 20 e 120 minutos) e resistente (AR) à digestão enzimática (não digerido em 120 minutos). Além disso, este polissacarídeo resistente pode ser dividido em (AR1) amido fisicamente inacessível, cuja estrutura física do alimento pode impedir a ação enzimática, (AR2) grânulos de amido resistente, podendo ser empacotado em grânulos intracelulares e (AR3) amido retrógrado, que se torna resistente à digestão quando resfriado após o processo de gelatinização (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992; YUE; WARING, 1998). O conhecimento da estrutura e formas resistentes do amido permitem melhor utilização dos alimentos nas dietas animais.

Apesar de ter uma homogeneidade em suas moléculas de ligação, o amido pode ser considerado uma substância heterogênea, visto que pode ter variação na relação de amilose e amilopectina, na solubilidade, na cristalinidade e na interação com os nutrientes do material vegetal de origem (TESTER; KARKALAS, 2004). É sabido que, em alguns alimentos, o amido pode ser envolto por uma membrana proteica hidrofóbica e que para ser eficientemente digerido é preciso ter a solubilização destas regiões, dissociação dos nutrientes aderidos, ter relação adequada de enzima/substrato e capacidade absorptiva adequada (COWIESON; VIEIRA; STEFANELLO, 2018).

A digestibilidade do amido é dependente de uma gama de fatores, as propriedades supracitadas do ingrediente caracterizam-se em uma delas, as características da dieta, a taxa de passagem e fatores associados ao próprio animal são fatores contribuintes e podem dificultar a taxa de digestão (MARTENS, 2020). Descrito isso, a relação entre as propriedades do amido e

a cinética da digestão, incluindo as enzimas envolvidas, deve ser estudada, visto que os valores nutricionais/energéticos nas dietas de suínos dependem da digestão do amido.

As enzimas  $\alpha$ -D-glicosídicas que realizam a digestão do amido podem ser classificadas em quatro tipos, as amilases responsáveis pela hidrólise (1 $\rightarrow$ 4), isoamilases responsáveis pela hidrólise (1 $\rightarrow$ 6), glicosiltransferases responsáveis pela transferência de ligações (1 $\rightarrow$ 4) e enzimas de ramificação (1 $\rightarrow$ 4 e 1 $\rightarrow$ 6) transferases (ROBYT, 2009).

A  $\alpha$ -amilase é uma enzima de extrema importância para a digestão do amido no TGI dos seres vivos (YOSHIDOMI et al., 2021; ZHANG et al., 2021). Além disso, tem ampla utilização na indústria farmacêutica, processamentos químicos, indústria alimentícia (fermentação de alimentos e bebidas), indústria têxtil, indústria de papel, entre outras funções (RAUL et al., 2014; SAINI; SAINI; DAHIYA et al., 2017; ZHANG et al., 2021). Em termos gerais, ela é uma hidrolase extracelular de função catalítica com capacidade de degradar o amido presente nos cereais liberando dextrinas e polímeros progressivamente menores (MACGREGOR; JANEČEK; SVENSSON, 2001; ROBYT, 2009; SINDHU; BINOD; PANDEY, 2017; OJHA; SINGH; SHRIVASTAVA, 2019).

Além disso, a  $\alpha$ -amilase é classificada como uma endoenzima por sua ação ter início no interior das ligações dos carboidratos. Nesse contexto, partir do momento que se forma um complexo específico enzima/substrato (E-S) podem existir três formas de ação, ação de cadeia única com reação em forma de zíper (de uma extremidade da cadeia a outra), ação multicadeia (hidrólise de apenas uma ligação a partir de uma conexão afetiva) e ação de ataque múltiplo (hidrólise de várias ligações aleatórias) antes da dissociação E-S (ROBYT; FRENCH, 1967).

Independentemente da origem, as  $\alpha$ -amilases liberam diferentes tamanhos de polissacarídeos e em variadas quantidades (Figura 2), resultando em quantias pequenas de glicose como produto inicial, sua formação é quase inalteradamente produto final da digestão (ROBYT, 2009). A hidrólise de ligações glicosídicas do amido a partir de  $\alpha$ -amilase de *Pseudomonas stutzeri* mostrou produção quase exclusivamente de maltotetraose (M4) e menor quantidade de maltose (M2), maltotriose (M3) e maltopentaose (M5) (ROBYT; ACKERMAN, 1971). Os produtos da hidrólise do amido por  $\alpha$ -amilases salivares ou pancreáticas são M1 (glicose), M2, M3, M4 e limite dextrinas (KAINUMA; FRENCH, 1969a; KAINUMA; FRENCH, 1969b; ROBYT, 2009; DU et al., 2018).

Além disso, as amilases incluem uma gama de origens e podem ser isoladas de diferentes classes biológicas como bactérias, fungos, plantas e animais mamíferos. Nos animais, as amilases endócrinas são produzidas nas glândulas salivares e no pâncreas (ROBYT, 2009; SAINI et al., 2017). Enquanto as isoladas de fontes bacterianas e fúngicas tem dominância em

sua utilização (SAINI et al., 2017). Entre as bactérias, o gênero *Bacillus spp.* é comumente utilizado, por exemplo *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. stearothermophilus*, *B. licheniformis*, *B. atropheus* (BUKHARI; REHMAN, 2015; GBENGA et al., 2017; SAINI; SAINI; DAHIYA, 2017; DU et al., 2018; KANNAN; KANAGARAJ, 2019; ABD-ELAZIZ et al., 2020), enquanto que fungos do gênero *Aspergillus spp* têm sido comumente empregados, por exemplo *A. niger*, *A. Awamori*, *A. oryzae* (SAINI; SAINI; DAHIYA, 2017; KARAM et al., 2017; MELNICHUK et al., 2020; DE FRANÇA; DA SILVA, 2021) além de *Saccharomyces cerevisiae* (LACINAN et al., 2020).

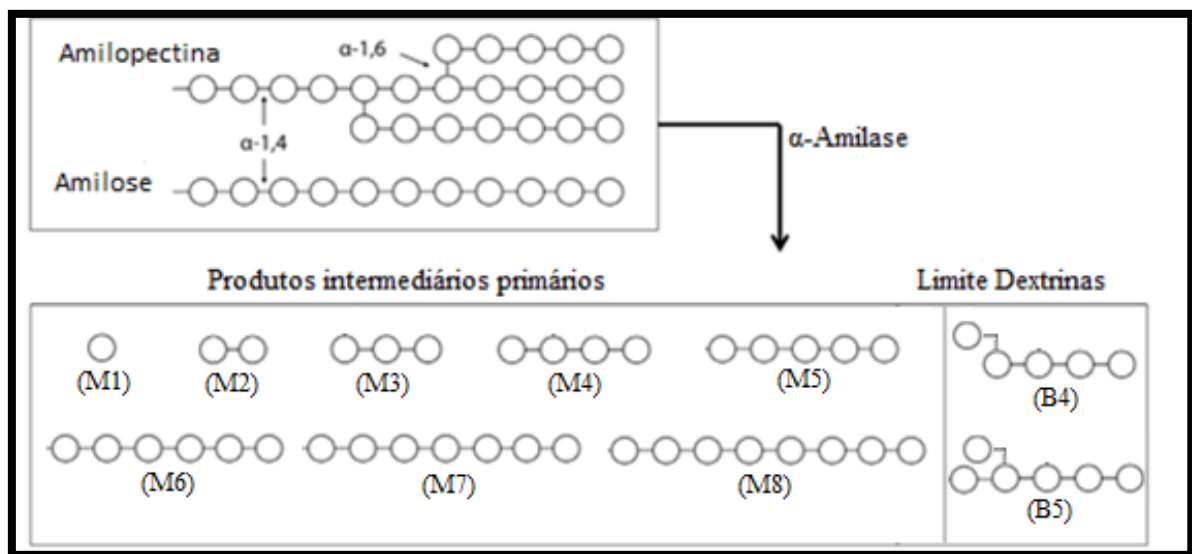


Figura 2. Produtos primários (M1: Glicose, M2: maltose, M3: maltotriose, M4: maltotetraose, M5: maltopentaose, M6: maltohexaose, M7: maltoheptaose, M8: maltooctaose, B4: 6<sup>3</sup>- $\alpha$ -glicosil maltotriose, B5: 6<sup>3</sup>- $\alpha$ -glicosil maltotetraose) formados pela ação de  $\alpha$ -amilases  
Fonte: Adaptada de Robyt (2009) e Martens et al. (2020).

Estudos recentes foram realizados para verificar as características de estabilidade ideal em pH e temperatura das  $\alpha$ -amilases. A maioria das enzimas tem atividade aumentada até atingir temperatura de 40°C e atua em pH na faixa de 4,0 a 6,0 (RAVINDRAN, 2013). Especificamente, a  $\alpha$ -amilase isolada de *B. amyloliquefaciens* apresentou atividade e estabilidade na faixa de pH 6,0-8,0 e temperatura de 50°C a 80°C (DU et al., 2018), com origem de *B. subtilis*, a faixa de pH e temperatura ótima é de 4,0-7,0 e 40-50° C (GBENGA et al., 2017), pH 5,0-9,0 e 25°C a 80°C (BUKHARI; REHMAN, 2015) ou pH 7,1 e 40°C (RAUL et al., 2014), quando isolada a partir de *B. licheniformis* apresentou pH ótimo em 7,0 e temperatura de 35°C. Abordado isso, essa enzima atua em pH neutro e temperaturas intermediárias, podendo

variar conforme sua origem, Saini, Saini e Dahiya (2017) relataram que a atividade ótima permanece na faixa de pH entre 4-11 e 30°C a 35°C.

A principal relação entre o amido e a  $\alpha$ -amilase é a digestão. Em suínos, a digestão do amido tem uma extensão que vai variar com fatores relacionados à própria  $\alpha$ -amilase e ao substrato, como a sua taxa de difusão nas moléculas de grãos, o tamanho das partículas a serem digeridas e o tempo de permanência dessas partículas no lúmen intestinal para serem digeridas. Além disso, a disponibilidade de energia a partir de grãos para os animais é dependente em grande parte de três fatores, a energia liberada pela digestão dos grãos, a disponibilidade desta energia pelo metabolismo (variação pela digestão por enzimas endógenas ou fermentação, por exemplo) e a quantidade consumida pelo próprio animal (BLACK et al., 2019).

Para finalizar, é sabido que as  $\alpha$ -amilases podem ter variações em suas características levando em consideração as suas propriedades, incluindo origem, especificidade e estabilidade nas faixas de pH e temperatura, conforme supracitado. Dessa forma, torna-se importante conhecer as propriedades da enzima e fatores de interação, além de reconhecer os variados mecanismos de ação e interpretar os efeitos de seu uso na alimentação dos animais.

#### 2.4 Os mecanismos chave para verificar os efeitos enzimáticos

O desempenho zootécnico é uma variável de muita importância, entretanto, seus resultados isolados não elucidam de maneira eficiente os mecanismos de ação das enzimas. Os efeitos das enzimas em animais podem ser validados de diferentes formas, por meio de avaliações de respostas de crescimento, utilização de nutrientes, metabólitos plasmáticos, atributos de carcaça, atividades microbianas, atividades enzimáticas, entre outras variáveis. Além disso, técnicas moleculares podem auxiliar na compreensão do papel das enzimas de maneira mais precisa, através da avaliação do DNA cromossomal da população bacteriana no TGI ou a expressão gênica de transportadores de nutrientes (ADEOLA; COWIESON, 2011).

Estudos realizados com outras espécies elucidam que a redução de EM em dietas experimentais pode ser uma estratégia para avaliar os efeitos das enzimas fornecidas. O objetivo da suplementação enzimática abrange a restauração do valor nutricional de dietas ajustadas com um nível energético reduzido, mediante o aumento da metabolizabilidade dos nutrientes (DE ANDRADE et al., 2021). Na maioria dos casos, os efeitos enzimáticos são visíveis quando as densidades de nutrientes dietéticos são marginais, uma vez que, quando um determinado nutriente se apresenta em excesso, as respostas da suplementação de um aditivo podem ser

mínimas (RAVINDRAN, 2013). Nesse contexto, estudos com redução da concentração energética e suplementação de  $\beta$ -mananase ou coquetel de carboidrases ( $\beta$ -galactosidase,  $\beta$ -mananase e  $\beta$ -manosidase) também foram desenvolvidos com suínos em crescimento (WANG et al., 2009; KIM et al., 2013).

Junto a isso, a avaliação da digestibilidade aparente ileal e total torna-se muito importante para comprovar a capacidade das carboidrases exógenas em melhorar o aproveitamento dos nutrientes. Nesse contexto, estas enzimas podem ser utilizadas com objetivo da complementação ou auxílio na ação das enzimas endógenas (KIARIE et al., 2021), um exemplo disso, é a suplementação de  $\alpha$ -amilase para leitões desmamados com objetivo de avaliar sua capacidade em melhorar os coeficientes de digestibilidade aparente da MS, PB, EE e ED (DZIERVA, 2021). Ademais, os modos de ação 2, 3 e 4 das enzimas (citados no tópico 2.2) também atribuem valor na digestibilidade dos nutrientes, uma vez que algumas carboidrases como xilanase, mananase e glucanase podem agir sobre substratos fibrosos e PNAs eliminando de fatores antinutritivos e melhorando a utilização dos nutrientes (LI et al., 2004; KIM et al., 2008; KERR; SHURSON, 2013; KIM et al., 2016; CLARKE et al., 2018).

A eliminação de efeitos antinutritivos associado à hidrólise de PNAs pelas carboidrases resulta no aumento da liberação de sacarídeos no TGI tendo potencial de estimular o crescimento de *Lactobacillus spp* e suprimir o crescimento de bactérias patogênicas como a *E. coli* (ANADÓN et al., 2019). Além disso, foi verificado que algumas carboidrases como a  $\beta$ -glucanase e  $\beta$ -xilanase podem contribuir para regulação da expressão de genes transportadores de nutrientes e reguladores de apetite, além de alterar a concentração de AGCC no intestino grosso de suínos (CLARKE et al., 2018). Esses fatores mostram como as carboidrases podem influenciar a saúde intestinal e o metabolismo do TGI.

Genova et al. (2020) relataram que a utilização dietética de enzimas com objetivo de melhorar a saúde intestinal e reduzir índice de diarreia em leitões, ainda é pouco estudada e necessita mais informações. Vale ressaltar que as propriedades funcionais das dietas e dos aditivos alimentares utilizados devem ter papel fundamental, pois a dieta tem a capacidade de alterar as funções imunológicas e a carga microbiana no TGI (CELI et al., 2017). Alguns estudos com suínos expõem a relação entre as carboidrases e as variáveis de saúde intestinal e a funcionalidade do TGI, como a composição da microbiota, atividade digestiva enzimática, ocorrência de diarreia, concentração de AGCC, viscosidade e pH da digesta e emissão de gases intestinais (YI et al., 2013; KIM et al., 2013; ZHANG et al., 2014; CLARKE et al., 2018; YIN; KIM, 2019; RECHARLA et al., 2019; CHEN et al., 2020).

Ademais, o perfil bioquímico sanguíneo atua como um indicador do estado clínico, metabólico e produtivo de um animal, ele apresenta respostas dos processos adaptativos do organismo, do metabolismo energético, proteico e mineral, além de revelar se o funcionamento hepático, renal, pancreático, ósseo e muscular está adequado. Porém, vale ressaltar que a interpretação do perfil bioquímico pode ser algo complexo devido a fatores como raça, idade, estresse, dieta, nível de produção, manejo, clima e estado fisiológico (GONZÁLES; DA SILVA, 2017). Alguns estudos com suínos mostraram influência das carboidrases sobre as concentrações de glicose e NUP no sangue (JO et al., 2012; KIM et al., 2016).

Vale ressaltar que a composição da dieta pode ter capacidade de influenciar a qualidade de carne por meio de alterações específicas como a modificação na deposição de gordura, marmoreio, perfil de ácidos graxos, deposição de nutrientes específicos e alterações bioquímicas (BERTOL, 2019). Dessa forma, as características da carne podem sofrer influências conforme o tipo e a quantidade dos nutrientes fornecidos (MELO et al., 2014). Nesse contexto, as características da carne de suínos podem estar interligadas com outras variáveis avaliadas como por exemplo o desempenho zootécnico (SILVA et al., 2013). Alguns estudos com o uso de carboidrases associadas à qualidade de carne de suínos foram desenvolvidos (WANG et al., 2009; AO et al., 2011; SILVA et al., 2013) e mostraram efeito sobre a redução na espessura de toucinho (WANG et al., 2009; BALASUBRAMANIAN et al., 2020).

De acordo com Cross et al. (2020), o monitoramento do comportamento alimentar dos animais permite um melhor entendimento dos fatores que influenciam o consumo de ração. Além disso, o autor relata que uma vez que o consumo de ração pode sofrer interferência da raça, sexo, ambiência e estresse. Descrito isso, sabe-se que estudos com suínos incluem observações que envolvem postura, comportamentos exploratórios e alimentares (SOUZA DA SILVA et al., 2014). Embora existam muitos estudos com carboidrases relatando sua influência sobre uma gama de variáveis já explanadas nesta revisão, pouco se sabe em relação a seus efeitos sobre o comportamento de suínos.

O papel das carboidrases alimentares e suas ações foram expostas em diversos estudos, e desenvolvimentos futuros nesta linha de pesquisa podem incluir a avaliação individual da amilase envolvendo as variáveis supracitadas, uma vez que a maioria dos estudos envolvem a sua utilização na forma de CME.

## 2.5 Resultados experimentais com a suplementação de amilase para suínos



Aranda-Aguirre et al. (2021) realizaram uma revisão sistemática com a utilização de enzimas exógenas na alimentação de suínos nas fases de creche, crescimento e terminação utilizando 227 dietas individuais e 46 estudos. Os autores verificaram que, dentre as carboidrases, as combinações de enzimas exógenas em dietas são as mais e relatadas em todas as categorias de produção e quando utilizadas na forma individual, as mananases são comumente usadas na fase de crescimento e as xilanases em todos os estágios de produção. A utilização da amilase, não foi verificada de forma individual neste estudo, porém, sua utilização é comum em combinação com outras enzimas na forma de CME.

Rodrigues et al. (2002) conduziram dois experimentos com a finalidade de verificar o efeito da suplementação de um CME (xilanase, amilase,  $\beta$ -glucanase e pectinase) sobre a digestibilidade de nutrientes (doze suínos,  $43,3 \pm 4,10$  kg) e desempenho zootécnico (trinta e dois suínos,  $30 \text{ kg} \pm 0,96$ ) submetidos a rações formuladas com milho ou sorgo. O CME melhorou a digestibilidade dos nutrientes e os valores energéticos, independentemente do alimento energético utilizado e melhorou o desempenho dos suínos que receberam as rações formuladas à base de milho.

Kim et al. (2004) conduziram três estudos com objetivo de avaliar a capacidade de dois CME ( $\alpha$ -glucanase, xilanase, amilase, pectinase e protease e  $\beta$ -glucanase, xilanase e amilase) em melhorar o desempenho zootécnico, morfologia intestinal e pH do TGI de leitões desmamados até o crescimento ( $5,36 \pm 0,11$  a  $50,91 \pm 0,79$ ) e a digestibilidade ileal ou total da energia e nutrientes, em suínos em fase de crescimento (PCI,  $25,78 \pm 0,55$  ou  $31,92 \pm 0,37$ ), contudo, os autores não encontraram influência do CME sobre as variáveis avaliadas.

Ruiz et al. (2008) avaliaram a suplementação enzimática (amilase, pentosanase, celulase, protease e  $\alpha$ -galactosidase) em rações à base de milho e farelo de soja para suínos na fase de crescimento e terminação (50 a 151 dias de idade). No entanto, a suplementação enzimática não promoveu a digestibilidade dos nutrientes, o desempenho zootécnico dos animais e não teve eficácia na redução da excreção de resíduos pelas fezes.

Jo et al. (2012) conduziram dois experimentos para avaliar a suplementação de um CME na alimentação de suínos em crescimento sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, metabólitos sanguíneos, concentração de AGCC e N-amônia fecal. No Exp.1 utilizando 0,05% de  $\beta$ -mananase (M),  $\alpha$ -amilase +  $\beta$ -mananase (AM),  $\beta$ -mananase + protease (MPr) ou  $\alpha$ -amilase +  $\beta$ -mananase + protease (AMP) na alimentação de suínos de  $55,6 \pm 0,9$  kg, os autores verificaram resultados positivos no GPD e na EA para os suínos que receberam os tratamentos AM e AMP. No Exp. 2 foram utilizadas uma dieta simples e uma dieta complexa, com ou sem a suplementação de 0,05% do complexo enzimático ( $\alpha$ -amilase +  $\beta$ -

mananase + protease) na alimentação de suínos de  $56,9 \pm 1,0$  kg, de forma semelhante, foram observados resultados positivos para GPD, EA, CDAMS, CDAEB, CDAPB e maior concentração NUP sanguíneo para os suínos alimentados com as enzimas.

Silva et al. (2013) realizaram um estudo para avaliar o uso do farelo de germen de milho desengordurado associado a um CME (pectinase, protease, fitase, glucanase, xilanase, celulase e amilase) na dieta de suínos em crescimento e terminação ( $41,14 \pm 2,95$  a  $98,15 \pm 7,11$  kg) sobre o desempenho, a digestibilidade, as características de carcaça, a qualidade da carne e a eficiência econômica. De acordo com os resultados, houve melhora no GPD e na eficiência econômica, sem comprometer as características de carcaça e de qualidade da carne.

Com objetivo de determinar os efeitos da suplementação individual ou a combinação de fitase e CME de carboidrases (galactanase, xilanase, mananase, amilase e celulase), Zeng et al. (2018) realizaram um estudo com suínos em crescimento ( $18,12 \pm 0,74$  kg) alimentados com dietas com ou sem a inclusão do farelo de trigo e avaliaram a digestibilidade ileal ou total da energia e dos nutrientes. A suplementação das carboidrases melhoram a digestibilidade aparente ileal dos AA, MS, energia, PB, manose, galactose, glicose, arabinose, xilose, ácido urônico, PNAs solúveis, insolúveis, total e nos CDATTMS e CDATTPB. Além disso, foram verificados efeitos positivos na digestibilidade dos nutrientes com a associação do CME de carboidrases com a fitase.

Kpogo et al. (2021) conduziram um estudo com suínos em crescimento ( $60,20$  a  $119,78$  kg) para avaliar dietas a base de milho com níveis de inclusão de trigo associadas a adição de CME de carboidrases (amilase, celulase, glucanase, xilanase e atividades invertase) sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes ou emissão de gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ). Os suínos alimentados com o CME de carboidrases apresentaram redução nos CDAMS, CDAEB, ED (Mcal/kg), EL (Mcal/kg), sem influenciar o desempenho zootécnico dos animais ou a emissão de gases.

Nery et al. (2000) realizaram três experimentos para estudar o desempenho e a digestibilidade dos nutrientes e determinar os níveis de enzimas endógenas em leitões (9 a 30 kg) com suplementação de amilase, lipase, protease ou CME (amilase + lipase + protease). Os tratamentos com a inclusão da amilase não tiveram influência sobre o desempenho zootécnico e as atividades enzimáticas (amilase, lipase e tripsina), entretanto houve aumento no CDAPB.

Com objetivo de verificar se a suplementação da amilase tem influência sobre o desempenho zootécnico e a digestibilidade dos nutrientes em leitões de 6 a 24 kg, Dzierva (2021) avaliou dois diâmetros geométricos médios das partículas da ração e adição ou não de

133 g/ton de  $\alpha$ -amilase. De acordo com os resultados, houve melhora no GPD e no CRDM, reduzindo a CA, além de aumentar os CDA da MS, PB, EE e ED.

De fato, existem diferenças quanto ao tipo de enzima utilizada, a forma (individual ou em combinação) e as taxas de inclusão das enzimas, a extensão na redução na densidade de nutrientes e na variação da composição dos ingredientes utilizados nas dietas (ADEOLA; COWIESON, 2011).

Nesse contexto, este trabalho oportuniza uma abordagem sobre a suplementação individual da  $\alpha$ -amilase para suínos, uma vez que ainda são escassos estudos que relacionem os mecanismos de ação desta enzima no organismo de suínos. Grande parte dos estudos aqui relatados mostram o potencial das carboidrases associadas sobre o desempenho zootécnico e digestibilidade dos nutrientes se tornando difícil a elucidação dos mecanismos de ação de uma enzima individual de forma precisa sobre as demais variáveis supracitadas. Dessa forma, a utilização individual da  $\alpha$ -amilase e das demais enzimas exógenas necessitam de maiores investigações.

## 2.6 Referências

- ABD-ELAZIZ, A.M.; KARAM, E.A.; GHANEM, M.M.; MOHARAM, M.E.; KANSOH, A.L. Production of a novel  $\alpha$ -amylase by *Bacillus atrophaeus* NRC1 isolated from honey: Purification and characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.148, p.292-301, 2020.
- ADEOLA, O.; COWIESON, A.J. BOARD-INVITED REVIEW: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non ruminant animal production. **Journal of Animal Science**, v.89, n.10, p.3189–3218, 2011.
- ANADÓN, A.; ARES, I.; MARTÍNEZ-LARRAÑAGA, M.R.; MARTÍNEZ, M.A. Enzymes in Feed and Animal Health. In. Gupta, R.C.; Srivastava, A.; Lall, R. **Nutraceuticals in Veterinary Medicine**. Springer: Cham, p.303-313, 2019.
- AO, X.; ZHOU, T. X.; MENG, Q.W.; LEE, J.H.; JANG, H.D.; CHO, J.H.; KIM, I.H. Effects of a carbohydrase cocktail supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, blood profiles and meat quality in finishing pigs fed palm kernel meal. **Livestock Science**, v.137, n.1-3, p.238–243, 2011.
- ARANDA-AGUIRRE, E.; ROBLES-JIMENEZ, L.E.; OSORIO-AVALOS, J.; VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; GONZALEZ-RONQUILLO, M. A systematic-review on the role of exogenous enzymes on the productive performance at weaning, growing and finishing in pigs. **Veterinary and Animal Science**, v.14, p.100195, 2021.
- BALASUBRAMANIAN, B.; PARK, J.H.; SHANMUGAM, S.; KIM, I.H. Influences of Enzyme Blend Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Fecal Microbiota and Meat-Quality in Grower-Finisher Pigs. **Animals**, v.10, n.3, p.386, 2020.
- BEDFORD, M.R.; COWIESON, A.J. Matrix values for exogenous enzymes and their application in the real world. **Journal of Applied Poultry Research**. v.29, n.1, p.15-22, 2019.
- BEDFORD, M.R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition — their current value and future benefits. **Animal Feed Science and Technology**, v.86, n.1-2, p.1–13, 2000.
- BERTOL, T.M. **Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína**. Brasília, DF: Embrapa Suínos e Aves, 300 p., 2019.

- BLACK, J.L.; RATANPAUL, V.; WILLIAMS, B.A.; DIFFEY, S.; GIDLEY, M.J. Variability in cereal grain composition and nutritional value: the importance of fibre. In. GONZÁLEZ-ORTIZ, G.; BEDFORD, M.R.; BACH KNUDSEN, K.E.; COURTIN, C.M.; CLASSEN, H.L. **The value of fibre: Engaging the second brain for animal nutrition**, Wageningen Academic Publishers, p.47-59, 2019.
- BUKHARI, D.A.; REHMAN, A. Purification and Characterization of  $\alpha$ -Amylase from *Bacillus subtilis* Isolated from Local Environment. **Pakistan Journal of Zoology**, v.47, n.4, p.905-911, 2015.
- CAMPBELL, G.L.; BEDFORD, M.R. Enzyme applications for monogastric feeds: A review. **Canadian journal of animal science**, v.72, n.3, p.449-466, 1992.
- CELI, P.; COWIESON, A.J.; FRU-NJI, F.; STEINERT, R.E.; KLUENTER, A.M.; VERLHAC, V. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: new opportunities for sustainable animal production. **Animal Feed Science and Technology**, v.234, p.88-100, 2017.
- CHEN, Y.; SHEN, D.; ZHANG, L.; ZHONG, R.; LIU, Z.; LIU, L.; CHENG, L.; ZHANG, H. Supplementation of Non-Starch Polysaccharide Enzymes Cocktail in a Corn-Miscellaneous Meal Diet Improves Nutrient Digestibility and Reduces Carbon Dioxide Emissions in Finishing Pigs. **Animals**, v.10, n.2, p.232, 2020.
- CHENG, G.; HAO, H.; XIE, S.; WANG, X.; DAI, M.; HUANG, L.; YUAN, Z. Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry?. **Frontiers in Microbiology**, v.5, p.217, 2014.
- CLARKE, L.C.; SWEENEY, T.; CURLEY, E.; GATH, V.; DUFFY, S.K.; VIGORS, S.; RAJAURIA, G.; DOHERTY, J.V. Effect of  $\beta$ -glucanase and  $\beta$ -xylanase enzyme supplemented barley diets on nutrient digestibility, growth performance and expression of intestinal nutrient transporter genes in finisher pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.238, p.98–110, 2018.
- COWIESON, A.J.; VIEIRA, S.L.; STEFANELLO, C. Exogenous microbial amylase in the diets of poultry: what do we know?. **Journal of Applied Poultry Research**, v.28, n.3, p. 556-565, 2018.

- CROSS, A.J.; BROWN-BRANDL, T.M.; KEEL, B.N.; CASSADY, J.P.; ROHRER, G.A. Feeding behavior of grow-finish swine and the impacts of heat stress. **Translational Animal Science**, v.4, n.2, p.986-992, 2020.
- DAMORADAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 edição, Porto Alegre-RS: Artmed® editora S.A, 890 p., 2010.
- DAHMER, P.L.; JONES, C.K. Evaluating dietary acidifiers as alternatives for conventional feed-based antibiotics in nursery pig diets. **Translational Animal Science**, v.5, n.2, p.1-11, 2021.
- DE ANDRADE, G. DA C.; GARCIA, E.R. DE M.; KIEFER, C.; ZANOELO, F.F.; GIANNESI, G.C.; SANTANA, P.G.; SANCHES, D.DE D. Xylanases in diets with alternative feeds and energy reduction in commercial layers. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.3007-3028, 2021.
- DE FRANÇA, I.B.; DA SILVA, C.A.A. Utilização de resíduos agroindustriais na produção de amilase por *Aspergillus niger* UCP 1095 através de fermentação submersa. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.5, p.51331-51345, 2021.
- DE VOS, P.; FAAS, M.M.; SPASOJEVIC, M.; SIKKEMA, J. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v.20, n.4, p.292–302, 2010.
- DU, R.; SONG, Q.; ZHANG, Q.; ZHAO, F.; KIM, R.C.; ZHOU, Z.; HAN, Y. Purification and characterization of novel thermostable and Ca-independent  $\alpha$ -amylase produced by *Bacillus amyloliquefaciens* BH072. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.115, p.1151–1156, 2018.
- DUARTE, M.E.; SPARKS, C.; KIM, S.W. Modulation of jejunal mucosa-associated microbiota in relation to intestinal health and nutrient digestibility in pigs by supplementation of  $\beta$ -glucanase to corn soybean meal-based diets with xylanase. **Journal of Animal Science**, v.99, n.7, p.1-13, 2021.
- DUARTE, M.E.; ZHOU, F.X.; DUTRA, W.M.; KIM, S.W. Dietary supplementation of xylanase and protease on growth performance, digesta viscosity, nutrient digestibility, immune and oxidative stress status, and gut health of newly weaned pigs. **Animal Nutrition**, v.5, n.4, p.351-358, 2019.

- DZIERVA, L. **Efeitos da amilase e do tamanho de partículas do milho sobre o desempenho e digestibilidade da dieta em leitões**. 2021. 51p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Zootecnia. 2021.
- EMIOLA, I.A.; OPAPEJU, F.O.; SLOMINSKI, B.A.; NYACHOTI, C.M. Growth performance and nutrient digestibility in pigs fed wheat distillers dried grains with solubles-based diets supplemented with a multicarbohydrase enzyme<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v.87, n.7, p.2315–2322, 2009.
- ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p.33-26, 1992.
- GBENGA, A.; DAVID, S.; FEMI, B.; SAANU, A.B. Purification and Characterization of  $\alpha$ -Amylase from *Bacillus subtilis* Isolated from Cassava Processing Sites. **Journal Bioremediation Biodegradation**, v.8, n.6, p.417, 2017.
- GENOVA, J.L.; MELO, A.; RUPOLO, P.; CARVALHO, S.T.; COSTA, L.B; CARVALHO, P.L.De O. A summary of feed additives, intestinal health and intestinal alkaline phosphatase in piglet nutrition. **Czech Journal of Animal Science**, v.65, n.8, p.281–294, 2020.
- GENOVA, J.L; RUPOLO, P.E; MELO, A.D.B; DOS SANTOS, L.B.A.; WENDT, G.N; BARBOSA, K.A; CARVALHO, S.T; DE OLIVEIRA, N.T.E.; COSTA, L.B; CARVALHO, P.L. DE O. Biological response of piglets challenged with *Escherichia coli* F4 (K88) when fed diets containing intestinal alkaline phosphatase. **Czech Journal of Animal Science**, v.66, n.10, p.391-402, 2021.
- GOMES, E.; GUEZ, M.A.U.; MARTIN, N.; DA SILVA, R. Enzimas termoestáveis: fontes, produção e aplicação industrial. **Química Nova**, v.30, n.1, p.136–145, 2007.
- GONZÁLES, F.H.D.; DA SILVA, S.C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. 3ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 538 p., 2017.
- HAN, X.; YAN, F.; NIE, X.; XIA, W.; CHEN, S.; ZHANG, X.; QIAN, L. Effect of replacing antibiotics using multi-enzyme preparations on production performance and antioxidant activity in piglets. **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, n.3, p.640–647, 2017.

- JEON, S.M.; HOSSEINDOUST, A.; CHOI, Y.H.; KIM, M.J.; KIM, K.Y.; LEE, J.H.; KIL, D.Y.; KIM, B.G.; CHAE, B.J. Comparative standardized ileal amino acid digestibility and metabolizable energy contents of main feed ingredients for growing pigs when adding dietary  $\beta$ -mannanase. **Animal Nutrition**, v.5, n.4, p.359–365, 2019.
- JO, J.K.; INGALE, S.L.; KIM, J.S.; KIM, Y.W.; KIM, K.H.; LOHAKARE, J.D.; LEE, J.H.; CHAE, B.J. Effects of exogenous enzyme supplementation to corn- and soybean meal-based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood metabolites in growing pigs<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v.90, n.9, p.3041–3048, 2012.
- KAINUMA, K.; FRENCH, D. Action of pancreatic amylase on starch oligosaccharides containing single glucose side chains. **FEBS Letters**, v.5, n.4, p.257–261, 1969a.
- KAINUMA, K.; FRENCH, D. Action of pancreatic alpha-amylase and sweet potato beta-amylase on 6<sup>2</sup> and 6<sup>3</sup>- $\alpha$ -glucosylmaltooligosaccharides<sup>2</sup>. **FEBS Letters**, v.6, n.3, p.182–186, 1969b.
- KANNAN, T.R.; KANAGARAJ, C. Molecular characteristic of  $\alpha$ -AMYLASE enzymes producing from *Bacillus licheniformis* (JQ946317) using solid state fermentation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.20, p.101240, 2019.
- KARAM, E.A.; ABDEL WAHAB, W.A.; SALEH, S.A.A.; HASSAN, M.E.; KANSOH, A.L.; ESAWY, M.A. Production, immobilization and thermodynamic studies of free and immobilized *Aspergillus awamori* amylase. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.102, p.694–703, 2017.
- KARUNARATNE, N.D.; CLASSEN, H.L. Beta-glucans and beta-glucanase in animal nutrition, do we understand their full effects?. In. GONZÁLEZ-ORTIZ, G.; BEDFORD, M. R.; BACH KNUDSEN, K.E.; COURTIN, C.M.; CLASSEN, H.L. **The value of fibre: Engaging the second brain for animal nutrition**, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p.171–191, 2019.
- KERR, B.J.; SHURSON, G.C. Strategies to improve fiber utilization in swine. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.4, n.11, p.1-12, 2013.
- KIARIE, E.G.; STEELMANM, S.; MARTINEZ, M.; LIVINGSTON, K. Significance of single  $\beta$ -mannanase supplementation on performance and energy utilization in broiler chickens,



- laying hens, turkeys, sows, and nursery-finish pigs: a meta-analysis and systematic review. **Translational Animal Science**, v.5, n.4, p.1-21, 2021.
- KIM, B.G.; TIAN, J.Z.; LIM, J.S.; KIL, D.Y.; JEON, H.Y.; CHUNG, Y.K.; KIM, Y.Y. Influences of Enzyme Complex Supplementation on Growth, Ileal and Apparent Fecal Digestibility and Morphology of Small Intestine in Pigs. **Asian-Australian Journal Animal Science**, v.17, n.12, p.1729-1735, 2004.
- KIM, J.C.; SANDS, J.S.; MULLAN, B.P.; PLUSKE, J.R. Performance and total-tract digestibility responses to exogenous xylanase and phytase in diets for growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.142, n.1-2, p.163–172, 2008.
- KIM, J.S.; INGALE, S.L.; LEE, S.H.; KIM, K.H.; KIM, J.S.; LEE, J.H.; CHAE, B.J. Effects of energy levels of diet and  $\beta$ -mannanase supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility and blood metabolites in growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, n.1-2, p.64–70, 2013.
- KIM, J.S.; INGALE, S.L.; HOSSEINDOUST, A.R.; LEE, S.H.; LEE, J.H.; CHAE, B.J. Effects of mannan level and  $\beta$ -mannanase supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility and blood metabolites of growing pigs. **Animal**, v.11, n.2, p.202–208, 2016.
- KPOGO, A.L.; JOSE, L.; PANISSORI, J.C.; AGYEKUM, A.K.; PREDICALA, B.Z.; ALVARADO, A.C.; AGNEW, J.M.; SPRENGER, C.J.; BEAULIEU, A.D. Greenhouse gases and performance of growing pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun and a multi-carbohydrase enzyme. **Journal of Animal Science**, v.99, n.10, p.1–9, 2021.
- LACINAN, O.; THIERRY, K.F.M.; EVRARD, D.A.; FLORENT, N.G.K.; SOUMAILA, D. Production, Partial Purification and Characterization of Two  $\alpha$ -Amylase Isoforms from *Saccharomyces cerevisiae* strain YOP 1/2-2 Isolated from Tchapalo (Côte d'Ivoire). **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, v.23, n.9, p.17-30, 2020.
- LI, Q.; GABLER, N.K.; LOVING, C.L.; GOULD, S.A.; PATIENCE, J.F. A dietary carbohydrase blend improved intestinal barrier function and growth rate in weaned pigs fed higher fiber diets. **Journal of Animal Science**, v.96, n.12, p.5233-5243, 2018.

- LI, W.F.; FENG, J.; XU, Z.R.; YANG, C.M. Effects of non-starch polysaccharides enzymes on pancreatic and small intestinal digestive enzyme activities in piglet fed diets containing high amounts of barley. **World Journal of Gastroenterology**, v.10, n.6, p.856-859, 2004.
- LINDBERG, J.E. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.5, n.1, p.1-7, 2014.
- MACGREGOR, E.A.; JANEČEK, Š.; SVENSSON, B. Relationship of sequence and structure to specificity in the  $\alpha$ -amylase family of enzymes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology**, v.1546, n.1, p.1-20, 2001.
- MAPA, Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. (2004). **Instrução Normativa nº13, de 30 de novembro de 2004.**
- MARTENS, B.M.; BRUININX, E.M.; GERRITS, W.J.; SCHOLS, H.A. The importance of amylase action in the porcine stomach to starch digestion kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, v.267, p.114546, 2020.
- MEDEL, P.; BAUCCELLS, F.; GRACIA, M.; DE BLAS, C.; MATEOS, G. Processing of barley and enzyme supplementation in diets for young pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.95, n.3-4, p.113–122, 2002.
- MELNICHUK, N.; BRAIA, M.J.; ANSELMINI, P.A.; MEINI, M.R.; ROMANINI, D. Valorization of two agroindustrial wastes to produce alpha-amylase enzyme from *Aspergillus oryzae* by solid-state fermentation. **Waste Management**, v.106, p.155–161, 2020.
- MELO, D.S.; FARIA, P.B.; CANTARELLI, V.S.; ROCHA, M.F.M.; PINTO, A.M.B.G.; RAMOS, E.M. Qualidade da carne de suínos com uso de glicerina na alimentação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, p.583-592, 2014.
- MENG, X.; SLOMINSKI, B.A. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. **Poultry Science**, v.84, n.8, p.1242–1251, 2005.
- MUNIR, K.; MAQSOOD, K. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.25, n.1, p.66-80, 2013.

- NERY, V.L.H.; LIMA, J.A.F.; MELO, R.C.A.; FIALHO, E.T. Adição de enzimas exógenas para leitões dos 10 aos 30 kg de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.794-802, 2000.
- NORTEY, T.N.; PATIENCE, J.F.; SIMMINS, P.H.; TROTTIER, N.L.; ZIJLSTRA, R.T. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun 1. **Journal of Animal Science**, v.85, n.6, p.1432–1443, 2007.
- OJHA, B.K.; SINGH, P.K.; SHRIVASTAVA, N. Enzymes in the Animal Feed Industry. In: KUDDUS, M. **Enzymes in Food Biotechnology**. Academic Press, p.93-109, 2019.
- PALOHEIMO, M.; PIIRONEN, J.; VEHEMAANPERÄ, J. Xylanases and cellulases as feed additives. In: BEDFORD, M.R.; PARTRIDGE, G.G. **Enzymes in farm animal nutrition**. 2 edição. London, UK: CAB International, p.12–53, 2010.
- PASSOS, A.A.; PARK, I.; FERKET, P.; VON HEIMENDAHL, E.; KIM, S.W. Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. **Animal Nutrition**, v.1, n.1, p.19–23, 2015.
- PETRY, A.L.; HUNTLEY, N.F.; BEDFORD, M.R.; PATIENCE, J.F. Xylanase increased the energetic contribution of fiber and improved the oxidative status, gut barrier integrity, and growth performance of growing pigs fed insoluble corn-based fiber. **Journal of Animal Science**, v.98, n.7, p.1-11, 2020.
- RAVINDRAN, V. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.22, n.3, p.628–636, 2013.
- RAUL, D.; BISWAS, T.; MUKHOPADHYAY, S.; KUMAR DAS, S.; GUPTA, S. Production and Partial Purification of Alpha Amylase from *Bacillus subtilis* (MTCC 121) Using Solid State Fermentation. **Biochemistry Research International**, v.2014, p.1–5, 2014.
- RECHARLA, N.; KIM, D.; RAMANI, S.; SONG, M.; PARK, J.; BALASUBRAMANIAN, B.; Dietary multi-enzyme complex improves In Vitro nutrient digestibility and hind gut microbial fermentation of pigs. **Plos One**, v.14, n.5, p.1-19, 2019.

- RESENDE, M.; CHAVES, R.F.; GARCIA, R.M.; BARBOSA, J.A.; MARQUES, A.S.; REZENDE, L.R.; PECONICK, A.P.; GARBOSSA, C.A.P.; MESA, D.; SILVA, C.C.; FASCINA, V.B.; DIAS, F.T.F.; CANTARELLI, V. DE S. Benzoic acid and essential oils modify the cecum microbiota composition in weaned piglets and improve growth performance in finishing pigs. **Livestock Science**, v.242, p.104311, 2020.
- ROBYT, J.F.; ACKERMAN, R.J. Isolation, purification, and characterization of a maltotetraose-producing amylase from *Pseudomonas stutzeri*. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.145, n.1, p.105–114, 1971.
- ROBYT, J.F. Enzymes and Their Action on Starch. In. BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch Chemistry and Technology**. 3 edição, Food Science and Technology, p.237-292, 2009.
- ROBYT, J.F.; FRENCH, D. Multiple attack hypothesis of  $\alpha$ -amylase action: Action of porcine pancreatic, human salivary, and *Aspergillus oryzae*  $\alpha$ -amylases. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.122, n.1, p.8–16, 1967.
- RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.D.; FIALHO, E.T.; SILVA, H.O.; GONÇALVES, T.M. Digestibilidade dos nutrientes e desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados com rações à base de milho e sorgo suplementadas com enzimas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.91-100, 2002.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.L.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 4ª edição, Viçosa, MG: UFV, 488 p., 2017.
- RUIZ, U. DOS S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I.; FRAGA, A.L.; WATANABE, P.H.; DA SILVA, S.Z. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.458–468, 2008.
- SAINI, R.; SAINI, H.S.; DAHIYA, A. Amylases: Characteristics and industrial applications. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v.6, n.4, p.1865-1871, 2017.
- SAKOMURA, N.K.; DA SILVA, H.V.; COSTA, G.P.C.; FERNANDES, J.B.K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678 p., 2014.

- SILVA, C.A. DA; VINOKUNOVAS, S.L.; BRIDI, A.M.; OBA, A.; PACHECO, G.D.; LOZANO, A.P.; SILVA, R.A.M.; DALTO, D.B.; AGOSTINI, P.D.S. Utilização de um complexo enzimático para rações contendo farelo de gérmen de milho desengordurado para suínos em fase de crescimento e terminação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.2, p.4065-4081, 2013.
- SOUZA DA SILVA, C.; HAENEN, D.; KOOPMANS, S.J.; HOOIVELD, G.J.E.J.; BOSCH, G.; BOLHUIS, J.E.; KEMP, B.; MULLER, M.; GERRITS, W.J.J. Effects of resistant starch on behaviour, satiety-related hormones and metabolites in growing pigs. **Animal**, v.8, n.09, p.1402–1411, 2014.
- SINDHU, R.; BINOD, P.; PANDEY, A.  $\alpha$ -Amylases. In. PANDEY, A.; NEGI, S.; SOCCOL, C.R.; **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Production, Isolation and Purification of Industrial Products**, Elsevier B.V. All, p.3–24, 2017.
- SORUNKE, A.O.; ADESEHINWA, A.O.K.; BOLADURO, B.A.; OGUNYEMI, D.J.; ABIOLA, J.O.; ONARINDE, O.E.; ADESEHINWA, O.A. Performance and economic analysis of growing pigs fed diets supplemented with different multi-enzymes complexes. **Nigerian Journal of Animal Production**, v.48, n.5, p.285-292, 2021.
- SUN, H.; COZANNET, P.; MA, R.; ZHANG, L.; HUANG, Y.K.; PREYNAT, A.; SUN, L. Effect of concentration of arabinoxylans and a carbohydrase mixture on energy, amino acids and nutrients total tract and ileal digestibility in wheat and wheat by-product-based diet for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.262, p.114380, 2019.
- SWIATKIEWICZ, S.; SWIATKIEWICZ, M.; ARCZEWSKA-WLOSEK, A.; JOZEFIAK, D. Efficacy of feed enzymes in pig and poultry diets containing distillers dried grains with solubles: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.100, n.1, p.15–26, 2015.
- TEIXEIRA, A.O.; LOPES, D.C.; FERREIRA, V.P.A.; PENA, S.M.; NOGUEIRA, E.T.; MOREIRA, J.A.; BUNZEN, S.; NERY, L.R. Utilização de enzimas exógenas em dietas com diferentes fontes e níveis de proteína para leitões na fase de creche. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.900-906, 2005.
- TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n.2, p.151–165, 2004.

- THACKER, P.A. Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.4, n.1, p.1-12, 2013.
- TORRES-PITARCH, A.; MANZANILLA, E.G.; GARDINER, G.E.; O'DOHERTY, J.V.; LAWLOR, P.G. Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: effect of enzyme type and cereal source. **Animal Feed Science and Technology**, v.251, p.153-165, 2018.
- TORRES-PITARCH, A.; HERMANS, D.; MANZANILLA, E.G.; BINDELLE, J.; EVERAERT, N.; BECKERS, Y.; TORRALLARDONA, D.; BRUGGEMAN, G.; GARDINER, G.E.; LAWLOR, P.G. Effect of feed enzymes on digestibility and growth in weaned pigs: A systematic review and meta-analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.233, p.145–159, 2017.
- TSAI, T.; DOVE, C.R.; CLINE, P.M.; OWUSU-ASIEDU, A.; WALSH, M.C.; AZAIN, M. The effect of adding xylanase or  $\beta$ -glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles (CDDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. **Livestock Science**, v.197, p.46-52, 2017.
- VELÁZQUEZ-DE LUCIO, B.S.; HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, E.M.; VILLA-GARCÍA, M.; DÍAZ-GODÍNEZ, G.; MANDUJANO-GONZALEZ, V.; MENDOZA-MENDOZA, B.; ÁLVAREZ-CERVANTES, J. Exogenous Enzymes as Zootechnical Additives in Animal Feed: A Review. **Catalysts**, v.11, n.7, p.851, 2021.
- WANG, J.P.; HONG, S.M.; YAN, L.; YOO, J.S.; LEE, J.H.; JANG, H.D.; KIM, H.J.; KIM, I.H. Effects of single or carbohydrases cocktail in low-nutrient-density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, and carcass traits in growing–finishing pigs. **Livestock Science**, v.126, n.1-3, p.215–220, 2009.
- YANG, Y.; PARK, J.H.; KIM, I.H. Effects of probiotics containing (*Lactobacillus planetarium*) and chlortetracycline on growth performance, nutrient digestibility, fecal microflora, diarrhea score and fecal gas emission in weanling pigs. **Livestock Science**, v.241, p.104186, 2020.
- YANG, Y.Y.; FAN, Y.F.; CAO, Y.H.; GUO, P.P.; DONG, B.; MA, Y.X. 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, n.1, p.57-63, 2017.
- YI, J.Q.; PIAO, X.S.; LI, Z.C.; ZHANG, H.Y.; CHEN, Y.; LI, Q.Y.; LIU, J.D.; ZHANG, Q.; RU, Y.J.; DONG, B. The Effects of Enzyme Complex on Performance, Intestinal Health and Nutrient Digestibility of Weaned Pigs. **Asian Australasian Journal Animal Science**, v.26, n.8, p.1181-1188, 2013.
- YIN, J.; KIM, I.H. Effects of multi-enzyme supplementation in a corn and soybean meal-based diet on growth performance, apparent digestibility, blood characteristics, fecal microbes and noxious gas emission in growing pigs. **Korean Journal of Agricultural Science**, v.46, n.1, p.1-10, 2019.
- YOSHIDOMI, T.; HIROSE, K.; KUGE, T.; OKADA, Y.; KUROSAWA, Y.; TAKIZAWA, T.; TANAKA, K. Detection of copy number variation of alpha amylase genes in domestic pigs (*Sus scrofa domestica*) and wild boars (*Sus scrofa*). **Czech Journal of Animal Science**, v.66, n.3, p.73-77, 2021.
- YUE, P.; WARING, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Food World**, v.43, n.9, p.690-695, 1998.
- ZENG, Z.K.; LI, Q.Y.; TIAN, Q.Y.; XU, Y.T.; PIAO, X.S. The combination of carbohydrases and phytase to improve nutritional value and non-starch polysaccharides degradation for growing pigs fed diets with or without wheat bran. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.138-146, 2018.
- ZHANG, G.G.; YANG, Z.B.; WANG, Y.; YANG, W.R.; ZHOU, H.J. Effects of dietary supplementation of multi-enzyme on growth performance, nutrient digestibility, small intestinal digestive enzyme activities, and large intestinal selected microbiota in weanling pigs<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v.92, n.5, p.2063–2069, 2014.
- ZHANG, H.; YE, Y.T.; DENG, J.L.; ZHAO, P.; MAO, Y.F.; CHEN, Z.X. Rapid unfolding of pig pancreas  $\alpha$ -amylase: Kinetics, activity and structure evolution. **Food Chemistry**, v.368, p.130795, 2021.
- ZHANG, S.; SONG, J.; DENG, Z.; CHENG, L.; TIAN, M.; GUAN, W. Effects of combined  $\alpha$ -galactosidase and xylanase supplementation on nutrient digestibility and growth performance in growing pigs. **Archives of Animal Nutrition**, v.71, n.6, p.441–454, 2017.

ZHONG, R.Q.; GAO, L.X.; ZHANG, L.L.; HUANG, Q.H.; CHEN, L.; ZHANG, H.F. Effects of optimal carbohydrases cocktails screened using an in vitro method on nutrient and energy digestibility of different fiber source diets fed to growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.271, p.114728, 2020.



### 3. ADIÇÃO DA $\alpha$ -AMILASE EM DIETAS COM REDUÇÃO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA SUÍNOS

**Resumo** – Um estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da adição da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável (EM) para suínos em crescimento-terminação sobre a digestibilidade aparente do trato total (DATT) dos nutrientes e energia aparente, balanço de N, desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos e atributos de carcaça e carne. No experimento I, 36 leitões machos inteiros ( $25,9 \pm 0,5$  kg PC) foram alocados em um delineamento de blocos casualizados (DBC), com 4 tratamentos: (1) dieta controle (DC) sem  $\alpha$ -amilase e sem redução de EM, (2) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t e sem redução de EM (AM0), (3) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 50 kcal EM/kg (AM-50) e (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 100 kcal de EM/kg (AM-100), e 9 repetições. Os coeficientes de DATT (CDATT) da energia bruta (EB) e de metabolizabilidade da EB foram maiores ( $P < 0,05$ ) em suínos alimentados com  $\alpha$ -amilase comparado ao DC. O experimento II envolveu 42 suínos machos inteiros ( $25,8 \pm 0,2$  kg PC) designados em um DBC, com 6 tratamentos: (1) DC, (2) DC sem  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg (DC-50), (3) DC sem  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg (DC-100), (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t e sem redução de EM (AM0), (5) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 50 kcal de EM/kg (AM-50) e (6) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t com redução de 100 kcal de EM/kg (AM-100), e 7 repetições. Os suínos em crescimento I do grupo AM tiveram ( $P < 0,05$ ) maior taxa de alimentação para ganho em comparação ao DC, diferindo aos resultados na fase de terminação I. Os suínos em terminação II no grupo DC tiveram ( $P < 0,10$ ) maior ganho de peso em comparação aos alimentados com AM. Os suínos em crescimento do grupo AM tiveram ( $P < 0,05$ ) maior PD em comparação ao DC, e maior ( $P < 0,10$ ) CDATTMS, MSD, MOD e ED do que o grupo DC na fase de terminação. Os animais do grupo AM mostraram ( $P < 0,05$ ) maior profundidade de lombo e de proteína bruta, mas menor valor em  $a^*$  e de matéria mineral na carne comparados aos alimentados com DC. Em conclusão, a  $\alpha$ -amilase isolada melhora a DATT e sustenta o desempenho zootécnico em suínos alimentados com dietas reduzidas de EM, sem afetar negativamente as demais variáveis.

**Palavras-chave:** amilase exógena, balanço de N, desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, qualidade de carne, suínos

### 3. ADDITION OF $\alpha$ -AMYLASE IN DIETS WITH REDUCED METABOLIZABLE ENERGY FOR SWINE

**Abstract** - A study was conducted to assess the effect of adding  $\alpha$ -amylase in diets with or without reduced metabolizable energy (ME) for growing-finishing pigs on the apparent total tract digestibility of nutrients and apparent energy (ADTT), nitrogen balance, zootechnical performance, blood metabolites and carcass and meat attributes. In Expt. I, 36 entire male piglets ( $25.9 \pm 0.5$  kg BW) were allocated to a randomized block design (RBD), with 4 treatments: (1) control diet (CD) without  $\alpha$ -amylase and without reduction of ME, (2) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t and without reduction of ME (AM0), (3) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with reduction of 50 kcal ME/kg (AM-50) and (4) CD + 100 g  $\alpha$ -amylase/t with reduction of 100 kcal of ME/kg (AM-100), and 9 repetitions. The DATT (ADCTT) coefficients of gross energy (GE) and of GE metabolizability were higher ( $P < 0.05$ ) in pigs fed  $\alpha$ -amylase compared to CD. Ext. II answered entire male piglets 42 pigs ( $25.8 \pm 0.2$  kg BW) allocated to a RBD, with 6 treatments: (1) CD, (2) CD without  $\alpha$ -amylase with 50 kcal ME reduction (CD-50), (3) CD without  $\alpha$ -amylase with reduction of 100 kcal of ME/kg (CD-100), (4) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t and without reduction of ME (AM0), (5) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with a reduction of 50 kcal of ME/kg (AM-50) and (6) CD + 100 g of  $\alpha$ -amylase/t with a reduction of 100 kcal of ME/kg (AM-100), and 7 repetitions. The growing pigs I in the AM group had ( $P < 0.05$ ) higher feed-to-gain ratio compared to CD, differing from the results in termination phase I. weight compared to those fed with AM. The growing pigs in the AM group had ( $P < 0.05$ ) higher DP compared to CD, and higher ( $P < 0.10$ ) ADCTTMS, DDM, DOM and DE than the CD group in the finishing phase. Animals from the concentrated AM group, the smallest ( $P < 0.5$ ) of higher protein depth and lower a\* value protein fed mineral meat compared to those fed meat with CD. In conclusion,  $\alpha$ -amylase alone to a single definition and sustaining the performance in those fed diets compared to ME, without definition of set as other variables.

**Keywords:** exogenous amylase, N balance, zootechnical performance, nutrient digestibility, meat quality, swine

### 3.1 Introdução

Os avanços são crescentes nas áreas de ambiência, genética, sanidade e nutrição suína a fim de garantir a qualidade e segurança alimentar devido ao aumento na demanda por proteína animal. O uso de enzimas exógenas na alimentação de suínos tem sido investigado (CHEN et al., 2020; ARANDA-AGUIRRE et al., 2021; KPOGO et al., 2021). Assim, é necessário entender os efeitos enzimáticos e as estratégias nutricionais que melhoram o desempenho dos animais e reduzem os custos de produção (MACAMBIRA et al., 2021; VELÁZQUEZ-DE LUCIO et al., 2021).

A adição de enzimas exógenas tem sido uma estratégia para restaurar o valor nutricional de dietas reduzidas em energia (DE ANDRADE et al., 2021), como a adição das carboidrases (galactosidase, mananase e manosidase) em dietas para suínos (WANG et al., 2009). Entretanto, a utilização da  $\alpha$ -amilase isolada requer maiores investigações devido às informações limitadas em pesquisas envolvendo suínos machos inteiros e imunocastrados.

Os efeitos de carboidrases combinadas foram investigados em todas as fases de produção de suínos (ARANDA-AGUIRRE et al., 2021; KPOGO et al., 2021), enquanto a adição da  $\alpha$ -amilase exógena isolada em dietas para suínos e seus mecanismos de ação tem sido pouco documentada. Ainda há lacunas sobre o uso de carboidrases exógenas em dietas para suínos, como o nível de adição da  $\alpha$ -amilase exógena em dietas (RUIZ et al., 2008; ARANDA-AGUIRRE et al., 2021), a valorização individual da matriz nutricional (RAVINDRAN, 2013; SITANAKA et al., 2018), a interação com aditivos e componentes alimentares (ARANDA-AGUIRRE et al., 2021) e os fatores intrínsecos dos animais que afetam negativamente a atividade enzimática (RUIZ et al., 2008; RAVINDRAN, 2013).

Nesse sentido, estudos com a adição isolada ou combinada de carboidrases em dietas para suínos mostraram efeito na promoção da ação das enzimas endógenas, desempenho zootécnico, potencialização da hidrólise de componentes e aproveitamento dos nutrientes como os CDATT da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), EB e amido (SILVA et al., 2013; HAN et al., 2017; CHEN et al., 2020; KPOGO et al., 2021), aumento na concentração de glicose e N ureico proteico (JO et al., 2012; KIM et al., 2016), e redução na espessura de toucinho (WANG et al., 2009; BALASUBRAMANIAN et al., 2020).

Aqui, a hipótese deste estudo era de que a adição de uma  $\alpha$ -amilase permite a redução de EM em dietas, por melhorar a utilização dos nutrientes e, conseqüentemente, apoiaria o desempenho zootécnico para produção de carne. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de EM, para suínos machos em crescimento-

terminação sobre a DATT dos nutrientes e energia aparente, balanço de N, desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos e atributos de carcaça e carne.

## 3.2 Material e Métodos

Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pelo comitê de ética no uso de animais de produção da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE, nº 25-2020).

### 3.2.1 Experimento I (ensaio de digestibilidade aparente do trato total e energia aparente)

#### 3.2.1.1 Animais, delineamento experimental, alojamento e dietas

O experimento I (Exp. I) envolveu 36 leitões híbridos, machos inteiros (Landrace × Large White) pesando  $25,9 \pm 0,5$  kg de PC, alocados em um delineamento experimental de blocos casualizados completos com 3 réplicas em cada uma das 3 rodadas ao longo do tempo, constituído por 4 tratamentos de 9 repetições de gaiolas, com um animal por gaiola metabólica como unidade experimental.

Os animais foram pesados e alojados individualmente em gaiolas de metabolismo ( $0,5$  m<sup>2</sup>) semelhantes às descritas por Pekas (1968), com ajuste de tamanho, equipada com piso plástico de polietileno vazado, funil na parte inferior para a coleta de urina, tela para a coleta de sobras de dieta, caixa de coleta de fezes na parte posterior da gaiola e com comedouro e bebedouro na parte frontal. As gaiolas estavam em sala de alvenaria, com piso de concreto e cortinas laterais. Os animais permaneceram por um período de 12 dias em cada rodada (7 dias de aclimatização às gaiolas, dieta e regularização do consumo metabólico e 5 dias para coleta de materiais biológicos como fezes, urina e sangue).

A temperatura do ambiente do galpão foi registrada usando um *datalogger* (Vketech, modelo *temperature instruments*) instalado no centro. A temperatura ambiente do ar, de  $26,5 \pm 0,4$ °C e umidade relativa do ar, de  $60,0 \pm 1,4$ %, foram registradas durante o período experimental. O controle de temperatura e ventilação no interior da instalação foi realizado com auxílio de ventiladores e cortinas laterais.

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com aminoácidos (AAs) industriais para atenderem às exigências dos animais de acordo com cada fase (ROSTAGNO et al., 2017), à exceção da EM. Todas as dietas foram fornecidas na forma farelada e eram isonutricionais com variações somente no teor de óleo de soja e inerte.

Os 4 tratamentos testados (Tabela 2) foram: (1) dieta controle (DC) sem  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM); (2) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0); (3) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal EM/kg de dieta (AM-50); e (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

Tabela 2. Composição das dietas fornecidas para suínos machos em crescimento no Exp. I (como base alimentada)

Item	Dietas experimentais			
	DC	AM0	AM-50	AM-100
Ingredientes (g/kg dieta)				
Milho moído 7,13% de PB	587,45	587,45	587,45	587,45
Farelo de soja 48,26% de PB	339,40	339,40	339,40	339,40
Óleo de soja	31,97	31,87	26,00	20,00
Fosfato bicálcico	18,93	18,93	18,93	18,93
Calcário calcítico	8,46	8,46	8,46	8,46
Caulim (inerte)	0,00	0,00	5,87	11,87
Sal comum	4,85	4,85	4,85	4,85
L-lisina HCL 78%	3,26	3,26	3,26	3,26
DL-metionina 99,5%	1,67	1,67	1,67	1,67
L-treonina 96,8%	1,75	1,75	1,75	1,75
L-triptofano 99%	0,20	0,20	0,20	0,20
Adsorvente de micotoxinas	1,00	1,00	1,00	1,00
Premix mineral <sup>1)</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50
Premix vitamínico <sup>2)</sup>	0,30	0,30	0,30	0,30
Cloreto de colina	0,20	0,20	0,20	0,20
$\alpha$ -amilase	0,00	0,10	0,10	0,10
Erassen 80® - enramicina	0,06	0,06	0,06	0,06
Composição química calculada com base na matéria natural (g/kg dieta)				
Energia metabolizável (MJ/kg)	14,02	14,02	13,81	13,60
Proteína bruta	205,50	205,50	205,50	205,50
Fibra dietética total	26,25	26,25	26,25	26,25
Amido total	388,53	388,53	388,53	388,53
Cálcio total	9,10	9,10	9,10	9,10
Fósforo STTD	4,50	4,50	4,50	4,50
Lisina SID	12,81	12,81	12,81	12,81
Metionina + cisteína SID	7,30	7,30	7,30	7,30
Treonina SID	8,33	8,33	8,33	8,33
Triptofano SID	2,43	2,43	2,43	2,43
Sódio total	2,05	2,05	2,05	2,05

<sup>1)</sup> Níveis 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; I, 1.

<sup>2)</sup> Níveis nutricionais por kg de dieta: vitamina A, 3000 UI; vitamina D<sub>3</sub>, 600 UI; vitamina E, 10 UI; vitamina K<sub>3</sub>, 0,9 mg; vitamina B<sub>1</sub>, 0,4 mg; vitamina B<sub>2</sub>, 1,9 mg; vitamina B<sub>6</sub>, 0,4 mg; vitamina B<sub>12</sub>, 7 mg; niacina, 10 mg; ácido pantotênico, 6,5 mg; ácido fólico, 0,25 mg; Se, 0,3 mg; BHT, 0,06 mg.

As dietas foram homogeneizadas em um misturador vertical por 15 minutos. A  $\alpha$ -amilase (100 g/t; sunamy amylase<sup>®</sup>, Wuhan City, Hubei, China) suplementada foi produzida pela fermentação de *Bacillus subtilis*, com atividade mínima de 1000 U/g e solubilidade *in vitro* de 48,5% e 34,4% em solução ácida e básica, respectivamente, de acordo com a metodologia adaptada (GENOVA et al., 2021).

As dietas foram fornecidas em duas refeições diárias (08h00 e 14h00) e umidificadas com água (20% da quantidade total fornecida) para melhorar a palatabilidade do alimento e minimizar perdas da dieta por propriedades pulverulentas. O consumo de dieta total e as sobras foram registrados diariamente. No período de coleta total, a quantidade de dieta fornecida para cada animal foi determinada em função do peso metabólico ( $PC^{0,75}$ ). Após cada refeição, a água foi fornecida no comedouro frontal na proporção de 3 mL/g de dieta consumida calculada para cada animal (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016).

### 3.2.1.2 Amostragem no período de coleta total

A coleta de fezes e urina foi realizada por meio do método direto (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016). As fezes excretadas foram coletadas duas vezes ao dia (manhã e tarde), pesadas e acondicionadas em sacos plásticos, identificados anteriormente e armazenados em freezer (-18°C) até o final do período de coleta. Após, as amostras foram descongeladas, 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 ventilada a 55°C (Tecnal, modelo 394/2, Piracicaba, São Paulo, Brasil) por um período de 72 horas (SILVA; QUEIROZ, 2002). Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo micropulverizador (R-TE-350; Tecnal Equipamento Científico, Piracicaba, SP, Brasil) e armazenadas em potes plásticos de polietileno identificados para análises laboratoriais.

O volume de urina excretada por um período de 24 horas foi coletado em baldes plásticos em polietileno, previamente adicionados com 20 mL de uma solução 1:1 (água destilada: HCL 0,01 mol/L) para evitar a proliferação de bactérias e perdas de N por volatilização. A urina coletada teve o volume mensurado e uma alíquota de 10% do total foi acondicionada em recipientes identificados em freezer (-18°C) até o final do período de coleta. Posteriormente, elas foram homogeneizadas, filtradas e encaminhadas para análises.

A composição bromatológica das dietas e fezes coletadas foram realizadas de acordo com Silva e Queiroz (2002). As análises de EB das dietas, fezes e urina foram realizadas no laboratório de nutrição animal da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC –

Chapecó, SC, Brasil) por meio da queima de amostras em bomba calorimétrica (IKA®, modelo C200, Wilmington, Carolina do Norte, USA). As análises de amido total das dietas e fezes foram realizadas em um laboratório privado (Castro, PR, Brasil) por meio do método enzimático 996.11 (AOAC, 2019).

O consumo de alimento total e o consumo e excreção de MS, bem como o teor de MO, de PB, de amido e de EB foram expressos em gramas e analisados para calcular os CDATT de MS (CDATTMS), MO (CDATTMO), proteína (CDATTPB), amido (CDATTAM) e EB (CDATTEB) e o coeficiente de metabolizabilidade da EB (CMEB). Os valores de nutrientes digestíveis para a MS digestível (MSD, g/kg), MO digestível (MOD, g/kg), proteína digestível (PD, g/kg) e o amido digestível (AMD, g/kg), e a energia digestível (ED, kcal/kg) e metabolizável (EM, kcal/kg) foram determinados por meio das equações descritas por Sakomura e Rostagno (2016). O balanço de N em g/d e g/kg PC0.75/d foi calculado usando os valores de N ingerido, excretado nas fezes, excretado na urina, absorvido, retido, retido/ingerido, retido/absorvido e excreção total, de acordo com Adeola (2001).

### 3.2.2 Experimento II (Desempenho zootécnico)

#### 3.2.2.1 Animais, delineamento experimental, alojamento e dietas

Um total de 42 suínos machos inteiros híbridos (Landrace × Large White), pesando  $25,8 \pm 0,2$  kg de PC foram designados em um delineamento de blocos casualizados completos baseado no PC, com 6 tratamentos de 7 repetições de baia, com um animal por baia como unidade experimental.

Os animais foram pesados e alojados em uma sala de alvenaria com telhas de cerâmica, contendo 42 baias de piso totalmente compacto ( $2,2 \text{ m}^2$ ), dispostas em duas fileiras, divididas por um corredor central. Todas as baias eram providas de comedouro semiautomático localizado na parte frontal e bebedouro tipo chupeta. Os animais foram imunizados anti-GnRF com duas doses da vacina vivax®. A primeira e a segunda dose foram aplicadas na fase de crescimento II (no dia 35) e terminação I (no dia 67), respectivamente.

A temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar foram registradas utilizando um *datalogger* com mostrador digital (Hygro-Thermometer, modelo RT811) instalado no centro do galpão. A temperatura ambiente do ar, de  $26,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar, de  $59,7 \pm 0,9\%$ , foram registradas durante o experimento. O controle de temperatura e ventilação no



interior da instalação foi realizado com auxílio de cortinas laterais e arborização em ambos os lados.

O período experimental durou 88 dias sendo dividido em quatro fases seguindo a recomendação proposta por Rostagno et al. (2017): (1) crescimento I (d 0 até 28); (2) crescimento II (d 28 até 46); (3) terminação I (d 46 até 70); e (4) terminação II (d 70 até 88).

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com AAs industriais atendendo os requerimentos nutricionais dos animais, formuladas próximas aos limites nutricionais propostos por Rostagno et al. (2017), a exceção da EM. Todas as dietas foram fornecidas na forma farelada e eram isonutricionais variando somente no teor de óleo de soja e inerte.

Os tratamentos dietéticos testados (Tabela 3) foram: (1) dieta controle (DC) sem adição de  $\alpha$ -amilase e sem redução de EM; (2) DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (DC-50); (3) DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (DC-100); (4) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0); (5) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (AM-50); e (6) DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

### 3.2.2.2 Desempenho zootécnico

Os animais receberam dieta e água de acesso *ad libitum* durante todo o experimento. As dietas foram fornecidas diariamente e as sobras e os desperdícios no piso e no comedouro de cada baia foram coletados de forma manual diariamente. O peso corporal dos animais foi monitorado no início do experimento (balança digital, modelo BPW-5000, Primax, São Paulo, Brasil) e ao final de cada fase (balança Digi-Tron, modelo - ULB-3000, Curitiba, Paraná, Brasil). Com base nesses dados brutos, foram calculados os valores de consumo de ração diário médio (CRDM, g/dia), ganho de peso diário (GPD, g/dia) e a taxa de alimentação para ganho (F:G, g/g).

Tabela 3. Composição das dietas fornecidas para suínos machos em crescimento-terminação (como base alimentada)

Item	Dietas experimentais <sup>3)</sup>			
	Crescimento I	Crescimento II	Terminação I	Terminação II
	DC0	DC0	DC0	DC0
Ingredientes (g/kg dieta)				
Milho moido 7,13% de PB	690,43	745,01	803,44	865,02
Farelo de soja 48,26% de PB	244,87	198,21	146,41	92,23
Óleo de soja	22,22	18,58	15,23	12,05
Fosfato bicálcico	16,77	14,27	12,41	9,28
Calcário calcítico	6,92	6,05	5,39	4,46
Sal comum	4,49	4,14	3,88	3,71
Cloreto de colina	2,30	2,30	2,10	1,90
Sulfato de lisina 54,6%	5,59	5,52	5,58	5,43
DL-metionina 99,5%	1,64	1,33	1,06	0,68
L-triptofano 99%	0,44	0,45	0,45	0,36
L-treonina 96,8%	1,72	1,57	1,50	1,32
L-valina 95,5%	0,71	0,67	0,65	0,30
Adsorvente de micotoxinas	1,00	1,00	1,00	1,00
Premix mineral <sup>1)</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50
Premix vitamínico <sup>2)</sup>	0,25	0,25	0,25	0,25
Erassen 80® - enramicina	0,06	0,06	0,06	-
Caulim/inerte	0,10	0,10	0,10	1,52
$\alpha$ -amilase	-	-	-	-
Composição química calculada com base na matéria natural (g/kg dieta)				
Energia metabolizável (MJ/kg)	13,81	13,81	13,81	13,81
Proteína bruta	175,00	156,00	135,00	112,43
Fibra dietética total	28,76	27,37	25,79	24,14
Amido total	423,93	454,32	486,75	520,96
Cálcio total	7,69	6,60	5,73	4,44
Fósforo STTD	3,80	3,26	2,83	2,16
Lisina SID	11,00	9,80	8,54	7,11
Metionina + cisteína SID	6,50	5,80	5,10	4,26
Treonina SID	7,15	6,35	5,55	4,62
Triptofano SID	2,31	2,07	1,80	1,42
Valina SID	7,98	7,13	6,20	4,91
Sódio total	1,90	1,76	1,65	1,58

<sup>1)</sup> Níveis 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; I, 1.

<sup>2)</sup> Níveis nutricionais por kg de dieta: vitamina A, 3000 UI; vitamina D<sub>3</sub>, 600 UI; vitamina E, 10 UI; vitamina K<sub>3</sub>, 0,9 mg; vitamina B<sub>1</sub>, 0,4 mg; vitamina B<sub>2</sub>, 1,9 mg; vitamina B<sub>6</sub>, 0,4 mg; vitamina B<sub>12</sub>, 0,007 mg; niacina, 10 mg; ácido pantotênico, 6,5 mg; ácido fólico, 0,25 mg; Se, 0,3 mg; BHT, 0,06 mg.

<sup>3)</sup> Diferenças nutricionais nas dietas comparado a DC0, g/kg, crescimento I: DC-50 (óleo de soja 16,20, inerte 6,20, EM 13,60 MJ), DC-100 (óleo de soja 10,17, inerte 12,15, EM 13,39), AM0 (inerte 0,0,  $\alpha$ -amilase 0,10), AM-50 (óleo de soja 16,20, inerte 6,02,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,60 MJ), AM-100 (óleo de soja 10,17, inerte 12,05,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,39 MJ); crescimento II: DC-50 (óleo de soja 12,56, inerte 6,12, EM 13,60 MJ), DC-100 (óleo de soja 6,53, inerte 12,15, EM 13,39 MJ), AM0 (inerte 0,0,  $\alpha$ -amilase 0,10), AM-50 (óleo de soja 12,56, inerte 6,02,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,60 MJ), AM-100 (óleo de soja 6,53, inerte 12,05,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,39 MJ); terminação I: DC-50 (óleo de soja 9,21, inerte 6,12, EM 13,60 MJ), DC-100 (óleo de soja 3,18, inerte 12,15, EM 13,39 MJ), AM0 (inerte 0,0,  $\alpha$ -amilase 0,10), AM-50 (óleo de soja 9,21, inerte 6,02,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,60 MJ), AM-100 (óleo de soja 3,18, inerte 12,05,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,39 MJ); terminação II: DC-50 (óleo de soja 6,02, inerte 7,54, EM 13,60 MJ), DC-100 (óleo de soja 0,0, inerte 13,57, EM 13,39 MJ), AM0 (inerte 1,42,  $\alpha$ -amilase 0,10), AM-50 (óleo de soja 6,02, inerte 7,44,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,60 MJ), AM-100 (óleo de soja 0,0, inerte 13,57,  $\alpha$ -amilase 0,10, EM 13,39 MJ)

### 3.2.2.3 Amostragem de sangue e metabólitos sanguíneos analisados

A coleta de sangue foi realizada em todos os animais ( $n = 7$  por tratamento) ao final do crescimento (40° dia) e terminação (80° dia) via punção da veia cava cranial, usando agulha de calibre  $40 \times 1,2$  mm. As doses de sangue foram transferidas para três tubos contendo fluoreto de potássio, ácido etilenodiamino tetra-acético e sem adição de anticoagulante. Todos os tubos foram previamente identificados, transferidos para dentro de uma caixa térmica refrigerada ( $\cong 4^{\circ}\text{C}$ ) e encaminhados ao laboratório de sangue para análise posterior. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (centrífuga analógica Centrilab, modelo 80-2B) a 3.000 g por um período de 10 minutos. Então,  $\cong 3$  mL de plasma ou soro foram transferidos para tubos de polietileno tipo eppendorf previamente identificados.

As análises sanguíneas de amilase (método cinético-colorimétrico – Cloronitrofenol, Cat. 407), aspartato aminotransferase (método cinético – UV, Cat. 421), alanina aminotransferase (método cinético – UV, Cat. 422), colesterol total (método enzimático-colorimétrico, Cat. 460), glicose (método enzimático-colorimétrico, Cat. 434), proteínas totais (método enzimático-biureto, Cat. 418), triglicerídeos (método enzimático-colorimétrico, Cat. 459) e ureia (método enzimático-colorimétrico, Cat. 427) foram realizadas por espectrofotometria, com o auxílio de um analisador (Bel Engineering, modelo Bel SPECTRO S05, Monza, Itália), utilizando kits específicos ANALISA (Gold Analisa Diagnóstica - Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil).

### 3.2.2.4 Procedimentos de abate e atributos de carcaça e carne

Aos 88 dias de experimentação, os animais de cada tratamento ( $n = 7$ ) foram transportados para um frigorífico comercial (Medianeira, PR, Brasil) com certificação federal e abatidos após jejum alimentar de 20 horas. O procedimento para insensibilização dos animais foi realizado por meio de anestésico inalatório contendo dióxido de carbono seguido de sangria, de acordo com Calvo e Ludtke (2018). 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: espessura de toucinho, percentagem de músculo na carcaça e de carne magra, e quantidade de carne magra foram mensuradas no próprio abatedouro, por meio da pistola de tipificação de carcaças suínas (Ultrafom 300, SFK Technology, Herlev, Denmark). O peso da carcaça foi determinado usando uma balança (modelo, alfa instrumentos, São Paulo, São Paulo, Brasil) da própria linha de abate no

refrigerado. As variáveis rendimento de carcaça e de carne, e quantidade de carne resfriada foram calculadas.

O comprimento da carcaça foi mensurado (bordo cranial da sínfise púbica até o bordo cranial do atlas) após o choque de resfriamento das carcaças 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). Então, foi coletado  $\cong$  30 cm do músculo *longissimus lumborum* entre a última vértebra torácica com a primeira vértebra lombar no sentido caudal-cranial. As amostras foram imediatamente transferidas para sacos plásticos de polietileno previamente identificados e acondicionadas em caixas térmicas refrigeradas (4°C) e transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Animal (TPOA) da Unioeste.

O valor de pH e da temperatura no músculo *l. lumborum* foram mensurados com o auxílio de um medidor portátil de pH e temperatura (modelo AK103 - Asko produtos eletrônicos Ltda, São Leopoldo, RS, Brasil), na posição da última costela quatro horas *post mortem*, após choque de resfriamento das carcaças, e 24 horas *post mortem*.

No laboratório de TPOA, após manter as amostras sob refrigeração por 24 horas ( $\cong$  2°C), a espessura de toucinho (mm) e profundidade de lombo (mm) foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro digital (MTX, stainless hardened). Para a determinação da área de olho de lombo (AOL) do músculo *l. lumborum*, 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 feitos em um *software* (imageJ 1.53e – Java).

A coloração da carne foi determinada após a exposição da amostra ao ar por 15 minutos para a oxigenação do músculo e posterior análise pelo aparelho 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 *l. lumborum*.

O grau de marmoreio da carne foi determinado com o auxílio de padrões fotográficos, 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, as amostras foram desossadas e o músculo l. lumborum foi seccionado sequencialmente com cortes transversais em 4 subamostras de 2,5 cm cada. As subamostras foram utilizadas para determinação da perda de líquido por gotejamento (PLG), descongelamento (PLD), cocção (PLC), força de cisalhamento (FC) e análises químicas, enquanto a quarta subamostra foi congelada como reserva. A subamostra 1 foi utilizada para avaliação da PLG. Para avaliação da FC foram utilizadas peças de 1,5 cm da subamostra 2 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 subamostra 3 foi descongelada em geladeira (4°C). A gordura e o tecido conjuntivo foram extraídos com auxílio de uma faca para posterior trituração das subamostras em um micro-processador (marca britânia, modelo EAN 200, São Paulo Brasil). O conteúdo residual foi acondicionado nos sacos plásticos de origem identificados, para determinação da umidade (método 930.15, AOAC, 2006), matéria mineral (método 942.05, AOAC, 2006) e PB (método 984.13, AOAC, 2006) e extrato etéreo (Am 5-04, AOCS, 2017) utilizando extrator ankom (modelo XT15, NY, USA).

A profundidade de lombo *in vivo* (mm) foi avaliada na região lombar P2 em suínos na fase de crescimento (aos 50 kg de PC) e terminação (aos 120 kg de PC), utilizando o equipamento Ultrassom Aloka (modelo Echo Camera, SSD-500, Tokyo, Japão).

#### 3.2.2.5 Digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes e energia aparente

O indicador CIA (cinza ácida insolúvel, celite®) foi adicionado às dietas testes, na proporção de 10 g/kg de dieta ao final das fases de crescimento e terminação. As dietas contendo o indicador fecal foram homogeneizadas com o auxílio de um misturador vertical por 15 minutos (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016).

Em cada fase, as dietas adicionadas com indicador foram fornecidas durante três dias antes do início da coleta e no 4º dia foi realizada a coleta parcial de fezes, conforme a metodologia adaptada de Kavanagh et al. (2001), em que foram registrados o início e o final do fornecimento das dietas e o consumo real das dietas por baia. As fezes foram coletadas por 12 horas ininterruptas 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

em caixas térmicas refrigeradas ( $\cong 4^{\circ}\text{C}$ ). Após o fim da coleta, as amostras foram armazenadas em freezer ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) para futura avaliação. Posteriormente, o processo de preparo e análise das amostras foram realizados como descrito no Exp. I.

A análise de CIA foi realizada por digestão com ácido clorídrico (4N), seguindo os procedimentos adaptados de Kavanagh et al. (2001). A composição bromatológica das dietas experimentais e fezes coletadas foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Silva e Queiroz (2002). As análises de EB das dietas e fezes foram realizadas por intermédio da queima de amostras em bomba calorimétrica (IKA®, modelo C200, Wilmington, Carolina do Norte, USA).

Com base nos valores brutos das análises, foram calculados a porcentagem de recuperação da CIA e os CDATT de MS (CDATTMS), MO (CDATTMO), PB (CDATTPB), EB (CDATTEB). Os valores de nutrientes digestíveis para MS digestível (MSD, g/kg), MO digestível (MOD, g/kg), proteína digestível (PD, g/kg) e energia digestível (ED, kcal/kg) foram calculados de acordo com as fórmulas estabelecidas por Sakomura e Rostagno (2016).

### 3.2.2.6 Procedimentos estatísticos

Antes de avaliar o resultado da análise de covariância (ANCOVA) ou variância (ANOVA) foi verificada a análise dos resíduos padronizados de Student. 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 avaliadas previamente utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente.

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 foi usado como covariável. Para as variáveis de DATT (Exp. I), o efeito aleatório de bloco foi baseado nas rodadas ao longo do tempo. Para as variáveis de DATT (Exp. II), metabólitos sanguíneos (Exp. II) e atributos de carcaça e carne, o modelo estatístico utilizado foi o mesmo usado para as variáveis de desempenho zootécnico sem incluir o efeito de covariável.

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 post hoc t-student ao nível de 10% de probabilidade. Quando detectada significância ( $P < 0,10$ ) na ANCOVA ou ANOVA, a análise do efeito de grupo de

tratamento foi feita pelo teste F para 2 contrastes ortogonais estabelecidos (DC vs AM, e DC- vs AM-).

O valor de probabilidade de 10% foi utilizado quando o poder do teste ( $1-\beta$ ) foi inferior a 80% (GENOVA, 2021; TRAUTENMÜLLER et al., 2021). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se dos procedimentos do SAS University Edition (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Todos os dados foram apresentados como médias com erro padrão da média agrupado.

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Digestibilidade aparente do trato total de nutrientes e conteúdo energético (Exp. I)

Não houve efeito ( $P > 0,10$ ) de tratamento dietético sobre os CDATTMS, CDATTMO, CDATTPB, CDATTAM, MSD, MOD e EM:ED (Tabela 4). Entretanto, os CDATTEB e CMEB foram maiores ( $P = 0,008$  e  $P = 0,017$ ) em suínos alimentados com dietas contendo  $\alpha$ -amilase em comparação aos alimentado com a dieta DC. Os suínos alimentados com as dietas AM0 e AM-100 apresentaram ( $P = 0,0006$ ) maior PD que os que consumiram as dietas AM-50 e DC. Houve efeito ( $P = 0,014$ ) de tratamento dietético, em que os suínos alimentados à base de dietas AM0 e AM-50 tiveram um incremento de 0,6% e 0,5% para AMD em comparação àqueles que receberam a dieta DC. Ainda, as dietas à base de  $\alpha$ -amilase mostraram ( $P < 0,0001$ ) maior ED e EM em comparação aos animais que consumiram a dieta DC.

Tabela 4. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento sobre a digestibilidade aparente do trato total (como base na matéria seca) no dia 12 (Exp. I)

Item <sup>1)</sup>	Tratamentos <sup>2)</sup>				EPM <sup>3)</sup>	P-value
	DC	AM0	AM-50	AM-100		
Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total						
CDATTMS	0,891	0,901	0,892	0,888	0,236	0,371
CDATTMO	0,912	0,920	0,917	0,917	0,217	0,608
CDATTPB	0,898	0,912	0,903	0,907	0,312	0,614
CDATTAM	0,984	0,989	0,988	0,986	0,068	0,144
CDATTEB	0,894 <sup>b</sup>	0,908 <sup>a</sup>	0,913 <sup>a</sup>	0,910 <sup>a</sup>	0,247	0,008
CMEB	0,869 <sup>b</sup>	0,884 <sup>a</sup>	0,889 <sup>a</sup>	0,889 <sup>a</sup>	0,282	0,017
Digestibilidade dos nutrientes e conteúdo energético						
MSD (g/kg)	792	799	791	787	0,227	0,370
MOD (g/kg)	844	849	841	836	0,205	0,137
PD (g/kg)	222 <sup>b</sup>	242 <sup>a</sup>	229 <sup>b</sup>	244 <sup>a</sup>	0,246	0,0006
AMD (g/kg)	419 <sup>b</sup>	421 <sup>a</sup>	421 <sup>a</sup>	420 <sup>ab</sup>	0,034	0,014
ED (kcal/kg)	3637 <sup>d</sup>	3890 <sup>c</sup>	4104 <sup>a</sup>	4047 <sup>b</sup>	33,531	<0,0001
EM (kcal/kg)	3536 <sup>c</sup>	3786 <sup>b</sup>	3997 <sup>a</sup>	3952 <sup>a</sup>	33,902	<0,0001
EM:ED	0,972	0,973	0,974	0,976	0,156	0,803

<sup>a,b</sup> Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0,1$ ).

<sup>1)</sup> Coeficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria seca (CDATTMS), matéria orgânica (CDATTMO), proteína (CDATTPB), amido (CDATTAM), energia bruta (CDATTEB) e coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB); nutrientes digestíveis: matéria seca digestível (MSD g/kg), matéria orgânica digestível (MOD g/kg), proteína digestível (PD g/kg), amido digestível (AMD g/kg), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM).

<sup>2)</sup> Dieta controle (DC) sem  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>3)</sup> Erro padrão da média agrupado.



### 3.3.2 Balanço de N (Exp. I)

Os suínos alimentados com a dieta AM0 apresentaram maior excreção de N na urina em g/d ( $P = 0,085$ ) e em g/kg PC<sub>0,75</sub>/d ( $P = 0,052$ ) em comparação aos alimentados com as demais dietas (Tabela 5). Os suínos alimentados com as dietas AM0 e AM-100 apresentaram ( $P = 0,068$ ) incremento de 10,7% e 13,3% na variável N absorvido em g/kg PC<sub>0,75</sub>/d que a dieta DC, respectivamente.

Tabela 5. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento sobre o balanço de N no dia 12 (Exp. I)

Item	Tratamentos <sup>1)</sup>				EPM <sup>2)</sup>	P-value
	DC	AM0	AM-50	AM-100		
N ingerido (g/d)	41,04	43,46	41,71	44,92	1,11	0,401
N ingerido (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	2,99	3,27	3,06	3,36	0,07	0,102
N fecal (g/d)	4,19	3,77	3,90	4,10	0,75	0,735
N fecal (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	0,31	0,29	0,29	0,31	0,06	0,807
N urina (g/d)	6,72 <sup>b</sup>	9,95 <sup>a</sup>	7,14 <sup>b</sup>	7,61 <sup>b</sup>	2,71	0,085
N urina (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	0,50 <sup>b</sup>	0,75 <sup>a</sup>	0,52 <sup>b</sup>	0,56 <sup>b</sup>	0,19	0,052
N absorvido (g/d)	36,85	39,68	37,80	40,82	6,27	0,352
N absorvido (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	2,69 <sup>b</sup>	2,98 <sup>a</sup>	2,78 <sup>ab</sup>	3,05 <sup>a</sup>	0,42	0,068
N retido (g/d)	30,13	29,73	30,67	33,21	5,76	0,277
N retido (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	2,19	2,23	2,27	2,49	0,42	0,127
N retido/ingerido (%)	73,32	68,40	73,54	73,29	5,86	0,164
N retido/absorvido (%)	81,57	75,02	81,27	80,80	6,19	0,104
Total N excretado (g/d)	10,91	13,72	11,04	11,71	2,86	0,199
Total N excretado (g/kg PC <sup>0.75</sup> /d)	0,81	1,03	0,80	0,86	0,20	0,107

<sup>a,b</sup> Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0.1$ ).

<sup>1)</sup> Dieta controle (DC) sem  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>2)</sup> Erro padrão da média agrupado.

### 3.3.3 Desempenho zootécnico

Os animais do crescimento I alimentados com a dieta AM-100 tiveram ( $P = 0,018$ ) maior F:G do que os que consumiram as dietas DC-50 e DC-100 (Tabela 6). Considerando a análise por contrastes ortogonais, os suínos em crescimento I do grupo AM tiveram ( $P = 0,022$ ) maior F:G em comparação ao grupo DC.

Os suínos em terminação I alimentados com a dieta DC-50 tiveram ( $P = 0,089$ ) maior F:G que os alimentados com as dietas DC-100, AM0 ou AM-50. Na fase de terminação II, os suínos alimentados com a dieta DC-100 tiveram ( $P = 0,032$ ) maior GPD que os alimentados com a dieta AM-50. Além disso, os suínos alimentados com a dieta AM-50 apresentaram ( $P =$

0,008) menor CRDM em comparação aos alimentados com as dietas DC-50, DC-100, AM0 e AM-100. Por meio de contrastes ortogonais, os suínos em terminação I alimentados com o grupo DC tiveram ( $P = 0,035$ ) maior F:G que o grupo AM. Na fase de terminação II, os suínos alimentados com o grupo DC tiveram ( $P = 0,072$ ) maior GPD em comparação àqueles com o grupo AM.

No período total, a adição de  $\alpha$ -amilase em dietas indicou ( $P > 0,10$ ) potencial em compensar o desempenho zootécnico (PCF, GPD e CRDM) em suínos que consumiram dietas com ou sem redução de EM. Também, a F:G foi similar ( $P = 0,018$ ) entre os suínos dos tratamentos dietéticos sem  $\alpha$ -amilase e AM0 ou AM-50, mas superior quando os animais receberam a dieta AM-100.

Tabela 6. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento-terminação sobre o desempenho zootécnico (Exp. II)

Item <sup>1</sup>	Tratamentos experimentais <sup>2</sup>								EPM <sup>3</sup>	P-value	P-value <sup>4</sup>	
	DC0	DC-50	DC-100	Média	AM0	AM-50	AM-100	Média			DC vs AM	DC- vs AM-
Crescimento I (d 0 até 28)												
PCI, kg	25,81	25,82	25,78	25,80	25,78	25,78	25,88	25,82	0,20	-	-	-
PCF, kg	50,36	50,64	50,57	50,52	50,42	50,66	50,14	50,41	0,43	0,998	0,887	0,832
GPD, g/dia	877	887	885	883	872	881	866	873	0,01	0,998	0,752	0,748
CRDM, g/dia	1640	1558	1581	1593	1585	1641	1667	1631	0,03	0,805	0,471	0,193
F:G, g:g	1,87 <sup>ab</sup>	1,76 <sup>b</sup>	1,79 <sup>b</sup>	1,81	1,83 <sup>ab</sup>	1,86 <sup>ab</sup>	1,93 <sup>a</sup>	1,87	0,02	0,018	0,022	0,001
Crescimento II (d 28 até 46)												
PCF, kg	69,71	71,29	70,71	70,57	68,50	69,36	70,00	69,29	0,78	0,932	0,410	0,481
GPD, g/dia	1086	1147	1119	1117	1107	1127	1103	1112	0,02	0,972	0,907	0,729
CRDM, g/dia	2246	2277	2286	2270	2271	2320	2416	2336	0,04	0,857	0,413	0,383
F:G, g:g	2,07	1,99	2,06	2,04	2,06	2,06	2,20	2,10	0,02	0,221	0,194	0,080
Terminação I (d 46 até 70)												
PCF, kg	99,64	100,79	102,36	100,93	100,21	99,21	99,07	99,50	1,12	0,961	0,535	0,387
GPD, g/dia	1268	1229	1319	1272	1321	1244	1212	1259	0,02	0,551	0,759	0,374
CRDM, g/dia	2706	2762	2768	2745	2678	2569	2560	2602	0,04	0,410	0,059	0,031
F:G, g:g	2,15 <sup>ab</sup>	2,26 <sup>a</sup>	2,10 <sup>b</sup>	2,17	2,04 <sup>b</sup>	2,07 <sup>b</sup>	2,12 <sup>ab</sup>	2,07	0,02	0,089	0,035	0,113
Terminação II (d 70 até 88)												
PCF, kg	122,43	125,59	128,14	125,39	125,21	119,93	120,93	122,02	1,17	0,284	0,143	0,025
GPD, g/dia	1266 <sup>ab</sup>	1352 <sup>ab</sup>	1432 <sup>a</sup>	1350	1389 <sup>ab</sup>	1151 <sup>b</sup>	1214 <sup>ab</sup>	1251	0,03	0,033	0,072	0,003
CRDM, g/dia	3796 <sup>ab</sup>	3887 <sup>a</sup>	4147 <sup>a</sup>	3943	4016 <sup>a</sup>	3457 <sup>b</sup>	3984 <sup>a</sup>	3819	0,06	0,008	0,227	0,022
F:G, g:g	3,02	2,90	2,92	2,95	2,92	3,05	3,32	3,10	0,06	0,255	0,177	0,048
Período total (d 0 até 88)												
PCF, kg	122,43	123,14	128,14	124,57	125,21	119,93	120,93	122,02	1,27	0,464	0,319	0,100
GPD, g/dia	1098	1106	1163	1122	1130	1070	1080	1093	0,01	0,461	0,319	0,099
CRDM, g/dia	2490	2459	2574	2508	2493	2385	2538	2472	0,03	0,587	0,560	0,464
F:G, g:g	2,27 <sup>ab</sup>	2,23 <sup>b</sup>	2,22 <sup>b</sup>	2,24	2,21 <sup>b</sup>	2,23 <sup>b</sup>	2,35 <sup>a</sup>	2,26	0,01	0,018	0,344	0,035

<sup>a,b</sup> Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0.1$ ).

<sup>1</sup> PCI: peso corporal inicial; PCF: peso corporal final; GPD: ganho de peso diário; CRDM: consumo de ração diário médio; F:G: taxa de alimentação para ganho.

<sup>2</sup> Dieta controle (DC) sem adição de  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM) (DC0), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (DC-50), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (DC-100), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>3</sup> EPM: erro padrão da média agrupado.

<sup>4</sup> Nível de significância para os contrastes ortogonais – DC: DC0, DC-50 e DC-100; AM: AM0, AM-50 e AM-100; DC-: DC-50 e DC-100; AM-: AM-50 e AM-100.

### 3.3.4 Metabólitos sanguíneos

Os suínos em crescimento alimentados com as dietas AM-100, DC0 e DC-50 apresentaram ( $P = 0,019$ ) maior concentração de amilase plasmática do que os alimentados com a dieta DC-100 (Tabela 7). Os suínos em terminação alimentados com as dietas AM-100 e DC0 apresentaram ( $P = 0,021$ ) concentrações de triglicerídeos inferiores em comparação aos alimentados com a dieta AM0. Não houve efeito ( $P > 0,10$ ) entre grupos por meio de análise de contrastes ortogonais.

Tabela 7. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento-terminação sobre os metabólitos sanguíneos (Exp. II)

Item <sup>1</sup>	Tratamentos experimentais <sup>2</sup>								EPM <sup>3</sup>	P-value	P-value <sup>4</sup>	
	DC0	DC-50	DC-100	Média	AM0	AM-50	AM-100	Média			DC vs AM	DC- vs AM-
Crescimento (ao 40º dia)												
Amilase, U/dL	774,76 <sup>a</sup>	759,39 <sup>a</sup>	703,70 <sup>b</sup>	745,95	745,76 <sup>ab</sup>	750,11 <sup>ab</sup>	755,33 <sup>a</sup>	750,40	6,20	0,019	0,689	0,126
Ureia, mg/dL	17,36	18,41	20,82	18,86	18,73	21,52	20,92	20,39	0,63	0,316	0,225	0,296
Glicose, mg/dL	90,67	89,08	92,86	90,87	90,40	93,05	91,69	91,71	1,25	0,949	0,750	0,667
Colesterol total, mg/dL	76,85	69,12	87,44	77,80	75,46	82,27	74,91	77,55	2,09	0,165	0,950	0,950
Triglicerídeos, mg/dL	41,41	39,36	43,25	41,34	38,50	43,14	46,60	42,75	1,42	0,630	0,629	0,320
Proteínas totais, g/dL	6,18	5,49	6,03	5,90	5,99	5,68	6,16	5,94	0,09	0,207	0,810	0,474
AST, U/L	37,46	27,44	30,85	31,91	29,36	31,09	28,28	29,57	1,32	0,299	0,374	0,866
ALT, U/L	30,18	25,69	25,94	27,27	28,14	25,98	24,00	26,05	0,87	0,414	0,487	0,703
Terminação (ao 80º dia)												
Amilase, U/dL	764,37	762,26	747,90	758,18	764,37	770,76	764,03	766,39	2,48	0,156	0,092	0,041
Ureia, mg/dL	19,80	21,18	21,46	20,82	17,66	19,42	25,31	20,80	0,86	0,173	0,990	0,611
Glicose, mg/dL	81,08	82,09	74,91	79,36	76,29	76,70	79,43	77,47	1,56	0,752	0,563	0,914
Colesterol total, mg/dL	85,04	88,56	92,67	88,76	85,46	92,58	84,88	87,64	2,44	0,880	0,828	0,764
Triglicerídeos, mg/dL	33,21 <sup>b</sup>	38,22 <sup>ab</sup>	42,02 <sup>ab</sup>	37,82	45,89 <sup>a</sup>	37,85 <sup>ab</sup>	34,88 <sup>b</sup>	39,54	1,22	0,021	0,433	0,167
Proteínas totais, g/dL	7,21	7,24	6,75	7,07	7,02	6,79	7,59	7,13	0,10	0,113	0,726	0,396
AST, U/L	30,93	31,01	31,80	31,25	28,10	41,28	26,04	31,81	1,89	0,272	0,881	0,622
ALT, U/L	31,55	28,02	25,69	28,42	33,05	29,30	29,06	30,47	1,22	0,603	0,413	0,448

<sup>a,b</sup> Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0.1$ ).

<sup>1</sup> AST, U/L: Aspartato aminotransferase; ALT, U/L: Alanina aminotransferase.

<sup>2</sup> Dieta controle (DC) sem adição de  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM) (DC0), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (DC-50), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (DC-100), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>3</sup> EPM: erro padrão da média agrupado.

<sup>4</sup> Nível de significância para os contrastes ortogonais – DC: DC0, DC-50 e DC-100; AM: AM0, AM-50 e AM-100; DC-: DC-50 e DC-100; AM-: AM-50 e AM-100.

### 3.3.5 Atributos de carcaça e carne

Em relação às características quantitativas da carne, os suínos que receberam a dieta AM0 apresentaram ( $P = 0,011$ ) maior PLt em comparação aos alimentados com as dietas DC0, DC-50, AM-50 e AM-100 (Tabela 8). Similarmente, os animais do grupo AM apresentaram ( $P = 0,083$ ) um incremento de 4,4% na PLt em comparação ao grupo DC.

Em relação às características qualitativas da carne, os suínos alimentados com as dietas DC-50 e DC-100 tiveram ( $P = 0,082$ ) maior valor na variável  $a^*$  do que os com a dieta AM0 (Tabela 7). Observou-se, ainda, que os animais os quais receberam as dietas sem  $\alpha$ -amilase ou AM0 tiveram ( $P = 0,099$ ) maior conteúdo de MM na carne quando comparados aos com as dietas AM-50 e AM-100.

Maior ( $P = 0,001$ ) proteína bruta na carne foi observada em suínos alimentados com a dieta AM-100 comparados aos demais tratamentos dietéticos. Os animais que receberam a dieta AM-100 apresentaram ( $P = 0,025$ ) menor valor de umidade na carne em comparação aos animais alimentados com as dietas DC-100, AM0 e AM-50, e maior ( $P = 0,078$ ) EE na carne em animais alimentados com a dieta AM-100 quando comparados aos que receberam as dietas DC-100 e AM0.

Por meio de contrastes ortogonais, os animais alimentados com o grupo DC apresentaram ( $P = 0,024$ ) maior valor em  $a^*$  do que o grupo AM. Também, os animais do grupo DC tiveram ( $P = 0,064$ ) maior teor de MM na carne do que os alimentados com o grupo AM, mas os suínos alimentados com o grupo AM tiveram ( $P = 0,007$ ) maior conteúdo de PB na carne em comparação aos do grupo DC.

Tabela 8. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento-terminação sobre os atributos de carcaça e carne no dia 88 (Exp. II)

Item <sup>1</sup>	Tratamentos experimentais <sup>2</sup>								EPM <sup>3</sup>	P-value	P-value <sup>4</sup>	
	DC0	DC-50	DC-100	Média	AM0	AM-50	AM-100	Média			DC vs AM	DC- vs AM-
CCARC, cm	99,33	98,00	98,14	98,45	96,86	98,43	97,86	97,71	0,44	0,766	0,393	0,948
PC, kg	83,33	84,27	87,31	85,06	87,50	82,22	82,34	84,02	0,99	0,444	0,634	0,151
ETpis, mm	21,28	16,76	18,87	18,86	18,29	14,34	19,80	17,48	0,88	0,290	0,393	0,724
ETpaq, mm	17,15	17,20	16,16	16,82	15,99	13,22	18,70	15,97	0,79	0,489	0,591	0,713
PLpaq, mm	51,18	51,32	53,52	52,05	55,30	53,57	52,88	53,91	0,62	0,419	0,134	0,595
PLc, mm	41,71	42,14	40,71	41,52	44,00	39,86	42,00	41,95	0,67	0,611	0,753	0,765
PLt, mm	49,93 <sup>b</sup>	50,86 <sup>b</sup>	53,63 <sup>ab</sup>	51,47	58,07 <sup>a</sup>	52,19 <sup>b</sup>	51,06 <sup>b</sup>	53,77	0,74	0,011	0,083	0,697
Músculo, %	49,33	54,71	50,00	51,45	56,57	55,14	52,00	54,57	1,19	0,424	0,184	0,675
RCQ	68,46	68,45	68,12	68,34	69,82	68,53	68,08	68,81	0,20	0,114	0,226	0,963
CM, %	53,93	56,87	55,68	55,76	56,30	58,50	54,60	56,22	0,64	0,532	0,473	0,867
CM, kg	44,20	47,86	48,87	47,35	49,23	49,15	45,53	47,91	0,71	0,265	0,487	0,555
CM II, %	55,17	55,16	55,98	55,45	56,26	57,69	54,44	56,13	0,46	0,406	0,454	0,656
QCC, kg	45,92	46,40	48,62	47,03	48,91	47,36	44,75	47,01	0,50	0,106	0,976	0,211
AOL, cm <sup>2</sup>	45,13	44,31	50,47	46,71	50,69	48,64	45,08	48,13	0,91	0,120	0,392	0,799
pH I	6,51	6,43	6,40	6,44	6,51	6,32	6,33	6,39	0,03	0,464	0,431	0,317
pH II	5,83	5,83	5,82	5,82	5,76	5,59	5,81	5,72	0,04	0,446	0,183	0,199
Temp I, °C	14,82	15,33	14,84	15,00	15,40	14,36	14,92	14,89	0,22	0,806	0,829	0,436
Temp II, °C	0,80	0,77	0,73	0,77	1,03	0,89	0,77	0,60	0,06	0,760	0,316	0,610
Esc Cor	3,33	3,43	3,79	3,53	3,29	3,50	3,57	3,45	0,09	0,621	0,721	0,739
L*	43,64	44,91	44,03	44,22	45,83	46,85	45,01	45,90	0,41	0,235	0,039	0,137
a*	4,88 <sup>ab</sup>	5,06 <sup>a</sup>	5,44 <sup>a</sup>	5,14	4,17 <sup>b</sup>	4,85 <sup>ab</sup>	4,67 <sup>ab</sup>	4,56	0,13	0,082	0,024	0,096
b*	3,81	4,35	4,20	4,14	3,24	3,99	3,45	3,56	0,20	0,573	0,174	0,262
Croma	8,20	8,16	8,91	8,44	7,12	8,18	8,01	7,77	0,23	0,408	0,168	0,437
Marm	2,33	1,86	2,00	2,05	2,00	1,57	2,71	2,10	0,15	0,356	0,918	0,565
PPG, %	4,52	6,04	6,67	5,80	6,08	7,33	6,07	6,49	0,35	0,361	0,285	0,680
PPD, %	6,58	7,58	8,38	7,56	7,20	7,30	6,90	7,13	0,35	0,792	0,604	0,324
PPC, %	15,28	16,10	17,69	16,41	18,44	15,56	17,69	17,23	0,43	0,171	0,299	0,788
FC, kgf/seg	4,11	3,95	4,38	4,15	4,11	4,08	4,18	4,13	0,11	0,945	0,931	0,912
MM, %	1,21 <sup>a</sup>	1,17 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>	1,18	1,18 <sup>a</sup>	1,15 <sup>b</sup>	1,15 <sup>b</sup>	1,16	0,01	0,099	0,064	0,153
PB, %	21,12 <sup>b</sup>	20,94 <sup>b</sup>	20,88 <sup>b</sup>	20,97	21,36 <sup>b</sup>	20,84 <sup>b</sup>	22,19 <sup>a</sup>	21,46	0,11	0,001	0,007	0,005
Umid, %	74,8 <sup>ab</sup>	75,00 <sup>ab</sup>	75,30 <sup>a</sup>	75,04	75,23 <sup>a</sup>	75,23 <sup>a</sup>	74,05 <sup>b</sup>	74,83	0,13	0,025	0,388	0,070
EE, %	2,39 <sup>ab</sup>	2,34 <sup>ab</sup>	1,82 <sup>b</sup>	2,17	1,68 <sup>b</sup>	2,07 <sup>ab</sup>	2,97 <sup>a</sup>	2,24	0,14	0,078	0,823	0,167

<sup>ab</sup> Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0.1$ ).

<sup>1</sup> CCARC, cm: comprimento de carcaça; PC, kg: peso de carcaça; ETpis, mm: espessura de toucinho mensurado na pistola Hennessy; ETpaq, mm: espessura de toucinho mensurada com paquímetro pós abate; PLpaq, mm: profundidade de lombo mensurada com paquímetro após o abate; PLc, mm: profundidade de lombo mensurada com ultrassom *in vivo* no final da fase de crescimento II; PLt, mm: profundidade de lombo mensurada com ultrassom *in vivo*; Músculo: porcentagem de músculo na carcaça (%); RCQ: rendimento de carcaça quente; CM, %: porcentagem de carne magra; CM, kg: carne magra; CM II, %: rendimento de carne; QCC, kg: quantidade de carne na carcaça resfriada; AOL, cm<sup>2</sup>: área de olho de lombo; pH I: 4 horas *post mortem* e choque de resfriamento das carcaças; pH II: 24 horas *post mortem*; Temp I, °C: temperatura 4 horas pós abate; Temp II, °C: temperatura 24 horas após o abate; Esc Cor: escore de cor do lombo; L\*: luminosidade; a\*: saturação e tonalidade, variação de verde a vermelho; b\*: saturação e tonalidade, variação entre azul e amarelo; Croma: saturação da carne, representa a pureza da cor; Marm: escore de marmoreio; PPG, %: perda de água por gotejamento; PPD, %: perda de água por descongelamento; PPC, %: perda de água por cocção; FC, kgf/seg: força de cisalhamento; MM, %: matéria mineral; PB, %: proteína bruta; Umid, %: umidade; EE, %: extrato etéreo.

<sup>2</sup> Dieta controle (DC) sem adição de  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM) (DC0), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (DC-50), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (DC-100), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>3</sup> EPM: erro padrão da média agrupado.

<sup>4</sup> Nível de significância para os contrastes ortogonais – DC: DC0, DC-50 e DC-100; AM: AM0, AM-50 e AM-100; DC-: DC-50 e DC-100; AM-: AM-50 e AM-100.

### 3.3.6 Ensaio de digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes e energia digestível (Exp. II)

Os animais em crescimento alimentados com as dietas DC-100, AM-50 e AM-100 apresentaram ( $P = 0,019$ ) maior CDATTMO do que os alimentados com a dieta AM0 (Tabela 9). Os suínos alimentados com as dietas DC-50, AM-50 e AM-100 apresentaram ( $P = 0,015$ ) maior CDATTPB que os alimentados com as dietas AM0 e DC0. Similarmente, os suínos alimentados com as dietas DC-100, AM-50 e AM-100 tiveram ( $P = 0,040$ ) maior CDATTEB que os alimentados com a dieta AM0. Além disso, maior ( $P = 0,002$ ) PD foi observada em animais alimentados com as dietas DC-50, AM-50 e AM-100 em comparação aos alimentados com a dieta DC0. Quando analisados os efeitos de grupos por meio de contrastes ortogonais, os animais do grupo AM tiveram ( $P = 0,005$ ) um incremento de 4,2% na PD em comparação ao grupo DC.

Os suínos em terminação alimentados com a dieta AM0 exibiram ( $P = 0,027$ ) maior CDATTMS do que os alimentados com a dieta DC-100. Maior ( $P = 0,035$ ) CDATTEB foi evidenciado em suínos que consumiram a dieta AM-100 em comparação àqueles com a dieta AM-50. Além disso, os animais alimentados com as dietas AM0 e AM-100 mostraram ( $P = 0,012$ ) maior MSD em comparação àqueles que receberam a dieta DC-100. Maior ( $P = 0,024$ ) MOD foi verificada em suínos alimentados com as dietas AM0 e AM-100 em comparação aos alimentados com as dietas DC-50, DC-100 e AM-50. Houve maior ( $P = 0,004$ ) PD em suínos alimentados com a dieta AM-50 que os com as dietas DC0, DC-100 e AM-100. Maior ( $P = 0,001$ ) ED foi obtida em animais que consumiram as dietas AM0, AM-100, DC0 e DC-50 em comparação aos alimentados com a dieta DC-100.

Quando avaliados os efeitos entre grupos, um incremento ( $P < 0,10$ ) de 0,9%, 1,0%, 0,9% e 1,2% nas variáveis CDATTMS, MSD, MOD e ED, respectivamente, foi observado em animais do grupo AM em comparação àqueles do grupo DC.



Tabela 9. Efeito da  $\alpha$ -amilase em dietas com ou sem redução de energia metabolizável para suínos em crescimento-terminação sobre a digestibilidade aparente do trato total (Exp. II)

Item <sup>1</sup>	Tratamentos experimentais <sup>2</sup>								EPM <sup>3</sup>	P-value	P-value <sup>4</sup>	
	DC0	DC-50	DC-100	Média	AM0	AM-50	AM-100	Média			DC vs AM	DC- vs AM-
Crescimento (ao 44º dia)												
CDATTMS	0,824	0,821	0,827	0,824	0,810	0,831	0,824	0,822	0,260	0,313	0,636	0,606
CDATTMO	0,849 <sup>ab</sup>	0,854 <sup>ab</sup>	0,863 <sup>a</sup>	0,855	0,833 <sup>b</sup>	0,862 <sup>a</sup>	0,862 <sup>a</sup>	0,852	0,300	0,019	0,558	0,657
CDATTPB	0,739 <sup>b</sup>	0,786 <sup>a</sup>	0,774 <sup>ab</sup>	0,766	0,739 <sup>b</sup>	0,787 <sup>a</sup>	0,782 <sup>a</sup>	0,769	0,587	0,015	0,764	0,714
CDATTEB	0,820 <sup>ab</sup>	0,825 <sup>ab</sup>	0,836 <sup>a</sup>	0,827	0,805 <sup>b</sup>	0,835 <sup>a</sup>	0,835 <sup>a</sup>	0,825	0,337	0,040	0,790	0,529
MSD (g/kg)	819	817	823	819	805	825	819	816	0,264	0,344	0,544	0,745
MOD (g/kg)	812	814	814	814	796	817	813	809	0,261	0,220	0,336	0,898
PD (g/kg)	118 <sup>b</sup>	126 <sup>a</sup>	125 <sup>ab</sup>	123	124 <sup>ab</sup>	131 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	129	0,105	0,002	0,005	0,026
ED (kcal/kg)	3689	3635	3634	3653	3628	3720	3644	3664	13,873	0,305	0,680	0,164
Terminação (ao 86º dia)												
CDATTMS	0,855 <sup>ab</sup>	0,846 <sup>ab</sup>	0,838 <sup>b</sup>	0,846	0,860 <sup>a</sup>	0,844 <sup>ab</sup>	0,858 <sup>ab</sup>	0,854	0,230	0,027	0,073	0,087
CDATTMO	0,878	0,877	0,876	0,877	0,884	0,875	0,893	0,884	0,220	0,131	0,095	0,131
CDATTPB	0,750	0,754	0,749	0,751	0,778	0,778	0,772	0,776	0,516	0,277	0,016	0,060
CDATTEB	0,855 <sup>ab</sup>	0,853 <sup>ab</sup>	0,847 <sup>ab</sup>	0,852	0,861 <sup>ab</sup>	0,845 <sup>b</sup>	0,870 <sup>a</sup>	0,858	0,253	0,035	0,142	0,213
MSD (g/kg)	850 <sup>ab</sup>	841 <sup>ab</sup>	832 <sup>b</sup>	841	857 <sup>a</sup>	839 <sup>ab</sup>	853 <sup>a</sup>	850	0,241	0,012	0,049	0,073
MOD (g/kg)	848 <sup>ab</sup>	840 <sup>b</sup>	835 <sup>b</sup>	841	855 <sup>a</sup>	839 <sup>b</sup>	854 <sup>a</sup>	849	0,223	0,024	0,047	0,068
PD (g/kg)	90 <sup>b</sup>	94 <sup>ab</sup>	90 <sup>b</sup>	91	94 <sup>ab</sup>	96 <sup>a</sup>	88 <sup>b</sup>	93	0,072	0,004	0,253	0,835
ED (kcal/kg)	3757 <sup>ab</sup>	3725 <sup>ab</sup>	3630 <sup>c</sup>	3704	3791 <sup>a</sup>	3687 <sup>bc</sup>	3769 <sup>ab</sup>	3749	12,693	0,001	0,031	0,047

<sup>a,b</sup>Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na linha, diferem entre si de acordo com o teste t de Student ( $P < 0.1$ ).

<sup>1</sup>Coefficientes de digestibilidade aparente do trato total da matéria seca (CDATTMS), matéria orgânica (CDATTMO), proteína bruta (CDATTPB) e energia bruta (CDATTEB). Nutrientes digestíveis: matéria seca digestível (MSD g/kg), matéria orgânica digestível (MOD g/kg), proteína digestível (PD g/kg) e energia digestível (ED kcal/kg).

<sup>2</sup> Dieta controle (DC) sem adição de  $\alpha$ -amilase e sem redução de energia metabolizável (EM) (DC0), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (DC-50), DC sem adição de  $\alpha$ -amilase com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (DC-100), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta e sem redução de EM (AM0), DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 50 kcal de EM/kg de dieta (AM-50) e DC + 100 g de  $\alpha$ -amilase/t de dieta com redução de 100 kcal de EM/kg de dieta (AM-100).

<sup>3</sup>EPM: erro padrão da média agrupado.

<sup>4</sup>Nível de significância para os contrastes ortogonais – DC: DC0, DC-50 e DC-100; AM: AM0, AM-50 e AM-100; DC-: DC-50 e DC-100; AM-: AM-50 e AM-100.

### 3.4. Discussão

#### 3.4.1 Ensaio de digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes e conteúdo energético (Exp. I)

Aqui, testou-se o efeito isolado de uma  $\alpha$ -amilase exógena em dietas para suínos porque o amido é um polissacarídeo constituído de amilose e amilopectina e pode conter lipídeos, proteínas e minerais (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; DAMORADAN; PARKIN; FENNEMA, 2010), que são fragmentados pela ação da enzima  $\alpha$ -amilase. Consequentemente, a solubilização e dissociação dos nutrientes unidos ao amido dentro do TGI dos animais, além da relação enzima:substrato e da capacidade absorptiva adequada do animal (COWIESON; VIEIRA; STEFANELLO, 2018) permite uma digestão eficiente dessa molécula.

Em um estudo anterior (WOYENGO et al., 2019), a adição dietética de  $\alpha$ -amilase promoveu maior aproveitamento dos nutrientes ligados ao amido. Este fato foi evidenciado no presente estudo quando maior PD foi obtida em suínos alimentados com dietas contendo  $\alpha$ -amilase, porque, com a degradação da molécula de amido, há o aumento da acessibilidade a outros nutrientes pelas enzimas endógenas no processo de digestão (WOYENGO et al., 2019).

Em razão da molécula de amido e compostos de N estarem associados à velocidade de digestão no TGI, um maior aproveitamento da PB e demais nutrientes é atribuído a uma taxa de digestão amilácea rápida que pode aumentar a assimilação de compostos proteicos (GIUBERTI et al., 2013). Notavelmente, uma maior digestibilidade do amido promove maior digestibilidade de energia (PARK et al., 2020), explicando os maiores valores de AMD, CDATTEB, CMEB, ED e EM em suínos alimentados com as dietas contendo  $\alpha$ -amilase.

Previamente (KIARIE et al., 2021), a avaliação dos CDATT dos nutrientes evidenciou a capacidade de uma  $\beta$ -mananase exógena adicionada em dietas em melhorar o aproveitamento da MS, EB, PB em suínos de creche, crescimento e terminação, e complementar ou auxiliar à ação das enzimas endógenas. Esse sinergismo entre a  $\alpha$ -amilase exógena e a amilase pancreática pode ter ocorrido no presente estudo devido ao aumento na DATT dos nutrientes em suínos de crescimento.

Ravindran (2013) relatou que os efeitos enzimáticos são mais efetivos quando há uma redução na densidade dos nutrientes dietéticos, em concordância com os achados do presente estudo. De fato, a adição enzimática objetiva restaurar o valor nutricional das dietas formuladas com conteúdo energético reduzido mediante o aumento da metabolizabilidade dos nutrientes (DE ANDRADE et al., 2021).

Uma maior digestibilidade da energia, amido e proteína obtida em estudos envolvendo suínos alimentados com dietas contendo  $\alpha$ -amilase associada ou não a redução energética na matriz nutricional (OMOGBENIGUN; NYACHOTI; SLOMINSKI, 2004; LI et al., 2010; SITANAKA et al., 2018; BALASUBRAMANIAN et al., 2020), assim como observado em outros estudos, observou-se nos achados deste estudo.

#### 3.4.2 Balanço de N (Exp. I)

O conteúdo de PB e o uso da enzima amilase afetou diretamente no metabolismo proteico para maior aproveitamento dos AAs em frangos de corte (WOYENGO et al., 2019) e influenciou positivamente no balanço de N, devido ao uso de complexos multi-enzimáticos de carboidrases em dietas para suínos em crescimento-terminação (RODRIGUES et al., 2002).

Woyengo et al. (2019) reportaram que a adição de  $\alpha$ -amilase permitiu tornar os nutrientes ligados ao amido mais acessíveis às enzimas endógenas para o processo de digestão. Esse fato foi evidenciado neste estudo porque houve maiores resultados de AMD, PD e N absorvido (g/kg PC0,75/d), conseqüentemente, uma maior taxa de digestão do amido promove um aumento na concentração de AAs plasmáticos e maior assimilação de proteínas relacionadas ao metabolismo de N (YIN et al., 2010).

Quantidades crescentes de AAs na dieta resultaram em um aumento de N excretado na urina e N retido em suínos de crescimento além de aumentarem o *turnover* proteico (ROTH et al., 1999). Os resultados do presente estudo indicaram que o aumento do N na urina (g/d ou g/kg BW0.75/d) também foi suportado pelo maior valor de PD e N absorvido (g/kg PC0.75/d) em suínos alimentados com a dieta AM0.

Embora foi observada maior excreção de N na urina (g/d e g/kg PC0.75/d) em suínos alimentados com a dieta AM0, não houve diferença entre os tratamentos dietéticos no N retido (g/d), devido à regulação dos níveis de N no organismo (BERTECHINI, 2012), uma vez que se verificou equivalente aumento do N absorvido (g/kg BW0.75/d) em animais do mesmo tratamento dietético. Entretanto, a excreção de N ocorre por uma taxa basal e pode ser influenciada diretamente pela manutenção da glicemia normal e ingestão excessiva de proteína, eliminando os AAs excedentes para as necessidades de manutenção e produção em suínos (BERTECHINI, 2012). Tal explicação também está relacionada com a ação da  $\alpha$ -amilase porque seus efeitos estão envolvidos em maior DATT dos nutrientes e aumento da concentração de glicose e N ureico plasmático (JO et al., 2012; LINHU, 2014).

A taxa de retenção de N é afetada por características físico-químicas e velocidade de degradação dos ingredientes, taxa de passagem da digesta, além do metabolismo glicêmico e seus hormônios reguladores (ROOYACKERS; NAIR, 1997; DREW; SCHAEFER; ZIJLSTRA, 2011; GIUBERTI et al., 2013). Esses fatores suportam os achados de N retido (g/kg BW<sup>0.75</sup>/d) mesmo com um maior N absorvido (g/kg BW<sup>0.75</sup>/d) em suínos alimentados com  $\alpha$ -amilase porque a adição de carboidrases em dietas para suínos pode não disponibilizar N suficiente ao metabolismo para alterar a retenção de N (RODRIGUES et al., 2002).

### 3.4.3 Desempenho zootécnico

Os resultados sugeriram que a F:G foi afetada diretamente pelos tratamentos dietéticos, embora diferenças entre tratamentos no GPD e CRDM foram observadas em suínos de terminação II. Este achado está relacionado com a pequena variação nos CDATT dos nutrientes entre os tratamentos dietéticos na fase de crescimento, porque o aproveitamento e metabolizabilidade dos nutrientes estimula o desempenho zootécnico dos animais (PARK et al., 2003; SILVA et al., 2013).

O fato dos suínos alimentados com dietas contendo  $\alpha$ -amilase não apresentarem diferenças nas demais variáveis de desempenho é explicado também pela variação dos alimentos utilizados na formulação das dietas, como os farelos de milho e soja que são ingredientes com alta digestibilidade da MO (ROSTAGNO et al., 2017). Além disso, a concentração enzimática adicionada na dieta pode justificar tais resultados, como reportado por Nery et al. (2000).

Quando analisado em conjunto, a maioria dos estudos com a utilização de amilase na alimentação de suínos mostraram efeitos positivos sobre a DATT dos nutrientes, mas nem sempre refletiram ganhos no desempenho zootécnico (ZHANG et al., 2014; SWIATKIEWICZ et al., 2015; HAN et al., 2017). Fatores intrínsecos dos animais como a variação no consumo de dieta (KIARIE et al., 2012), o fornecimento de níveis nutricionais suficientes para atender às exigências nutricionais independentemente da utilização de enzimas exógenas (SILVA et al., 2013), o nível de adição das enzimas na dieta, a presença de compostos antinutritivos e a inativação das enzimas pelo pH ácido no estômago contribuem para essa falta de resposta (RUIZ et al., 2008). Ainda, a falta de efeitos entre estudos com a adição de  $\alpha$ -amilase em dietas para suínos foi relacionada com variações na composição das dietas experimentais, ao tipo ou

a associação das enzimas utilizadas, que diferem em mecanismos de ação no TGI, e a fase dos animais (JO et al., 2012; CHEN et al., 2020).

Ruiz et al. (2008; 2018) reportaram que animais alimentados com dietas e níveis energéticos e nutricionais reduzidos (4% menos energia e 9% menos em proteína e AAs que as exigências nutricionais) associados à adição de enzimas exógenas (amilase, pentosanase, celulase, protease, galactosidase, glucanase, pectinase, xilanase e fitase) tiveram incremento nutricional concomitantemente manutenção do desempenho e redução da excreção de nutrientes nas fezes. Esse fato sugere que o desempenho zootécnico de suínos alimentados com dietas com redução energética suplementadas com enzimas deve ser similar ao de suínos com dietas sem redução e sem enzimas, como evidenciado por Sitanaka et al. (2018). Isso corrobora com os resultados deste estudo, em que a  $\alpha$ -amilase incrementou o valor nutricional nas dietas com redução da EM e suportou o desempenho dos animais. A redução energética em dietas suplementadas com enzimas pode ser atendida via aumento do consumo de dieta, e mesmo quando há maior DATT dos nutrientes, os suínos podem aumentar o consumo alimentar (KIARIE et al., 2012; ARANDA-AGUIRRE et al., 2021).

Outro ponto a ser considerado é a relação lisina digestível (LD):EM das dietas em estudos com carboidratos porque o teor e a relação dos AAs como a LD e EM favorecem a deposição de tecido magro e desempenho zootécnico em suínos (URYNEK; BURACZEWSKA, 2003). Além disso, a diferença na exigência nutricional e de deposição aminoacídica entre gêneros deve ser considerada porque a relação LD:EM para suínos machos inteiros é maior em comparação com a de machos castrados (ROSTAGNO et al., 2017), e este fato foi observado em suínos na fase de terminação I devido ao efeito da vacina anti-GnRF.

Consequentemente, a variação da relação LD:EM entre os tratamentos dietéticos pode ter influenciado negativamente no desempenho zootécnico porque a lisina, como aminoácido limitante na dieta de suínos, afeta diretamente a deposição proteica e o desenvolvimento dos animais (REYNOLDS; O'DOHERTY, 2006). As relações LD:EM de 3,48, 3,14, 2,7 e 2,27 para as fases de crescimento I e II, e terminação I e II, respectivamente (ROSTAGNO et al., 2017) são superiores as do presente estudo. Este fato explica os efeitos pouco evidenciados no desempenho zootécnico dos suínos porque não foi mantida a relação LD:EM, conforme reduziu a EM entre os tratamentos dietéticos. As dietas com redução energética suplementadas ou não com  $\alpha$ -amilase tiveram maior relação LD:EM, sugerindo que a manutenção da relação LD:EM permite adequada ingestão de AAs e energia ao animal (REZENDE et al., 2006).

#### 3.4.4 Metabólitos sanguíneos

Os suínos não apresentaram alterações nos metabólitos sanguíneos de ureia (14 a 18 mg/dL), glicose (93 a 120 mg/dL), colesterol total (97 a 106 mg/dL), proteínas totais (5 a 7 mg/dL), AST (25 a 142 U/L) e ALT (31 a 108 U/L), mantendo os valores próximos aos referenciados (AO et al., 2010; AO et al., 2011; JO et al., 2012; KLEM et al., 2009).

Pouco tem sido documentado na literatura sobre a influência da  $\alpha$ -amilase exógena em dietas sobre a concentração sérica de amilase em suínos. A concentração de amilase no sangue em suínos pode ter origem pancreática, hepática, salivar e intestinal, ou pela mucosa duodenal (BOUNOUS, 2005). Conseqüentemente, a composição das dietas afeta diretamente nas secreções exócrinas do pâncreas, ainda, os níveis séricos de amilase são alterados por carboidratos dietéticos como o amido e, portanto, a secreção de amilase aumenta quando a ingestão e digestão do amido aumentam (JAKOB; MOSENTHIN; SAUER, 1999).

A menor concentração de amilase no sangue em suínos alimentados com a dieta DC-100 na fase de crescimento poderia ser atribuída pela menor DATT dos nutrientes, mas todos os CDATT foram similares. O aumento na concentração de amilase no sangue poderia, ainda, estar relacionado ao conteúdo de carboidratos na dieta, no entanto, as dietas foram isonutricionais.

A concentração sérica de amilase não depende somente da produção e secreção pelo pâncreas exócrino, mas também pode ser um fator inter-relacionado com a insulina e da funcionalidade endócrina do pâncreas; entretanto, é necessária uma compreensão mais específica sobre a origem da amilase no sangue e a variação dos níveis dessa enzima (PIERZYNOWSKA, 2018). Os fatores mencionados dificultam a elucidação dos mecanismos responsáveis pela redução na concentração dessa enzima no soro em suínos alimentados com a dieta DC-100, devido à interpretação do perfil bioquímico ser complexa e alterada por vários fatores (GONZÁLEZ; DA SILVA, 2017).

Anteriormente, a redução na concentração de triglicerídeos plasmáticos foi associada com a redução no provimento de conteúdo alimentar ao TGI, na digestão e absorção dos nutrientes (CHIVANDI et al., 2006), no conteúdo de energia (FACHINELLO et al., 2015), carboidratos e lipídeos na alimentação (MERSMANN; ARAKELIAN; BROWN, 1979).

A digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes resulta em alterações na concentração dos metabólitos sanguíneos porque maior CDATT proporciona maior absorção e metabolização dos nutrientes. No presente estudo, a maior concentração de triglicerídeos em suínos alimentados com a dieta AM0 não é explicada pela diferença no aproveitamento dos

nutrientes porque não houve efeito em animais alimentados com as dietas DC0, AM0 e AM-100 sobre a DATT. Entretanto, foi observado um aumento numérico do CRDM dos animais alimentados com a dieta AM0 nas fases de terminação, o que, provavelmente, alterou a concentração de triglicédeos.

#### 3.4.5 Atributos de carcaça e carne

Os resultados indicaram que os animais alimentados com a dieta AM0 tiveram maior PLt comparados aos demais tratamentos dietéticos, exceto em suínos que consumiram a dieta DC-100. Esse fato é atribuído pelo maior PC dos animais ao abate (DUTRA et al., 2001). Em acordo com esse resultado, foi observado maiores valores de AOL e PL conforme aumentou o PCF dos suínos.

Embora os suínos que receberam a dieta AM tiveram menor PCF ao abate, foi evidenciado maior PLt em comparação aos animais com a dieta DC, confirmando a ação da  $\alpha$ -amilase exógena no estudo atual. Isso é suportado pelo fato de que a quantidade de proteína depositada depende da ingestão ou disponibilidade de AAs e energia (PETTIGREW; ESNAOLA, 2001). Por essa razão, o aumento no percentual de PB na carne de suínos do grupo AM indicou maior disponibilidade de AAs para a deposição proteica, o que também pode estar associado a maior PD na fase de crescimento e no CDATTPB na fase de terminação.

A adição de amilase exógena afetou positivamente nas características da carcaça e carne em suínos (SILVA et al., 2013; BALASUBRAMANIAN et al., 2020). Em consequência, a utilização da proteína nas dietas varia entre indivíduos de uma mesma população (BROSSARD et al., 2009) porque há diferença na metabolização dos AAs para construção de proteína muscular (MONTEIRO et al., 2018). Essa ideia suporta a variação entre os valores de PB na carne de suínos no presente estudo porque a deposição de proteína muscular envolve processos metabólicos e regulação hormonal (NELSON; COX, 2014), disponibilidade de energia (PONTES; SEVOSTYANOVA; GROISMAN, 2015) e de AAs (GARLICK; GRANT, 1988; BIOLO et al., 1997). Isso explica os achados deste estudo em suínos alimentados com  $\alpha$ -amilase sobre a ED, PD, CDATTEB e CDATTPB nas fases de crescimento-terminação, quando associados aos valores superiores de PLt em animais alimentados com a dieta AM0, como para a PB na carne em suínos alimentados com a dieta AM-100, e em ambas as variáveis para o grupo de suínos alimentados com AM.

Também, a atividade de uma enzima endógena pode ser favorecida pela  $\alpha$ -amilase porque proporciona maior contato com os substratos (OJHA; SINGH; SHRIVASTAVA, 2019), complementação da ação de protease e lipase endógenas (KIARIE et al., 2021), permitindo maior assimilação de minerais e proteína devido ao aumento da acessibilidade destes nutrientes para as enzimas hospedeiras na degradação do amido (WOYENGO et al., 2019). Conseqüentemente, isso favoreceu a deposição proteica em suínos alimentados com as dietas contendo  $\alpha$ -amilase.

A adição da  $\alpha$ -amilase em dietas com e sem redução de EM não afetou negativamente as variáveis de pH, L\* e PPG. Quando se avaliou a classificação da qualidade da carne em relação aos critérios como normal, PSE, DFD e RN, é válido destacar que independente das dietas testadas, os valores de pH e L\* foram mantidos dentro de uma faixa que classifica a carne como normal, embora os valores de PPG foram ligeiramente superiores a 5% em todos os tratamentos dietéticos, mas próximos aos achados por Silva et al. (2013). Estes resultados estão relacionados ao PC de abate dos suínos, uma vez que a PPG está diretamente relacionada a esta variável (WEATHERUP et al., 1998; BEATTIE et al., 1999).

O aumento da coloração vermelha no músculo l. lumborum de suínos é relacionado com fatores intrínsecos, extrínsecos (MOURA et al., 2015), e com o aumento do PC ao abate devido a maior concentração de mioglobina (LATORRE et al., 2004; BERTOL et al., 2015) e que pode ser alterada pela composição da dieta (BERTOL et al., 2019). Essas declarações estão em conformidade com os maiores valores para a\* evidenciados na carne de suínos do grupo DC. Em geral, os suínos alimentados com as dietas contendo  $\alpha$ -amilase apresentaram a carne menos avermelhada.

A quantidade de água, proteína, minerais e lipídeos na carne é maior conforme aumenta a idade e o crescimento; entretanto, com o aumento do PC há uma redução no percentual de água, proteínas e minerais, mas maior proporção de lipídeos (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013). Em discrepância, os animais alimentados com as dietas AM-50, AM-100 e o grupo de tratamentos AM tiveram os menores valores de MM na carne. Similarmente, esse fato não elucidou o resultado seguido pelos tratamentos para EE, em que os animais que consumiram as dietas DC-100 e AM0 apresentaram valores inferiores nesta variável mesmo com maior valor numérico para o PCF.

A deposição de gordura intramuscular depende de processos metabólicos e pode ser alterada pela composição da dieta (KATSUMATA et al., 2012; BERTOL et al., 2013), além de estar relacionada com indicadores de qualidade de carne como pH, PPG e maciez (CANNATA et al., 2010). Como resultado, o aumento no teor de gordura intramuscular também é suportado



por maior MS da carne (HODGSON et al., 1991; GOERL et al., 1995), explicando os maiores valores de EE seguidos de um menor percentual de umidade na carne de suínos alimentados com a dieta AM-100.

#### 3.4.6 Ensaio de digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes e energia digestível (Exp. II)

Estudos anteriores (JO et al., 2012; ZHANG et al., 2014; PARK et al., 2020) evidenciaram que dietas contendo  $\alpha$ -amilase para suínos favoreceram nos CDATT dos nutrientes. Neste estudo, resultados positivos foram verificados com a adição da  $\alpha$ -amilase, principalmente, quando se avaliou os tratamentos dietéticos por meio de grupos de contrastes ortogonais.

Park et al. (2020) evidenciaram que a  $\alpha$ -amilase melhorou a digestibilidade do amido concomitante ao aumento da assimilação do conteúdo energético no TGI de suínos jovens. Neste estudo, a  $\alpha$ -amilase adicionada em dietas para suínos que receberam AM-50 e AM-100 em ambas as fases compensou a redução de EM, mantendo os CDATTEB análogos e promoveu maior ED na fase de terminação quando avaliados os grupos DC vs AM.

A disponibilidade de energia presente nos grãos de cereais para os animais depende da energia liberada pela digestão dos grãos, da disponibilidade desta energia pelo metabolismo e da quantidade consumida pelo próprio animal (BLACK et al., 2019), demonstrando que a adição da  $\alpha$ -amilase promoveu essa disponibilidade devido à compensação no aproveitamento de nutrientes em suínos alimentados com dietas reduzidas em EM. Similarmente, Sitanaka et al. (2018) adicionaram um complexo multienzimático em dietas com redução de EM de 85 a 100 kcal/kg para suínos e verificaram maior PD e ED devido à acessibilidade das enzimas ao conteúdo nutricional interno dos ingredientes de origem vegetal.

Foi relatado previamente (LI et al., 2010) que as concentrações de amilase ativa no TGI são importantes para a degradação de substrato específico, e a adição de enzimas exógenas pode favorecer a ação de enzimas hospedeiras nos animais (KIARIE et al., 2021). Logo, isso permite maior contato com os substratos e reduz efeitos negativos de compostos antinutritivos presentes nos alimentos (OJHA; SINGH; SHRIVASTAVA, 2019), suportando a ideia de que a  $\alpha$ -amilase exógena pode ter complementado a atividade da  $\alpha$ -amilase no TGI em proporcionar aproveitamento nutricional e energético pelos suínos.

Há uma melhora na assimilação de minerais e proteína em dietas contendo  $\alpha$ -amilase porque conjuntamente à degradação do amido há o aumento da acessibilidade destes nutrientes por outras enzimas (WOYENGO et al., 2019). Isso explica a similaridade ou melhora sobre o CDATTPB e PD em suínos que receberam dietas contendo  $\alpha$ -amilase na fase de crescimento e crescimento-terminação em comparação a dieta DC0, respectivamente. Ainda, a melhoria nos CDATTMS, MSD, MOD em suínos é associada ao maior aproveitamento energético e proteico no grupo de tratamentos dietéticos contendo  $\alpha$ -amilase na fase de terminação.

A falta de resultados sobre os CDATTPB e CDATTEB em animais alimentados com a dieta AM0 na fase de crescimento foi inesperada porque uma maior concentração energética disponível associada à enzima promoveria resultados análogos ou superiores aos demais tratamentos dietéticos. Entretanto, tal fato pode ser justificado considerando que as reações e velocidade enzimática são constantes somente até um limite máximo da concentração do substrato, e em concentrações superiores à da enzima as respostas podem ser limitadas (RAVINDRAN, 2013).

Embora ocorra um aumento nas reações enzimáticas conforme aumenta a disponibilidade de substrato até uma concentração máxima de enzima ser alcançada, há vários fatores fisiológicos no organismo que interferem neste processo (RAVINDRAN, 2013), explicando a variação dos resultados em animais alimentados com a dieta AM0 na fase de crescimento. Consequentemente, o efeito da enzima pode ter sido acumulativo mostrando resultados significativos em grande parte na fase de terminação dos animais.

Vale destacar que a eficiência de digestão do amido pela  $\alpha$ -amilase depende das propriedades e origem do amido, e origem e atividade da enzima (PLANCHOT et al., 1995). Há evidências de que a digestão do amido está relacionada com sua localização estrutural no alimento e a interação de componentes com seus grânulos (ZAEFARIAN; ABDOLLAHI; RAVINDRAN, 2015). Além disso, o aumento da velocidade na digestão do amido no TGI pode ter influência positiva no aproveitamento de compostos proteicos e demais nutrientes por estarem associados (GIUBERTI et al., 2013), o que pode variar individualmente nos animais e tratamentos dietéticos.

### 3.5 Conclusões

A adição de  $\alpha$ -amilase isolada em dietas para suínos machos melhora a digestibilidade aparente do trato total e absorção de N, e altera as concentrações de triglicerídeos e amilase plasmáticos, sem comprometer o desempenho animal. Ainda, independente da adição de  $\alpha$ -amilase e redução de EM em dietas, poucos efeitos foram evidenciados sobre os atributos da carne.

## 3.6 Referências

- ADEOLA, O. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, A.J.; Southern, L.L. **Swine Nutrition**. 2 Edição. Boca Raton: CRC, p.903-916, 2001.
- AO, X.; ZHOU, T.X.; MENG, Q.W.; LEE, J.H.; JANG, H.D.; CHO, J.H.; KIM, I.H. Effects of a carbohydrase cocktail supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, blood profiles and meat quality in finishing pigs fed palm kernel meal. **Livestock Science**, v.137, n.1-3, p.238–243, 2011.
- AO, X.; MENG, Q.W.; YAN, L.; KIM, H.J.; HONG, S.M.; CHO, J.H.; KIM, I.H. Effects of Non-starch Polysaccharide-degrading Enzymes on Nutrient Digestibility, Growth Performance and Blood Profiles of Growing Pigs Fed a Diet Based on Corn and Soybean Meal. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.12, p.1632–1638, 2010.
- AOAC. **Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis**, 18ª edição. AOAC International, Gaithersburg, 2006.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 21ª edição. AOAC International, Gaithersburg, 2019.
- AOCS. **Official Method Am 5-04 0 Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction**. Additions and Revisions to the Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 2017.
- ARANDA-AGUIRRE, E.; ROBLES-JIMENEZ, L.E.; OSORIO-AVALOS, J.; VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; GONZALEZ-RONQUILLO, M. A systematic-review on the role of exogenous enzymes on the productive performance at weaning, growing and finishing in pigs. *Veterinary and Animal Science*, v.14, p.100195, 2021.
- BALASUBRAMANIAN, B.; PARK, J.H.; SHANMUGAM, S.; KIM, I.H. Influences of Enzyme Blend Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Fecal Microbiota and Meat-Quality in Grower-Finisher Pigs. **Animals**, v.10, n.3, p.386, 2020.
- BEATTIE, V.E.; WEATHERUP, R.N.; MOSS, B.W.; WALKER, N. The effect of increasing carcass weight of finishing boars and gilts on joint composition and meat quality. **Meat Science**, v.52, n.2, p.205–211, 1999.
- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. 2ª Edição Lavras: Editora UFLA, 373 p., 2012.
- BERTOL, T.M. **Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína**. Brasília, DF: Embrapa Suínos e Aves, 300 p., 2019.
- BERTOL, T.M.; OLIVEIRA, E.A.; COLDEBELLA, A.; KAWSKI, V.L.; SCANDOLERA, A.J.; WARPECHOWSKI, M.B. Meat quality and cut yield of pigs slaughtered over 100kg live weight. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.4, p.1166-1174, 2015.
- BERTOL, T.M.; CAMPOS, R.M.L. DE.; LUDKE, J.V.; TERRA, N.N.; FIGUEIREDO, E.A. P.DE.; COLDEBELLA, A.; FILHO, J.I. DOS S.; KAWSKI, V.L.; LEHR, N.M. Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acid composition of backfat and intramuscular fat. **Meat Science**, v.93, n.3, p.507–516, 2013.

- BIOLO, G.; TIPTON, K.D.; KLEIN, S.; WOLFE, R.R. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. **American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism**, v.273, n.1, p.122-129, 1997.
- BLACK, J.L.; RATANPAUL, V.; WILLIAMS, B.A.; DIFFEY, S.; GIDLEY, M.J. Variability in cereal grain composition and nutritional value: the importance of fibre. In. González-Ortiz, G.; Bedford, M.R.; Bach Knudsen, K.E.; Courtin, C.M.; Classen, H.L. **The value of fibre: Engaging the second brain for animal nutrition**, Wageningen Academic Publishers, p.47-59, 2019.
- BOUNOUS, D.I. Sistema digestivo. In. LATIMER, K.S.; MAHAFFEY, E.A.; PRASSE, K.W. **Patologia clínica veterinária**. 4 edição. Barcelona: Multimédica Ediciones Veterinarias, p.264-280, 2005.
- BRIDI, A.M.; SILVA, C.A. **Métodos de avaliação da carcaça e da carne suína**. Londrina: Midigraft, 97 p., 2009.
- BROSSARD, L.; DOURMAD, J.Y.; RIVEST, J.; VAN MILGEN, J. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. **Animal**, v.3, n.08, p.1114–1123, 2009.
- CALVO, A.V.; LUDTKE, C. **Guia de Boas Práticas: Insensibilização por gás em suínos**. Diálogos União Européia – Brasil, p.1-22, 2018.
- CANNATA, S.; ENGLE, T.E.; MOELLER, S.J.; ZERBY, H.N.; RADUNZ, A.E.; GREEN, M. D.; BASS, P. D.; BELK, K. E. Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin. **Meat Science**, v.85, n.3, p.428–434, 2010.
- CHEN, Y.; SHEN, D.; ZHANG, L.; ZHONG, R.; LIU, Z.; LIU, L.; CHENG, L.; ZHANG, H. Supplementation of Non-Starch Polysaccharide Enzymes Cocktail in a Corn-Miscellaneous Meal Diet Improves Nutrient Digestibility and Reduces Carbon Dioxide Emissions in Finishing Pigs. **Animals**, v.10, n.2, p.232, 2020.
- CHIVANDI, E.; ERLWANGER, K.H.; MAKUZA, S.M.; READ, J.S.; MTIMUNI, J.P. Effects of dietary Jatropha curcas meal on percent packed cell volume, serum glucose, cholesterol and triglyceride concentration and alpha-amylase activity of weaned fattening pigs. **Research Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v.1, n.1, p.18-24, 2006.
- COWIESON, A.J.; VIEIRA, S.L.; STEFANELLO, C. Exogenous microbial amylase in the diets of poultry: what do we know?. **Journal of Applied Poultry Research**, v.28, n.3, p.556-565, 2018.
- DA CRUZ, T. A. **Combinação de enzimas e peletização na digestibilidade da dieta em suínos na fase de creche**. 2016. 46f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. 2016.
- DAMORADAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 edição. Porto Alegre-RS: Artmed® editora S.A, 890 p., 2010.
- DE ANDRADE, G. DA C.; GARCIA, E.R. DE M.; KIEFER, C.; ZANOELO, F.F.; GIANNESI, G.C.; SANTANA, P.G.; SANCHES, D.DE D. Xylanases in diets with alternative feeds and energy reduction in commercial layers. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.5, p.3007-3028, 2021.

- DREW, M.D.; SCHAFFER, T.C.; ZIJLSTRA, R.T. Glycemic index of starch affects nitrogen retention in grower pigs. **Journal of animal science**, v.90, n.4, p.1233-1241, 2011.
- DUTRA J.R.W.M.; FERREIRA, A.S.; URDAPILLETA TAROUCO, J.; EUCLYDES, R.F.; DONZELE, J.L.; LOPES, P.S.; CARDOSO, L.L. Estimativas de rendimentos de cortes comerciais e de tecidos de suínos em diferentes pesos de abate pela técnica de ultrasonografia em tempo real. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1243–1250, 2001.
- FACHINELLO, M.R.; POZZA, P.C.; MOREIRA, I.; CARVALHO, P.L. DE O.; CASTILHA, L.D., PASQUETTI, T.J.; ESTEVES, L.A.C.; HUEPA, L.M.D. Effect of passion fruit seed meal on growth performance, carcass, and blood characteristics in starter pigs. **Tropical Animal Health and Production**, v.47, n.7, p.1397–1403, 2015.
- GARLICK, P.J.; GRANT, I. Amino acid infusion increases the sensitivity of muscle protein synthesis in vivo to insulin. Effect of branched-chain amino acids. **Biochemical Journal**, v.254, n.2, p.579–584, 1988.
- GENOVA, J.L. **Addition of intestinal alkaline phosphatase in diets and its effects on growth performance and intestinal health of weaned piglets challenged with *Escherichia coli* k88+**. 2020. 121p. Tese de Doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2020.
- GENOVA, J.L.; RUPOLO, P.E.; MELO, A.D.B.; DOS SANTOS, L.B.A.; WENDT, G.N.; BARBOSA, K.A.; CARVALHO, S.T.; DE OLIVEIRA, N.T.E.; COSTA, L.B.; CARVALHO, P.L. DE O. Biological response of piglets challenged with *Escherichia coli* F4 (K88) when fed diets containing intestinal alkaline phosphatase. **Czech Journal of Animal Science**, v.66, n.10, p.391-402, 2021.
- GIANG, H.H.; VIET, T.Q.; LINDBERG, J.E.; OGLE, B. Effects of microbial enzymes and a complex of lactic acid bacteria and *Saccharomyces boulardii* on growth performance and total tract digestibility in weaned pigs. **Livestock Research for Rural Development**, v.22, n.10, 2010.
- GIUBERTI, G.; GALLO, A.; MASOERO, F.; FERRARETTO, L.F.; HOFFMAN, P.C.; SHAVER, R.D. Factors affecting starch utilization in large animal food production system: A review. **Starch - Stärke**, v.66, n.1-2, p.72–90, 2014.
- GOERL, K.F.; EILERT, S.J.; MANDIGO, R.W.; CHEN, H.Y.; MILLER, P.S. Pork characteristics as affected by two populations of swine and six crude protein levels. **Journal of Animal Science**, v.73, n.12, p.3621-3626, 1995.
- GOMIDE, L.A.M.; RAMOS, E.M.; FONTES, P.R. **Ciência e qualidade da carne: fundamentos**. Viçosa: Editora UFV, 197 p., 2013.
- GONZÁLES, F.H.D.; DA SILVA, S.C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. 3ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 538 p., 2017.
- HAN, X.; YAN, F.; NIE, X.; XIA, W.; CHEN, S.; ZHANG, X.; QIAN, L. Effect of replacing antibiotics using multi-enzyme preparations on production performance and antioxidant activity in piglets. **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, n.3, p.640–647, 2017.
- HODGSON, R.R.; DAVIS, G.W.; SMITH, G.C.; SAVELL, J.W.; CROSS, H.R. Relationships between pork loin palatability traits and physical characteristics of cooked chops. **Journal of Animal Science**, v.69, n.12, p.4858–4865, 1991.

- JAKOB, S.; MOSENTHIN, R.; SAUER, W.C. Carbohydrates and exocrine pancreatic secretions in pigs. **Biology of the pancreas in growing animals**, p.361-370, 1999.
- JO, J.K.; INGALE, S.L.; KIM, J.S.; KIM, Y.W.; KIM, K.H.; LOHAKARE, J.D.; LEE, J.H.; CHAE, B. J. Effects of exogenous enzyme supplementation to corn- and soybean meal-based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood metabolites in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.90, n.9, p.3041–3048, 2012.
- KAVANAGH, S.; LYNCH, P.B.; O'MARA, F.; CAFFREY, P.J. A 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.
- KATSUMATA, M.; KYOYA, T.; ISHIDA, A.; OHTSUKA, M.; NAKASHIMA, K. Dose-dependent response of intramuscular fat accumulation in longissimus dorsi muscle of finishing pigs to dietary lysine levels. **Livestock Science**, v.149, n.1-2, p.41–45, 2012.
- KIARIE, E.; OWUSU-ASIEDU, A.; PÉRON, A.; SIMMINS, P.H.; NYACHOTI, C.M. Efficacy of xylanase and  $\beta$ -glucanase blend in mixed grains and grain co-products-based diets for fattening pigs. **Livestock Science**, v.148, n.1-2, p.129–133, 2012.
- KIARIE, E.G.; STEELMAN, S.; MARTINEZ, M.; LIVINGSTON, K. Significance of single  $\beta$ -mannanase supplementation on performance and energy utilization in broiler chickens, laying hens, turkeys, sows, and nursery-finish pigs: a meta-analysis and systematic review. **Translational Animal Science**, v.5, n.4, p.1-21, 2021.
- KIM, J.S.; INGALE, S.L.; HOSSEINDOUST, A.R.; LEE, S.H.; LEE, J.H.; CHAE, B.J. Effects of mannan level and  $\beta$ -mannanase supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility and blood metabolites of growing pigs. *Animal*, v.11, n.2, p.202–208, 2016.
- KLEM, T.B.; BLEKEN, E.; MORBERG, H.; THORESEN, S.I.; FRAMSTAD, T. Hematologic and biochemical reference intervals for Norwegian crossbreed grower pigs. **Veterinary Clinical Pathology**, v.39, n.2, p.221–226, 2009.
- KPOGO, A.L.; JOSE, L.; PANISSORI, J.C.; AGYEKUM, A.K.; PREDICALA, B.Z.; ALVARADO, A.C.; AGNEW, J.M.; SPRENGER, C.J.; BEAULIEU, A.D. Greenhouse gases and performance of growing pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun and a multi-carbohydrase enzyme. **Journal of Animal Science**, v.99, n.10, p.1–9, 2021.
- LATORRE, M.A.; LÁZARO, R.; VALENCIA, D.G.; MEDEL, P.; MATEOS, G.G. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. **Journal of Animal Science**, v.82, n.2, p.526–533, 2004.
- LI, Y.; FANG, Z.; DAI, J.; PARTRIDGE, G.; RU, Y.; PENG, J. Corn extrusion and enzyme addition improves digestibility of corn/soy based diets by pigs: In vitro and in vivo studies. **Animal Feed Science and Technology**, v.158, n.3-4, p.146–154, 2010.
- LINHU, F. **Effects of Exogenous Enzyme Complex Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Pork Quality, Blood Profiles and Economical Analysis in Growing-finishing Pigs**. 2014. 89f. A Thesis (Master of Science) - School of Agricultural Biotechnology Graduate School of Seoul National University. 2014.
- MACAMBIRA, G.M.; RABELLO, C.B.V.; LOPES, C. DA C.; DOS SANTOS, M.J.B.; RIBEIRO, A.G.; OLIVEIRA, H.S. DE H.; DA SILVA, D.A.; DOS SANTOS, A.C.F.;

- MORA, M.A.A.; DA SILVA, M.F.; RODRIGUES, Z.F.; RODRIGUES, M.F.DE S.; FERREIRA, M.L.S.; MARINHO, J.B.M.; SILVA, G.D.; DE ABREU, K.L.; SILVA, J.M. DOS S. Carboidrases exógenas e a saúde intestinal de aves. **Research, Society and Development**, v.10, n.7, 2021.
- MERSMANN, H.J.; ARAKELIAN, M.C.; BROWN, L.J. Plasma Lipids in Neonatal and Growing Swine. **Journal of Animal Science**, v.48, n.3, p.554–558, 1979.
- MONTEIRO, A.N.T.R.; HUEPA, L.M.D.; CASTILHA, L.D.; POZZA, P.C. Síntese proteica em suínos: como fêmeas, machos não castrados e castrados respondem a este processo?. **Pubvet**, v.12, n.1, p.1-10, 2018.
- MOURA, J.W.F.; MEDEIROS, F.M.; ALVES, M.G.M.; BATISTA, A.S.M. Fatores influenciadores na qualidade da carne suína. **Revista Científica de Produção Animal**, v.17, n.1, p.18-29, 2015.
- NASCIMENTO, P.P.D. **Utilização de complexo enzimático em rações contendo milho ou sorgo para leitões em fase de creche**. 2010. 81f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás. 2010.
- NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica: Lehninger**. 6 ed. Omega, 1328 p., 2014.
- NERY, V.L.H.; LIMA, J.A.F.; MELO, R.C.A.; FIALHO, E.T. Adição de enzimas exógenas para leitões dos 10 aos 30 kg de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.794-802, 2000.
- OJHA, B.K.; SINGH, P.K.; SHRIVASTAVA, N. Enzymes in the Animal Feed Industry. In. KUDDUS, M. **Enzymes in Food Biotechnology**. Academic Press, p.93-109, 2019.
- OMOGBENIGUN, F.O.; NYACHOTI, C.M.; SLOMINSKI, B.A. Dietary supplementation with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.82, n.4, p.1053–1061, 2004.
- PARK, J.S.; KIM, I.H.; HANCOCK, J.D.; HINES, R.H.; COBB, C.; CAO, H.; HONG, J.W.; KWON, O.S. Effects of Amylase and Cellulase Supplementation in Sorghum-based Diets for Finishing Pigs. Asian-Australasian **Journal of Animal Sciences**, v.16, n.1, p.70-76, 2003.
- PARK, S.; LI, W.; ST-PIERRE, B.; WANG, Q.; WOYENGO, T.A. Growth performance, nutrient digestibility, and fecal microbial composition of weaned pigs fed multi-enzyme supplemented diets. **Journal of Animal Science**, p.98, n.10, p.1-31, 2020.
- PEKAS, J.C. Versatile Swine Laboratory Apparatus for Physiologic and Metabolic Studies. **Journal of Animal Science**, v.27, p.1303-1306, 1968.
- PETTIGREW, J.E.; ESNAOLA, M.A. Swine nutrition and pork quality: A review. **Journal of Animal Science**, v.79, p.316-342, 2001.
- PIERZYNOWSKA, K.G.; LOZINSKA, L.; WOLIŃSKI, J.; PIERZYNOWSKI, S. The inverse relationship between blood amylase and insulin levels in pigs during development, bariatric surgery, and intravenous infusion of amylase. **PLOS ONE**, v.13, n.6, 2018.



- PIOVESAN, V.; OLIVEIRA, V. D.; GEWEHR, C. E. Milhos com diferentes texturas de endosperma e adição de alfa-amilase na dieta de leitões. **Ciência Rural**, v.41, p. 2014-2019, 2011.
- PLANCHOT, V.; COLONNA, P.; GALLANT, D.J.; BOUCHET, B. Extensive degradation of native starch granules by alpha-amylase from aspergillus fumigatus. **Journal of Cereal Science**, v.21, n.2, p.163–171, 1995.
- PONTES, M.H.; SEVOSTYANOVA, A.; GROISMAN, E.A. When too much ATP is bad for protein synthesis. **Journal of molecular biology**, v.427, n.16, p.2586-2594, 2015.
- RAVINDRAN, V. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.22, n.3, p.628–636, 2013.
- REYNOLDS, A.M.; O'DOHERTY, J.V. The effect of amino acid restriction during the grower phase on compensatory growth, carcass composition and nitrogen utilisation in grower–finisher pigs. **Livestock Science**, v.104, n.1-2, p.112–120, 2006.
- REZENDE, W.O.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.D.; ABREU, M.L.T.D.; FERREIRA, A.S.; SILVA, F.C.D.O.; APOLÔNIO, L.R. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível: caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1101-1106, 2006.
- RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.D.; FIALHO, E.T.; SILVA, H.O.; GONÇALVES, T.M. Digestibilidade dos nutrientes e desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados com rações à base de milho e sorgo suplementadas com enzimas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.91-100, 2002.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.L.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: UFV, 488 p., 2017.
- RUIZ, U.D.S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I.; FRAGA, A.L.; WATANABE, P.H.; SILVA, S.Z.D. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.458-468, 2008.
- RUIZ, U.D.S.; THOMAZ, M.C.; LUCAS, J.D.; PASCOAL, L.A.F.; WATANABE, P.H.; AMORIM, A.B.; XAVIER, C. DE A.; SILVA, A.A. Enzyme complex supplementation in different nutrient levels diets on pigs feces excretion and anaerobic digestion. **Scientia Agricola**, v.74, p.180-188, 2018.
- ROOYACKERS, O.E.; NAIR, K.S. Hormonal regulation of human muscle protein metabolism. *Annual review of nutrition*, v.17, n.1, p.457-485, 1997.
- ROTH, F.X.; GOTTERBARM, G.G.; WINDISCH, W.; KIRCHGESSNER, M. Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.81, p.232–238, 1999.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: FUNEP, 262 p., 2016.

- SILVA, C.A. DA; VINOKUNOVAS, S.L.; BRIDI, A.M.; OBA, A.; PACHECO, G.D.; LOZANO, A.P.; SILVA, R.A.M.; DALTO, D.B.; AGOSTINI, P.D.S. Utilização de um complexo enzimático para rações contendo farelo de gérmen de milho desengordurado para suínos em fase de crescimento e terminação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.2, p.4065-4081, 2013.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: Editora, UFV, 2002.
- SITANAKA, N.Y.; BUDIÑO, F.E.L.; OLIVEIRA, S.R.D.; BOAS, A.D.C.V.; MORAES, J.E.D. Enzyme complex supplementation on the performance of swine in growth and finishing phases. **Revista Caatinga**, v.31, n.3, p.748–758, 2018.
- SWIATKIEWICZ, S.; SWIATKIEWICZ, M.; ARCZEWSKA-WLOSEK, A.; JOZEFIAK, D. Efficacy of feed enzymes in pig and poultry diets containing distillers dried grains with solubles: a review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.100, n.1, p.15–26, 2015.
- TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n.2, p.151–165, 2004.
- THAMARAIKANNAN, M.; KIM, I. H. Influence of enzyme mixture supplementation on growth performance, nutrient digestibility, and fecal score in growing pigs. **Korean Journal of Agricultural Science**, v.48, p.201-207, 2021.
- TRAUTENMÜLLER, H.; GENOVA, J.L.; FARIA, A.B.B. DE.; MARTINS, J.S.; VIANA, S.C.M.; CASTILHA, L.D.; GONÇALVES, A.C.; BARALDI-ARTONI, S.M.; CARVALHO, P.L. DE O. Bone traits and gastrointestinal tract parameters of piglets fed cholecalciferol and 1,25-dihydroxycholecalciferol glycoside. **Revista brasileira de zootecnia-brazilian journal of animal science**, v.50, p.1-14, 2021.
- URYNEK, W.; BURACZEWSKA, L. Effect of dietary energy concentration and apparent ileal digestible lysine:metabolizable energy ratio on nitrogen balance and growth performance of young pigs1. **Journal of Animal Science**, v.81, n.5, p.1227–1236, 2003.
- VELÁZQUEZ-DE LUCIO, B.S.; HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, E.M.; VILLA-GARCÍA, M.; DÍAZ-GODÍNEZ, G.; MANDUJANO-GONZALEZ, V.; MENDOZA-MENDOZA, B.; ÁLVAREZ-CERVANTES, J. Exogenous Enzymes as Zootechnical Additives in Animal Feed: A Review. **Catalysts**, v.11, n.7, p.851, 2021.
- WANG, J.P.; HONG, S.M.; YAN, L.; YOO, J.S.; LEE, J.H.; JANG, H.D.; KIM, H.J.; KIM, I.H. Effects of single or carbohydrases cocktail in low-nutrient-density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, and carcass traits in growing–finishing pigs. **Livestock Science**, v.126, n.1-3, p.215–220, 2009.
- WEATHERUP, R.N.; BEATTIE, V.E.; MOSS, B.W.; KILPATRICK, D.J.; WALKER, N. The effect of increasing slaughter weight on the production performance and meat quality of finishing pigs. **Animal Science**, v.67, n.03, p.591–600, 1998.
- WOYENGO, T.A.; BOGOTA, K.J.; NOLL, S.L.; WILSON, J. Enhancing nutrient utilization of broiler chickens through supplemental enzymes. **Poultry science**, v.98, n.3, p.1302-1309, 2019.

- YIN, F.; ZHANG, Z.; HUANG, J.; YIN, Y. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned pigs. **British Journal of Nutrition**, v.103, n.10, p.1404-1412, 2010.
- ZAEFARIAN, F.; ABDOLLAHI, M.R.; RAVINDRAN, V. Starch digestion in broiler chickens fed cereal diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.209, p.16–29, 2015.
- ZHANG, G.G.; YANG, Z.B.; WANG, Y.; YANG, W.R.; ZHOU, H.J. Effects of dietary supplementation of multi-enzyme on growth performance, nutrient digestibility, small intestinal digestive enzyme activities, and large intestinal selected microbiota in weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v.92, n.5, p.2063–2069, 2014.
- ZHONG, R.Q.; GAO, L.X.; ZHANG, L.L.; HUANG, Q.H.; CHEN, L.; ZHANG, H.F. Effects of optimal carbohydrases cocktails screened using an in vitro method on nutrient and energy digestibility of different fiber source diets fed to growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.271, p.114728, 2020.

## ANEXO A

Tabela 10. Estudos com carboidrases e seus principais efeitos em dietas para suínos em crescimento e terminação

Enzimas	(n)	PC (kg)	Dose	Atividade	Variáveis analisadas	Principais efeitos	Autores
Xilanase, <b>amilase</b> , glucanase e pectinase	Exp. 1: 12 Exp. 2: 32	Exp. 1: 43,3±4,10 Exp. 2: 30±0,96	-	Exp. 1 e 2: xilanase (4000), amilase (1000), β-glucanase (150) e pectinase (25) U g <sup>-1</sup>	Exp. 1: Digestibilidade dos nutrientes e balanço de nitrogênio. Exp. 2: Desempenho zootécnico.	Exp. 1: Aumento da MSD, CDAPB, energia digestível e energia metabolizável. Exp. 2: Aumento no GPD.	Rodrigues et al., 2002
<b>Amilase</b> + celulase	Exp. 1: 192 Exp. 2: 168 Exp. 3: 176	Exp. 1: 46,1 Exp. 2: 58,4 Exp. 3: 46,7	Exp. 1: 0 ou 360 mL/ton Exp. 2: 0, 150, 300 ou 450 mL/ton Exp. 3: 0, 450, 900 ou 1350 mL/ton	Exp. 1, 2 e 3: α-amilase (1650) e celulase (30) unidades fibrinolíticas/mL.	Exp. 1, 2 e 3: Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, atributos de carcaça e queratinização e úlceras gástricas.	Exp. 1: Aumento da EA, CRDM. Exp. 2: Aumento no GPD, EA Exp. 3: Sem efeitos enzimáticos.	Park et al., 2003
Mananase ou CME (galactosidase, mananase e manosidase)	96	47,50 ± 1,25 a 110,2	0 ou 0,05 %	β-mananase (800.000) U/kg e CME: α-galactosidase (7), β-mananase (22) U/g	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, metabólitos sanguíneos e atributos de carcaça.	Aumenta a EA e o GPD, redução da espessura de toucinho, melhor CDAMS, CDAN e CDAEB até a quarta semana de experimento (PC, 47,5 a 78 kg)	Wang et al., 2009
CME (galactosidase, protease e mananase)	96	50,49 ± 1,89 a 109,12 ± 2,16	0, 0,1 ou 0,2%	α-galactosidase (107.000), protease (2.300) e β-mananase (12.081) U/g	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, metabólitos sanguíneos e atributos de carcaça.	Aumento da EA, aumento do CDAMS, CDAN, CDAEB	Ao et al., 2011
Amilase	Exp. 1: 12 Exp. 2: 75	Exp. 1: 7,96±0,31 Exp. 2: 7,87±0,67	0,06 %	α-amilase (4.000 SKB g <sup>-1</sup> )	Digestibilidade dos nutrientes e desempenho zootécnico.	Exp.1: Compensou a ED e EM. Exp. 2: Sem influência para desempenho zootécnico.	Piovisan et al., 2011
Exp.1: Mananase, <b>amilase</b> + mananase + mananase + protease ou amilase + mananase + protease. Exp.2: CME ( <b>amilase</b> + mananase + protease)	Exp.1: 240 Exp.2: 192	Exp.1: 55,6 ± 0,9 Exp.2: 56,9 ± 1,0	Exp. 1 e 2: 0 ou 0,05 %	Exp. 1 e 2: β-mananase (800.000), α-amilase (75.000) e protease (100.000) U/kg.	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, metabólitos sanguíneos, AGCC e nitrogênio fecal.	Exp.1: Aumento no GPD e EA. Exp. 2: Aumento no GPD, EA, CDAMS, CDAEB, CDAPB e concentração NUP no sangue.	Jo et al., 2012

CME (Pectinase, protease, fitase, glucanase, xilanase, celulase e <b>amilase</b> ).	50	41,14 ± 2,95 a 98,15 ± 7,11	0 ou 0,02 %	Pectinase (4000), protease (700), fitase (300), β-glucanase (200), xilanase (100), celulase (40) e amilase (30) μ/g	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, atributos de carcaça, eficiência econômica,	Aumento no GPD e melhor eficiência econômica.	Silva et al., 2013
CME (mananase, <b>amilase</b> , xilanase, protease, fitase e glucanase).	80	28,9 ± 0,04 a 108,79 ± 2,58	0, 0,05, 0,10 ou 0,15 %	β-mananase (200,000), α-amilase (250,000), xilanase (1,000,000), protease (125,000 U/kg), fitase (200,000) e β-glucanase (38,000) U/kg.	Desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos, digestibilidade dos nutrientes, atributos de carcaça e análise econômica.	Aumento no PF, GPD, EA, CDAEE, concentração de glicose sanguínea, redução no custo de alimentação e redução no número de dias para chegar ao peso final.	Linhu, 2014.
CME (protease, <b>amilase</b> , xilanase, mananase, glicose oxidase, celulose ácida e galactosidase).	160	21,35 ± 0,22 a 40,35 ± 0,80	0, 0,5 g/kg ou 1,5 g/kg	Protease (2000), α-amilase (150), xilanase (3500), β-mananase (350), glicose oxidase (120), celulose ácida (120) e galactosidase (100) U/g.	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes, atividade de enzimas digestivas e propriedades antioxidantes.	Aumentou o CDAEE, CDAFB, atividades enzimáticas no TGI e contribuiu para propriedades antioxidantes	Han et al., 2017
Fitase ou CME (galactanase, xilanase, mananase, <b>amilase</b> e celulase)	16	18,12 ± 0,74	0 ou 300 mg/kg	Fitase (1000) FTU/kg ou CME: galactanase (840), xilanase (3.000), mananase (21.600), α-amilase (300) e celulase (3.000) U/kg.	Digestibilidade ileal e digestibilidade do trato total dos nutrientes.	O CME melhorou a DAIA, DAIMS, DAIEB, DAIPB, CDAMS, CDAPB, maior DAI de manose, galactose, glicose, arabinose, xilose, ácido urônico, PNAs solúveis, insolúvel e total.	Zeng et al., 2018.
<b>Amilase</b> , glucanase, fitase, celulase, xilanase e protease	80	20,18±1,98	0, 0,35 ou 0,50%.	α--amilase (400), β-glucanase (700), fitase (1.100), celulase (6.000), xilanase (10.000) e protease (700) U/g.	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes e análise econômica	Aumentou PD, ED, GPD e melhorou a CA e eficiência econômica.	Sitanaka et al., 2018.
<b>Amilase</b> , glucanase, celulase, pectinase, xilanase, protease e fitase	54	19,9 ± 1,7	-	Amilase (30 FAU/g), β-glucanase (200 BGU/g), celulase (40 CMCU/g), pectinase (4000 AJDU/g), xilanase (100 XU/g), protease (700 HUT/g) e fitase (300 FTU/g)	Excreção de nutrientes nas fezes e digestão anaeróbica de fezes (produção de gases).	Reduziu a excreção de nutrientes ans fezes e manteve a produção de gases na biodigestão.	Ruiz et al., 2018
Glucanase e xilanase	96	44,7 ± 4,88	0 ou 0,15 g/kg	Endo-1,4-β-glucanase (800), endo-1,3 (4) -β-glucanase (700) e endo-1,4-β-xilanase (2700) U/g.	Desempenho zootécnico, digestibilidade ileal, digestibilidade do trato total dos nutrientes, expressão gênica de transportadores intestinais de nutrientes e reguladores de apetite, e concentração de AGCC.	Aumento na DAI e CDA dos nutrientes, regulação positiva na expressão de genes de transportadores de nutrientes e redução na concentração de AGCC no intestino.	Clarke et al., 2018.

CME (xilanase, arabinofuranosidase e glucanase).	6	58.0 ± 1.5	0 ou 200 ml/ton	Endo-β-1,4-Xilanase (1250), α-L-arabinofuranosidase (4600) e endo-1,3(4)-β-glucanase (860) visco-unidades/kg.	Digestibilidade ileal e digestibilidade do trato total dos nutrientes.	Aumentou DAIPB, DAIMO e CDAMO, CDAPB, CDAEE, CDAEB, CDAAM, CDAP, CDAA.	Sun et al., 2019
CME (Celulase, xilanase, glucanase, mananase, galactosidase e pectinase).	16	117,89 ± 0,85 a 137,92 ± 0,97	-	Celulase (1.002), xilanase (18.076), β-glucanase (1376), β-mananase (14.765), α-galactosidase (337) e pectinase (138) U/kg.	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes e emissão de gases.	Diminuiu a CA, aumentou o CDAMS, CDAPB, CDAEB, CDAFDN, CDAFDA e energia digestível, redução da emissão de gases.	Chen et al., 2020.
Celulase, xilanase, mananase, glucanase, galactosidase e pectinase.	18	50,9 ± 4,9 kg	-	Celulase (6.867), xilanase (33.290), β-mananase (49.283) e β-glucanase (12.076), galactosidase (2.753) e pectinase (1.219) U/g.	Digestibilidade ileal e digestibilidade do trato total dos nutrientes.	Aumentou na DAI de macronutrientes e energia e os CDAMS, CDAPB, CDAEE, CDAEB, CDAC.	Zhong et al., 2020
Glucoamilase, amilase, lipase, maltase, celulose e protease.	72	20,23 ± 1,46	0,5%	-	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes e escore fecal.	Tendência em melhorar o GPD.	Thamarai-kannan; Kim, 2021
Glucoamilase, amilase, lipase, maltase, celulose e protease	180	23.3 ± 1.40	1%	-	Desempenho zootécnico, digestibilidade de nutrientes, qualidade da carne e microbiologia.	Melhorou o GPD, EA, PCF, CDAEB, CDAMS, aumentou a contagem de <i>Lactobacillus</i> , o peso de carcaça e reduziu de <i>E.coli</i> , e espessura de toucinho.	Balasubramanian et al., 2020

\*CA: conversão alimentar; CRDM: consumo de ração diário médio; EA: eficiência alimentar; CTR: consumo total de ração; CME: complexo multi-enzimático; GPD: ganho de peso diário; PC: Peso corporal; (n): número de animais utilizados no estudo; CDAMS: coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca; CDAPB: coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; CDAN: coeficiente de digestibilidade aparente do nitrogênio; CDAEB: coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta; CDAEE: coeficiente de digestibilidade aparente do extrato etéreo; CDAFB: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra bruta; CDAFDN: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro; CDAFDA: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente ácido; CDAAM: coeficiente de digestibilidade aparente do amido; CDAA: coeficiente de digestibilidade aparente de aminoácidos; CDAC: coeficiente de digestibilidade aparente dos carboidratos; CDAP: coeficiente de digestibilidade aparente do fósforo; DAIMS: digestibilidade aparente ileal da matéria seca; DAIMO: digestibilidade aparente ileal da matéria orgânica; DAIPB: digestibilidade aparente ileal da proteína bruta; DAIA: digestibilidade aparente ileal dos aminoácidos; DAIEB: digestibilidade aparente ileal da energia bruta; DAIN: digestibilidade aparente ileal do nitrogênio; DAIAM: digestibilidade aparente ileal do amido; DAIF: digestibilidade aparente ileal do fitato; DAIPNA: digestibilidade aparente ileal de polissacarídeos não amiláceos; MSD: matéria seca digestível; NUP: Nitrogênio ureico proteico; PNAs: polissacarídeos não amiláceos; AGCC: Ácidos graxos de cadeia curta.

## ANEXO B

Tabela 11. Estudos com carboidrases e seus principais efeitos em dietas para leitões na fase de creche

Enzimas	(n)	PC (kg)	Dose	Atividade	Variáveis analisadas	Principais efeitos	Autores
Dieta controle (DC), DC + <b>amilase</b> , DC + lipase, DC+ protease ou DC+ <b>amilase</b> , lipase e protease.	160	10 a 30	0,025%	-	Desempenho zootécnico, digestibilidade dos nutrientes e níveis de enzimas endógenas.	Melhorou a CA e CDAPB.	Nery et al., 2000
CME ( <b>amilase</b> , xilanase e glucanase).	Exp 1: 128 Exp. 2: 16	Exp. 1 e 2: 5,5 ± 0,9	Exp. 1: 0, 600 e 1200 mg/kg. Exp. 2: 0 ou 600 mg/kg.	Exp. 1: $\alpha$ -amilase (3100), xilanase (400) e $\beta$ -glucanase (275) U/g	Exp. 1: desempenho zootécnico, incidência de diarreia, coeficientes de digestibilidade. Exp. 2: coeficiente ileal de digestibilidade, viscosidade e pH do trato gastrointestinal, concentração de AGCC (ceco).	Exp. 1 e 2: Tendência em melhorar a CDA do amido.	Medel et al., 2002
CME A ( <b>amilase</b> , protease, xilanase, pectinase e $\beta$ -glucanase). CME B ( <b>amilase</b> , xilanase e $\beta$ -glucanase)	Exp. 1: 140 Exp. 2: 24 Exp. 3: 20	Exp. 1: 5,36 ± 0,11 Exp. 2: 25,78 ± 0,55 Exp. 3: 31,92 ± 0,37	Exp 1: 0, 0,05%, 0,10%, 0,15% dos CME A e B. Exp 2: CME A (0, 0,05%, 0,1% e 0,15%). Exp. 3: CME B (0, 0,05%, 0,1% e 0,15%).	-	Exp 1: Desempenho zootécnico, morfologia e pH intestinal. Exp 2 e 3: Digestibilidade ileal e digestibilidade total dos nutrientes.	Exp. 1, 2 e 3: Os CME A e B não tiveram influência sobre as variáveis analisadas.	Kim et al., 2004
CME A (xilanase, glucanase, <b>amilase</b> , protease, invertase, fitase, celulase, galactanase, e mananase). CME B (xilanase, glucanase, atividades de <b>amilase</b> , protease, invertase, fitase, celulase e pectinase). CME C (xilanase, glucanase, atividades de <b>amilase</b> , protease, invertase, fitase, celulase, galactanase, mananase e pectinase)	Exp. 1: 24 Exp. 2: 48	Exp. 1: 6,52 ± 0,83 Exp. 2: 6,21 ± 0,74	-	Exp 1 e 2: xilanase (250 U/kg), glucanase (150 U/kg), amilase (0,001%), protease (0,0003%), invertase (0,002%), fitase (400 U/kg)	Exp. 1: Desempenho zootécnico, digestibilidade ileal e do trato total dos nutrientes, teor de cinzas ósseo Exp. 2: Desempenho zootécnico.	Exp. 1: Aumentou o GPD, EA, DAI e CDA de MS, AM, PB, EB, fitato e PNA, Exp. 2: Aumentou o GPD, EA.	Omogbenigun, Nyachoti e Slominski, 2004.
Protease, <b>amilase</b> e celulase	Exp. 1: 80 Exp. 2: 40	Exp. 1: 5 a 18 Exp. 2: 7 a 13	Exp. 1: 2 kg/ton Exp. 2: 0, 0,2; 0,4 e 0,6%	-	Exp. 1: Desempenho zootécnico Exp. 2: Desempenho zootécnico, análise econômica	Exp. 1: Sem influência Exp. 2: Aumento no GPD, CRDM e PCF	Teixeira et al., 2005
D1: <b>Amilase</b> , protease e xilanase. D2: <b>Amilase</b> , protease e xilanase	5	12 ± 1.2	D1: 830, 830 e 500 g/tonelada D2: <b>500, 500, 500</b> g/tonelada	Xilanase (4400), amilase (1500), protease (3000) U/g	Digestibilidade ileal dos nutrientes	Aumento no DAIPB, DAIMS e DAIAA.	Li et al., 2010

CME ( <b>amilase</b> , protease, celulase, glucanase e xilanase)	96	7,4 ± 0,6	0 e 0,2%	Amilase (2200), protease, (110), celulase (1100), β-glucanase (200) e xilanase (1000) U/g.	Desempenho e digestibilidade dos nutrientes.	Aumentou o GPD, CA, CDAPB, CDAFB e CDAMO.	Giang et al., 2010
Exp. 1, 2 e 3: CME ( <b>amilase</b> , fitase, protease, xilanase, celulase, pectinase e β-glucanase)	Exp.1: 16 Exp. 2: 16 Exp. 3: 48	Ex. 1: 11,1 ± 3,5 Exp. 2: 19,7 ± 4,5 Exp. 3: 11,2 ± 2,3	0 e 0,2 kg/ton.	-	Exp. 1 e 2: Digestibilidade dos nutrientes e disponibilidade de cálcio. Exp. 3: Desempenho zootécnico e viabilidade econômica.	Exp 1 e 2: Aumentou a disponibilidade de cálcio. Exp. 3: Melhorou a CA, reduziu o CDMR e CTR e aumentou a rentabilidade.	Nascimento, 2010
Exp.1 e 2: CME ( <b>amilase</b> , protease e xilanase)	Exp.1: 108 Exp. 2: 6	Exp.1: 7,51 ± 1.10 Exp. 2: 18,26 ± 1,21	Exp.1 e 2: 0, 100 ou 150 ppm.	Exp.1 e 2: Amilase (2000), protease (40000) e xilanase (20000) U/g.	Exp. 1: Desempenho zootécnico, digestibilidade total dos nutrientes, saúde intestinal (pH, viscosidade, microbiologia e concentração de AGCC) e atividade enzimática (sacarase e maltase). Exp. 2: digestibilidade ileal de aminoácidos	Exp. 1: Melhorou o GPD, EA e CDAEB e aumentou a viscosidade do TGI, concentração de AGCC, contagem de <i>Lactobacillus</i> e reduziu <i>Escherichia coli</i> . Exp. 2: Aumentou a DAIA.	Yi et al., 2013
Exp. 1 e 2: CME ( <b>amilase</b> , xilanase e protease)	Exp. 1: 28 Exp. 2: 200	Exp. 1 e 2: 9.59 ± 0.36 Exp. 2: 9.59 ± 0.36	Exp. 1: 0, 100, 150, 200, 250, 300 ou 350 mg/kg Exp. 2: 0, 100, 150, 250 ou 350 mg/kg	-	Exp. 1: Digestibilidade aparente total Exp. 2: Desempenho zootécnico, atividade enzimática, escore fecal, microbiologia.	Exp. 1: Melhorou os CDAMS, CDAPB e CDAEB. Exp. 2: Melhorou a EA, atividades de amilase, lipase e protease no intestino delgado, aumentou a contagem de <i>Lactobacillus</i> , reduziu <i>Escherichia coli spp.</i> e <i>Salmonella spp.</i>	Zhang et al., 2014
CME (xilanase, <b>amilase</b> , celulase, glucanase, mananase, protease e fitase)	24	8 kg	0 e 0,2 kg/ton	Xilanase (20.000), Amilase (120.000), Celulase (800.000), β-glucanase (7,500), Mananase (250), Protease (1.400) e Fitase (1.000) U/g	Digestibilidade aparente dos nutrientes.	Melhorou os CDAMS, CDAPB, CDAEE e ED.	Da Cruz, 2016
CME (xilanase, <b>amilase</b> , β-glucanase e protease)	Exp. 1: <i>In vitro</i> (3 repetições) Exp. 2: 36	Exp. 1: <i>In vitro</i> Exp. 2: 6,02 ± 0,32	Exp. 1 e 2: 0 e 0,1 %.	Exp. 1 e 2: Xilanase (6000 EPU/g) e β-glucanase (32000), α-amilase (17600), protease (142) EU/g	Exp. 1: Digestibilidade ileal e do trato total dos nutrientes ( <i>in vitro</i> ). Exp. 2: Desempenho zootécnico, digestibilidade aparente ileal e total, microbiologia intestinal, sequência de DNA e diversidade bacteriana.	Exp. 1: melhorou a digestibilidade <i>in vitro</i> dos alimentos Exp. 2: Modificou a composição microbiana no intestinal.	Recharla et al., 2019
Xilanase, glucanase, protease <b>amilase</b> e fitase.	132	7,23 ± 1.03	-	Xilanase, (4000), β-glucanase (150), protease (3500) e amilase (150 ou 1500) e fitase (1000) U/kg de dieta.	Desempenho zootécnico, digestibilidade aparente do trato total dos nutrientes, escore fecal e microbiologia.	Melhorou o GPD, PCF e CDAEE.	Park et al., 2020



<b>Amilase</b>	352	7,08 ± 1,09	0 e 133 g/ton	α-amilase (600) KNU/g	Desempenho zootécnico, digestibilidade aparente dos nutrientes.	Aumentou GPD, CDMR, CDAMS, CDAPB, CDAEE e ED e reduziu a CA.	Dziurva, 2021
----------------	-----	-------------	---------------	-----------------------	---	--	---------------

\*CA: conversão alimentar; CRDM: consumo de ração diário médio; EA: eficiência alimentar; CTR: consumo total de ração; CME: complexo multi-enzimático; GPD: ganho de peso diário; PC: Peso corporal; PCF: peso corporal final; (n): número de animais utilizados no estudo; CDAMS: coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca; CDAPB: coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; CDAN: coeficiente de digestibilidade aparente do nitrogênio; CDAEB: coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta; CDAEE: coeficiente de digestibilidade aparente do extrato etéreo; CDAFB: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra bruta; CDAFDN: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro; CDAFDA: coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente ácido; CDAAM: coeficiente de digestibilidade aparente do amido; CDAA: coeficiente de digestibilidade aparente de aminoácidos; CDAC: coeficiente de digestibilidade aparente dos carboidratos; CDAP: coeficiente de digestibilidade aparente do fósforo; DAIMS: digestibilidade aparente ileal da matéria seca; DAIMO: digestibilidade aparente ileal da matéria orgânica; DAIPB: digestibilidade aparente ileal da proteína bruta; DAIA: digestibilidade aparente ileal dos aminoácidos; DAIEB: digestibilidade aparente ileal da energia bruta; DAIN: digestibilidade aparente ileal do nitrogênio; DAIAM: digestibilidade aparente ileal do amido; DAIF: digestibilidade aparente ileal do fitato; DAIPNA: digestibilidade aparente ileal de polissacarídeos não amiláceos; DAIAA: digestibilidade aparente ileal de aminoácidos; NUP: Nitrogênio ureico proteico; PNAs: polissacarídeos não amiláceos; AGCC: Ácidos graxos de cadeia curta.