












Funcionalidade nutricional do complexo xilanolítico obtida de *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus* UFMS 48.136 em dietas para suínos

Nutritional functionality of the xylanolytic complex obtained from *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus* UFMS 48,136 in swine diets

Fernanda Aparecida de Oliveira¹ , Charles Kiefer^{*1} , Karina Márcia Ribeiro de Souza Nascimento¹ , Giovana Cristina Giannesi¹ , Fabiana Fonseca Zanoelo¹ , Anderson Corassa² , Elis Regina de Moraes Garcia³ , Ulisses Simon da Silveira³ , Tânia Mara Baptista dos Santos³ 

1 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

2 Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Sinop, Mato Grosso, Brasil

3 Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil

*autor correspondente: charles.kiefer@ufms.br

Resumo: Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a funcionalidade nutricional do complexo xilanolítico produzido a partir de fungos da linhagem *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus* UFMS 48.136, oriundo do bioma Cerrado/Pantanal sul mato-grossense em comparação à xilanase comercial, em dietas de suínos. Foram utilizados dezesseis suínos machos, com peso inicial de $64,23 \pm 10,5$ kg, distribuídos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro dietas: controle, formulado de acordo com as recomendações nutricionais; controle negativo, formulado com redução de 100 Kcal / kg de energia metabolizável (EM); controle negativo + xilanase Cerrado / Pantanal; controle negativo + xilanase comercial; com quatro repetições cada. A suplementação das xilanases proporcionou maiores ($P < 0,05$) valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM) e maiores ($P < 0,05$) digestibilidade da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) em relação à dieta controle negativo, mas sem diferir ($P > 0,05$) da dieta controle. A inclusão das xilanases proporcionou aumento ($P < 0,05$) nos coeficientes de digestibilidade (CD) e metabolizabilidade da energia bruta (EB), MS, MO, PB, EE, FDN e FDA. Não foi constatada diferença ($P > 0,05$) nos valores de digestibilidade e de CD entre as xilanase Cerrado/Pantanal e Comercial. A inclusão das xilanases possibilita a redução de 100 Kcal de EM por kg da dieta. A xilanase Cerrado / Pantanal possui a mesma eficiência nutricional em comparação com a xilanase comercial.

Palavras-chave: aditivos; carboidrases; digestibilidade; energia; enzimas.

Abstract: This study was carried out with the objective of evaluating the nutritional functionality of the xylanolytic complex produced from *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus* UFMS 48.136, from the Cerrado/Pantanal biome in Mato Grosso do Sul, compared to commercial xylanase, in swine diets. Sixteen barrows were used, with an initial weight of 64.23 ± 10.5 kg, distributed in a randomized block experimental design, with four diets: control, formulated according to nutritional recommendations; negative control, formulated with a reduction of 100 Kcal / kg of metabolizable energy (ME); negative control + xylanase Cerrado / Pantanal; negative control + commercial xylanase; with four repetitions

Recebido: 20 de outubro, 2023. Aceito: 02 de abril, 2024. Publicado: 08 de julho, 2024.

each. The xylanase supplementation provided higher ($P<0.05$) values of digestible energy (DE), metabolizable (ME) and higher ($P<0.05$) digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) in relation to the negative control diet, but without differing ($P>0.05$) from the control diet. The inclusion of xylanases provided an increase ($P<0.05$) in the coefficients of digestibility (CD) and metabolizability of gross energy (GE), DM, MO, CP, EE, NDF and ADF. There was no difference ($P>0.05$) in digestibility and CD values between Cerrado/Pantanal and Comercial xylanase. The inclusion of xylanases makes it possible to reduce 100 Kcal of ME per kg of diet. Cerrado/Pantanal xylanase has the same nutritional efficiency compared to commercial xylanase.

Keywords: additives; carbohydrases; digestibility; energy; enzymes.

1. Introdução

As dietas dos suínos podem conter polissacarídeos não amiláceos (PNA's), que devido ao tipo de ligação glicosídica não podem ser digeridos pelos suínos. Mesmo o milho e o farelo de soja que são considerados alimentos de boa qualidade para os suínos, contém 6,83 e 16,46% de PNA's totais, respectivamente ⁽¹⁾.

Além de conter nutrientes indisponíveis aos animais, os PNA's podem prejudicar a absorção de nutrientes devido ao aumento da viscosidade da digesta ⁽²⁾, reduzindo a taxa de difusão das partículas e diminuindo o contato enzima-substrato ⁽³⁾. Desse modo, várias enzimas têm sido elaboradas por meio de microrganismos com o objetivo de proporcionar a degradação dos PNA's. Esses microrganismos transportam nutrientes através da membrana plasmática, secretando exoenzimas, as quais hidrolisam macromoléculas presentes nos substratos ⁽⁴⁾. Os fungos filamentosos são exemplos de microrganismos utilizados na produção de enzimas. Estes são de fácil manuseio, a condição de cultivo é facilmente controlada, ocupam pouco espaço e crescem onde há fonte de carbono ^(4, 5).

Tem-se evidenciado diversos benefícios com a utilização de enzimas como a xilanase nas dietas dos suínos. A xilanase atua sobre os PNA's ⁽⁶⁾, hidrolisa a estrutura das arabinoxilanas ⁽⁷⁾, expondo o amido e outros nutrientes armazenadas as enzimas endógenas e a fermentação microbiana ^(8, 9).

A xilanase diminui a quantidade de substratos não digeridos durante a digestão ileal, reduzindo a viscosidade da digesta e possibilitando o contato substrato/enzima, alterando a composição do substrato acessível a microbiota do intestino grosso ⁽⁹⁾. A utilização da xilanase pode melhorar a acessibilidade as proteínas (indiretamente) ⁽⁹⁾, altera a microbiota no intestino grosso ⁽¹⁰⁾, aumenta a motilidade no trato gastrointestinal e reduz o volume das fezes ⁽¹¹⁾. Além de melhorar a microecologia intestinal ⁽¹²⁾, a xilanase melhora a barreira física intestinal, as funções das barreiras imunológicas em leitões ⁽¹³⁾ e o pH da digesta ⁽¹⁴⁾.

Dessa forma, a suplementação de xilanase pode ser considerada como alternativa viável para aumentar a digestibilidade ⁽¹⁵⁾, a disponibilidade de nutrientes ⁽¹⁶⁾, o valor nutricional ⁽¹⁷⁾ e o valor de energia metabolizável das dietas ⁽¹⁸⁾. Também podem melhorar o desempenho dos animais ^(17, 19, 20). Portanto, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a funcionalidade

nutricional do complexo xilanolítico produzido a partir de fungos da linhagem *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus* UFMS 48.136, oriundo do bioma Cerrado/Pantanal sul mato-grossense em comparação à xilanase comercial, em dietas de suínos.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Todos os procedimentos e práticas no uso dos animais estão de acordo com os princípios éticos de experimentação animal e foram aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de Animais da UFMS, sob protocolo número 1124/2020. Foram utilizados 16 suínos, machos castrados, com mesmo padrão genético, com peso inicial de $64,23 \pm 10,5$ kg, alojados individualmente.

As enzimas utilizadas neste estudo foram xilanases produzidas a partir do fungo *Aspergillus japonicus* UFMS 48.136 isolado de solos na região de Mato Grosso do Sul e identificado⁽²¹⁾, mantidas na micoteca da UFMS/Campo Grande/MS e xilanase comercial (Natugrain). Para a obtenção das xilanases de *A. japonicus* utilizou-se o meio líquido SR, segundo metodologia com farelo de trigo como fonte indutora da enzima⁽²²⁾. Após o crescimento em condição de 30°C por 96 horas, o meio foi filtrado para obtenção do complexo xilanolítico.

Os animais foram distribuídos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro dietas (dieta controle: formulada de acordo com as recomendações nutricionais da fase; dieta controle negativo: formulada com redução de 100 Kcal/kg de energia metabolizável; dieta controle negativo + xilanase Cerrado/Pantanal UFMS e dieta controle negativo + xilanase comercial e quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída por um animal. Na formação dos blocos, levou-se em consideração o peso inicial dos animais.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram preparadas a base de milho e farelo de soja, suplementadas com vitaminas, aminoácidos e minerais, sendo formuladas de acordo com recomendações⁽¹⁾. A xilanase comercial (Natugrain) e a complexo xilanolítico Cerrado/Pantanal UFMS foram incluídas nas dietas na mesma proporção de 100 g t^{-1} , seguindo a recomendação do fabricante da enzima comercial para conter mínimo de 10.000UX/g de produto dieta. As enzimas foram adicionadas em substituição ao material inerte (caulim). As rações e a água foram fornecidas à vontade aos animais. O ensaio de digestibilidade teve duração de oito dias, sendo quatro dias de adaptação a dieta e quatro dias de coletas de fezes.

Tabela 1 Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais

Ingredientes	Controle	Controle negativo	Xilanase Cerrado/Pantanal	Xilanase Comercial
Milho (7,86%)	70,23	70,23	70,23	70,23
Farelo de soja (46,5%)	23,46	23,46	23,46	23,46
Inerte (caulim)	1,85	3,06	3,05	3,05
Fosfato bicálcico	1,47	1,47	1,47	1,47
Óleo de soja	1,21	0,00	0,00	0,00
Carbonato de cálcio	0,64	0,64	0,64	0,64
Sal comum	0,46	0,46	0,46	0,46

L-Lisina HCl	0,35	0,35	0,35	0,35
L- Treonina	0,09	0,09	0,09	0,09
DL-Metionina	0,08	0,08	0,08	0,08
L-Triptofano	0,01	0,01	0,01	0,01
Premix vitamínico ¹	0,10	0,10	0,10	0,10
Premix mineral ²	0,05	0,05	0,05	0,05
Xilanase Cerrado/Pantanal	0,00	0,00	0,01	0,00
Xilanase Comercial	0,00	0,00	0,00	0,01
Valor nutricional*				
Proteína bruta, %	16,86	16,86	16,86	16,86
Energia metab., Kcal/kg	3.230	3.130	3.130	3.130
Lisina digestível, %	1,006	1,006	1,006	1,006
Met+Cist digestível, %	0,563	0,563	0,563	0,563
Treonina digestível, %	0,634	0,634	0,634	0,634
Triptofano digestível, %	0,181	0,181	0,181	0,181
Valina digestível, %	0,694	0,694	0,694	0,694
Sódio, %	0,200	0,200	0,200	0,200
Fósforo digestível %	0,340	0,340	0,340	0,340

1 Conteúdo por kg de dieta: Vit. A, 6.000.000UI; Vit. D3, 1.000.000UI; Vit. E, 12.000UI; Vit. B1, 0,5g; Vit. B2, 2,6g; Vit. B6, 0,7g; ácido pantotênico, 10g; Vit. K3, 1,5g; ácido nicotínico, 22g; Vit. B12, 0,015g; ácido fólico, 0,2g; biotina, 0,05g; colina, 100g e excipiente q.s.p., 1000g.

2 Conteúdo por quilograma de produto: ferro, 100g; cobre, 10g; cobalto, 0,2g; manganês, 30g; zinco, 100g; iodo, 1,0g; selênio, 0,3g e excipiente q.s.p., 1000g.

* Composição nutricional calculada de acordo com recomendações⁽¹⁾.

Foi adotada a metodologia de análise por indicador de indigestibilidade e coleta parcial das fezes. Utilizou-se o dióxido de titânio como indicador de indigestibilidade, usado como indicador pelas fórmulas:

Fator de indigestibilidade (FI) nas fezes: $FI = [TiO_2] \text{ na dieta} / [TiO_2] \text{ amostra (fezes)}$, em que: $[TiO_2]$ concentração de dióxido de titânio.

Coefficiente de metabolizabilidade (CM): $CM = (\% \text{ do nutriente na dieta}) - (\% \text{ do nutriente nas fezes} \times FI) / (\% \text{ do nutriente na dieta})$.

As amostras de fezes foram coletadas diariamente às 8h00min e 15h00min, foram pesadas, acondicionadas em sacos plásticos identificados e armazenados em freezer. Ao término do experimento, as fezes foram descongeladas, reunidas por repetição e homogêneas, retirando-se uma alíquota de 700 g, que foi mantida em estufa de ventilação forçada por 72 horas a 55°C, para secagem. Posteriormente, essas amostras foram pesadas, moídas e acondicionadas para as análises.

As determinações da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) das dietas e das fezes foram realizadas de acordo com metodologia⁽²³⁾. A energia bruta (EB) das dietas e fezes foram determinadas por meio da bomba calorimétrica.

A partir das concentrações de EB das dietas e fezes foram determinados os valores de energia digestível (ED). Os valores de energia metabolizável (EM) foram estimados considerando a retenção proteica de 50%⁽²⁴⁾, sendo a $EM = ED - \text{energia perdida na urina (EU)}$, em que

EU=proteína digestível (PD, g N da dieta)*(10-50% de retenção), considerando perda de 9,17 Kcal/g de N na urina ⁽²⁵⁾. Os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes foram calculados conforme a literatura ⁽²⁶⁾.

Durante o período experimental, a temperatura e a umidade relativa do galpão foram monitoradas diariamente, por meio de termômetros de bulbo seco e úmido e de globo negro. Os valores registrados foram convertidos no índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), para caracterizar o ambiente térmico em que os animais foram mantidos. As temperaturas máximas e mínimas foram de 31,7±1,25°C e 24±1,0°C, respectivamente. A temperatura do ar registrada no interior do galpão foi 28,9±1,0°C, a umidade relativa foi 90,9±5,4%, a temperatura de globo negro foi 28,8±1,4°C e o ITGU de 79,9±1,54.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo o procedimento GLM. As diferenças entre médias das dietas foram comparadas pelo Teste de Contrastes Ortogonais. Os contrastes testados foram: 1) dieta controle versus controle negativo; 2) dieta controle versus dietas contendo xilanases; 3) dieta controle negativo versus dietas contendo xilanases; 4) dieta controle negativo versus Xilanase Cerrado/Pantanal; 5) dieta controle negativo versus Xilanase comercial e 6) dieta Xilanase Cerrado/Pantanal versus Xilanase comercial. As análises foram realizadas por intermédio do programa estatístico SAS, em nível de 5% de significância.

3. Resultados

Constatou-se maiores ($P<0,05$) valores de ED, EM e maiores ($P<0,05$) digestibilidade da MO e do EE da dieta controle em relação à dieta controle negativo (Tabela 2). A digestibilidade da MS, PB, FDN e FDA foram similares ($P>0,05$) entre as dietas controle e controle negativo. A suplementação das xilanases proporcionou maiores ($P<0,05$) valores de digestibilidade da MS, PB, FDN e FDA em relação a dieta controle. Contudo, a dieta controle apresentou maior ($P<0,05$) digestibilidade do EE em relação as dietas contendo xilanases. Não houve diferença ($P>0,05$) entre os valores de ED, EM e a digestibilidade da MO entre a dieta controle e as dietas contendo xilanase.

A suplementação das xilanases nas dietas proporcionou maiores ($P<0,05$) valores de ED, EM e maiores ($P<0,05$) digestibilidade da MS, MO, PB, EE, FDN e FDA em relação à dieta controle negativo. Não foram constatadas diferenças ($P>0,05$) dos valores de ED, EM e das digestibilidade da MS, MO, PB, EE, FDN e FDA entre as dietas controle negativo e a dieta contendo a Xilanase comercial.

A suplementação da Xilanase comercial proporcionou maior ($P<0,05$) valor de EM em relação a dieta controle. Não foi constatado diferenças ($P>0,05$) dos valores de ED e das digestibilidade das MS, MO, PB, EE, FDN e FDA em relação da dieta controle negativo e dieta Xilanase comercial. Não foram constatadas diferenças ($P>0,05$) dos valores de ED, EM e das digestibilidades da MS, MO, PB, EE, FDN e FDA entre as dietas contendo a xilanase Cerrado/Pantanal e a xilanase comercial.

Verificou-se maior ($P < 0,05$) valor de coeficiente de digestibilidade de EE da dieta controle em relação à dieta controle negativo (Tabela 3). Contudo, o coeficiente de digestibilidade e metabolizabilidade de EB e os coeficientes de digestibilidade da MS, MO, PB, FDN, FDA foram similares ($P > 0,05$) entre as dietas controle e controle negativo.

Tabela 2 Digestibilidade das dietas contendo xilanase Cerrado/Pantanal e xilanase comercial para suínos em crescimento

Dietas ¹	Variáveis ²							
	ED, Kcal/kg	EM, Kcal/kg	MS dig, %	MO dig, %	PB dig, %	EE dig, %	FDN dig, %	FDA dig, %
C	3.267	3.115	70,29	76,99	17,55	11,46	19,18	4,55
CN	3.172	3.063	70,36	73,86	17,95	4,09	18,64	4,53
XCP	3.271	3.178	72,73	76,59	18,51	4,34	20,21	5,91
XC	3.254	3.133	72,51	76,22	18,43	4,39	20,13	5,64
CV, %	1,83	2,29	1,87	2,02	2,09	2,13	3,87	8,03
Contrastes Valor P ^{>3}								
C x CN	0,015	0,042	0,932	0,003	0,090	<0,001	0,235	0,945
C x Xs	0,888	0,267	0,003	0,461	<0,001	<0,001	0,019	<0,001
CN x Xs	0,008	0,021	0,004	0,005	0,014	<0,001	<0,001	<0,001
CN x XCP	0,011	0,014	0,008	0,005	0,020	0,005	0,003	<0,001
CN x XC	0,031	0,110	0,014	0,017	0,042	<0,001	0,004	<0,001
XCP x XC	0,612	0,289	0,786	0,685	0,720	0,514	0,851	0,266

¹ Dietas: C (controle); CN (controle negativo); CN+XCP (controle negativo + xilanase Cerrado/Pantanal); CN+XC (controle negativo + xilanase comercial).

² Variáveis: ED (energia digestível); EM (energia metabolizável); MS (matéria seca); MO (matéria orgânica); PB dig (proteína bruta digestível); FDA dig (fibra em detergente ácido digestível); FDN dig (fibra em detergente neutro digestível); EE dig (extrato etéreo digestível).

³ Contrastes: C x CN (Controle x Controle Negativo); C x Xs (Controle x Xilanases); CN x Xs (Controle Negativo x Xilanases) e XP x XC (Xilanase Cerrado/Pantanal x Xilanase Comercial).

A suplementação das xilanases possibilitou maiores ($P < 0,05$) coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade de EB e os coeficientes de digestibilidade da MS, PB, FDN, FDA em relação a dieta controle. No entanto, a dieta controle apresentou maior ($P < 0,05$) coeficiente de digestibilidade do EE em relação às dietas contendo xilanases. Não houve diferença ($P > 0,05$) do coeficiente de MO entre a dieta controle e às dietas contendo xilanases.

Tabela 3 Coeficiente de digestibilidade dos nutrientes de dietas contendo xilanase Cerrado/Pantanal e xilanase comercial para suínos em crescimento

Dietas ¹	Variáveis ²							
	CDEB	CMEB	CDMS	CDMO	CDPB	CDEE	CDFDN	CDFDA
C	81,67	77,87	81,47	82,14	81,80	84,04	66,51	45,33
CN	82,14	79,32	82,34	80,99	83,53	67,29	64,97	42,98
XCP	84,93	82,52	85,14	83,99	86,18	71,09	69,84	54,41
XC	84,22	81,10	84,73	83,58	85,90	71,94	70,91	51,90
CV, %	1,83	2,30	1,87	2,03	2,09	3,16	3,86	8,00
Contrastes Valor P ^{>3}								
C x CN	0,602	0,194	0,351	0,253	0,110	<0,001	0,328	0,313
CP x Xs	0,002	<0,001	<0,001	0,068	<0,001	<0,001	0,010	<0,001
CN x Xs	0,006	0,017	0,005	0,005	0,012	<0,001	<0,001	<0,001

CN×XCP	0,006	0,009	0,007	0,007	0,020	0,013	0,006	<0,001
CN×XC	0,032	0,116	0,018	0,017	0,034	0,003	0,001	<0,001
XCP×XC	0,433	0,203	0,655	0,680	0,787	0,533	0,493	0,283

¹ Dietas: C (controle); CN (controle negativo); CN+XCP (controle negativo + xilanase Cerrado/Pantanal); CN+XC (controle negativo + xilanase comercial).

² Variáveis: CDEB (coeficiente de digestibilidade da energia bruta); CMEB (coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta); CDMS (coeficiente de digestibilidade na matéria seca); CDMO (coeficiente de digestibilidade da matéria orgânica); CDEE (coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo). CDED (coeficiente de digestibilidade da energia digestível); CDPB (coeficiente de digestibilidade da proteína bruta); CDFDA (coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente ácido); CDFDN (coeficiente de digestibilidade da fibra de detergente neutro);

³Contrastes: C x CN (Controle x Controle Negativo); C x Xs (Controle x Xilanases); CN x Xs (Controle Negativo x Xilanases) e XP x XC (Xilanase Cerrado/Pantanal x Xilanase Comercial).

A suplementação das xilanases nas dietas proporcionou maiores ($P<0,05$) coeficientes de digestibilidade da EB, MS, MO, PB, EE, FDN, FDA e metabolizabilidade da EB em relação à dieta controle negativo. Não foram constatadas diferenças significativas ($P>0,05$) coeficiente de digestibilidade da EB, MS, MO, PB, EE, FDN, FDA e metabolizabilidade da EB entre as dietas controle negativo e dieta Xilanase Cerrado/Pantanal.

Constatou-se maior ($P<0,05$) valor de coeficiente metabolizabilidade da EB entre a dieta controle e a dieta Xilanase comercial. Contudo, não se verificou efeito ($P>0,05$) nos coeficientes de EB, MS, MO, PB, EE, FDN e FDA entre a dieta controle negativo em relação a dieta Xilanase comercial. Não foram constatadas diferenças ($P>0,05$) coeficiente de digestibilidade da EB, MS, MO, PB, EE, FDN, FDA e metabolizabilidade da EB entre as dietas contendo a xilanase Cerrado/Pantanal e xilanase comercial.

4. Discussão

De acordo com os resultados obtidos, podemos evidenciar que a dieta controle apresentou valores de 95 e 52 Kcal de ED e EM, respectivamente, superiores em relação a dieta controle negativo (Tabela 2). Embora a diferença dos valores de energia esteja abaixo daquela definida inicialmente na metodologia do estudo como sendo de 100 Kcal, não foi constatada diferença entre os coeficientes de digestibilidade dos componentes das dietas, exceto para o EE. A diferença do coeficiente de digestibilidade do EE pode ser explicada pela diferença de concentração de óleo de soja entre as dietas.

Quando analisamos as dietas suplementadas com as xilanases, podemos constatar que a xilanase Cerrado/Pantanal proporcionou aumentos de 99 e 115 Kcal nos valores de ED e EM, respectivamente, em relação à dieta controle negativo. De modo similar, a xilanase comercial proporcionou aumentos de 82 e 70 Kcal nos valores de ED e EM, respectivamente, em relação à dieta controle negativo.

O resultado do presente estudo é consistente com a literatura ⁽¹⁴⁾, indicando aumento na digestibilidade de energia em dietas contendo farelo de soja e trigo com a inclusão de xilanase para leitões recém-desmamados e com os estudos de ⁽²⁷⁾, que encontraram melhor digestibilidade de energia bruta em leitões alimentados com dietas à base de milho com a inclusão de xilanase.

Segundo ⁽²⁸⁾, suínos alimentados com dietas contendo milho, grãos de destilaria de milho com solúveis, farelo de gérmen de milho e farelo de soja com adição de xilanase obtiveram 4,5% maior digestibilidade da EB quando comparados a suínos alimentados com dieta controle. De acordo ⁽¹⁸⁾, em estudo com leitoas utilizou-se dietas ricas em fibra com a suplementação de xilanase obtiveram 2,2% de melhora na digestibilidade de EB.

Podemos observar ainda, que a suplementação das xilanases as dietas proporcionou valores e coeficientes de digestibilidade significativamente superiores para todos os componentes nutricionais avaliados. Esse fato justifica os melhores resultados observados para os valores energéticos das dietas suplementadas com as enzimas e comprova a eficácia das enzimas em estudo.

Em geral, as fibras na dieta estão relacionadas a diminuição da digestibilidade das frações que produzem energia. Por sua vez, a xilanase pode proporcionar a melhora observada no coeficiente de digestibilidade das dietas por hidrolisar parte das fibras. Essa resposta foi observada no presente estudo, uma vez que, as xilanases aumentaram a digestibilidade do FDN e do FDA. Os aumentos médios dos coeficientes de digestibilidade do FDN e do FDA, proporcionadas pela suplementação das xilanases, observadas foram de 8,3 e 23,7%, respectivamente. Este resultado é corroborado com os obtidos na literatura ⁽¹⁴⁾, em estudo conduzido com leitões recém-desmamados ocorreu um aumento da digestibilidade de FDN de 31% para dieta contendo farelo de soja e trigo. Também dietas contendo elevados teores de PNA's promovem o aumento da viscosidade do quimo ⁽²⁹⁾, o que diminui a atividade endógena enzimática sobre a dieta e diminui consideravelmente a digestibilidade dos nutrientes ⁽³⁰⁾.

As xilanases hidrolisam as arabinoxilanas e reduzem as formações de polímeros de arabinose, reduzindo as barreiras físicas entre o substrato e enzimas ⁽³¹⁾, aumento do tempo de trânsito intestinal e do pH ⁽³²⁾, o que possibilita o aumento da digestibilidade dos nutrientes ^(12, 33) enzimas digestivas produzidas pelo organismo ⁽²⁹⁾. Essas alterações na disponibilidade de nutrientes e no ambiente alteram a microbiota intestinal ⁽¹⁰⁾ e a composição da microbiota do intestino grosso ⁽³⁴⁾, que por sua vez melhora a saúde dos suínos.

A xilanase também pode contribuir com a melhora da digestibilidade da PB e da digestibilidade ileal de aminoácidos ⁽³⁵⁾. O mecanismo de ação da enzima sobre a digestibilidade dos aminoácidos está relacionado sobre a eficiência da xilanase em relação ao substrato, possibilitando assim a atividade das enzimas endógenas sobre o substrato ⁽³¹⁾. Essa resposta foi observada no presente estudo, em que as xilanases proporcionaram aumento médio do coeficiente de digestibilidade da PB de 3%.

Resposta observada por ⁽³⁶⁾, em que a inclusão da xilanase nas dietas para marrãs contendo baixo teor e alto teor de fibra tendeu a aumentar a digestibilidade de PB. Esse efeito também foi confirmado pelo estudo meta-analítico de ⁽³⁷⁾, que verificaram a partir de uma análise de 21 artigos que a xilanase aumentou a digestibilidade ileal dos aminoácidos essenciais e não essenciais entre 2 a 3%. Essa resposta pode variar conforme a ação da xilanase em relação a quantidade de PNA's na dieta.

Dessa forma, pode-se inferir que a inclusão das xilanases foram efetivas em promover aumento da digestibilidade da energia das dietas e suprir a redução da concentração de energia. Também é possível inferir que a xilanase Cerrado/Pantanal possui mesma eficiência sobre a digestibilidade dos nutrientes da fração energética das dietas em relação a xilanase comercial.

5. Conclusão

A inclusão da xilanase produzida a partir de *A. japonicus* var. *aculeatus* var. *aculeatus* UFMS 48.136 se mostrou efetiva para aumentar a digestibilidade das dietas a base de milho e farelo de soja e suprir a redução de 100 Kcal de energia metabolizável por kg de dieta. Comprovou-se a funcionalidade nutricional da xilanase Cerrado/Pantanal em dietas para suínos.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

Contribuições do autor

Conceitualização: C. Kiefer, G. C. Giannesi e F. F. Zanoelo. Curadoria de dados: C. Kiefer, K. M. R. S. Nascimento, G. C. Giannesi, F. F. Zanoelo, A. Corassa e E. R. M. Garcia. Análises: C. Kiefer, K. M. R. S. Nascimento, G. C. Giannesi, F. F. Zanoelo, A. Corassa e E. R. M. Garcia. Aquisição de financiamento: C. Kiefer. Investigação: F. A. Oliveira, C. Kiefer e G. C. Giannesi. Metodologia: C. Kiefer, G. C. Giannesi e F. F. Zanoelo. Administração do projeto: C. Kiefer. Supervisão: C. Kiefer. Escrita original: F. A. Oliveira. Escrita – revisão e edição: C. Kiefer, K. M. R. S. Nascimento, G. C. Giannesi, F. F. Zanoelo, A. Corassa, E. R. M. Garcia, U. S. Silveira e T. M. B. Santos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES; financiamento Código 001) pelo financiamento na execução do projeto de pesquisa

Referências

1. Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RD, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF. Composição de alimentos e exigências nutricionais: tabelas brasileiras para aves e suínos. 3ª Ed. Viçosa, MG: UFV. 186p. 2017.
2. Lafond M, Bouza B, Eyrichine S, Rouffineau F, Saulnier L, Giardina T, Bonnin E, Preynat A. In vitro gastrointestinal digestion study of two wheat cultivars and evaluation of xylanase supplementation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2015; 6(5): 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0002-7>
3. Wenk C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology*. 2001; 90(1-2): 21-33. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00194-8)
4. Facchini FD, Vici AC, Reis VRA, Jorge JA, Terenzi HF, Reis RA, Polizeli MDLTDM. Production of fibrolytic enzymes by *Aspergillus japonicus* C03 using agro-industrial residues with potential application as additives in animal feed. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2011; 34: 347-355. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-010-0477-8>
5. Trevisan HC. "Lipases". In: Said S, Pietro RCLR. *Enzimas como agente Biotecnológico*. 1ª Ed. Ribeirão Preto: Editora Legis Summa, p.115-135, 2004.
6. Torres-Pitarch A, Hermans D, Manzanilla EG, Bindelle J, Everaert N, Beckers Y, Lawlor PG. Effect of feed enzymes on digestibility and growth in weaned pigs: A systematic review and meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*. 2017; 233: 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.024>
7. Sun H, Cozannet P, Ma R, Zhang L, Huang YK, Preynat A, Sun LH. 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*. 2020; 262: 114380. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114380>
8. De Lange CFM, Pluske J, Gong J, Nyachoti CM. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Science*. 2010; 134(1-3): 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.117>
9. Petry AL, Patience JF. Xylanase supplementation in corn-based swine diets: a review with emphasis on potential mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, 2020; 98(11): 1-12. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa318>
10. Zhang YJ, Liu Q, Zhang WM, Zhang ZJ, Wang WL, Zhuang S. Gastrointestinal microbial diversity and short-chain fatty acid production in pigs fed different fibrous diets with or without cell wall-degrading enzyme supplementation. *Livestock Science*. 2017; 207: 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.11.017>
11. Caires CM, Fagundes NS, Fernandes EDA, Carvalho AD. Enzimas na alimentação de frangos de corte. *Revista Eletrônica Nutritime*. 2008; 5(1): 491-497. <https://www.nutritime.com.br/site/artigo-049-enzimas-na-alimentacao-de-frangos-de-corte/>
12. Zier-Rush CE, Groom C, Tillman M, Remus J, Boyd RD. The feed enzyme xylanase improves finish pig viability and carcass feed efficiency. *Journal of Animal Science*. 2016; 94: 115. <https://doi.org/10.2527/msasas2016-244>
13. He X, Yu B, He J, Huang Z, Mao X, Zheng P, Luo Y, Luo J, Wang Q, Wang H, Yu J, Chen D. Effects of xylanase on growth performance, nutrients digestibility and intestinal health in weaned piglets. *Livestock Science*. 2020; 233: 103940. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103940>
14. Mejicanos GA, González-Ortiz G, Nyachoti CM. Effect of dietary supplementation of xylanase in a wheat-based diet containing canola meal on growth performance, nutrient digestibility, organ weight, and short-chain fatty acid concentration in digesta when fed to weaned pigs. *Journal of Animal Science*. 2020; 98(3): skaa064. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa064>
15. Neto MT, Dadalt JC, Gallardo C. Nutrient and energy balance, and amino acid digestibility in weaned piglets fed wheat bran and an exogenous enzyme combination. *Animal*. 2020; 14(3): 499-507. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002052>
16. Greiner R, Konietzny U. Phytase for food applications. *Food Technology & Biotechnology*. 2006; 44(2): 125–140. https://www.researchgate.net/profile/Ralf-Greiner/publication/228337756_Phytase_for_Food_Application/links/00b7d524e81d91fab7000000/Phytase-for-Food-Application.pdf
17. Velázquez-De Lucio BS, Hernández-Domínguez EM, Villa-García M, Díaz-Godínez G, Mandujano-González V, Mendoza-Mendoza B, Álvarez-Cervantes J. Exogenous enzymes as zootechnical additives in animal feed: A review. *Catalysts*. 2021. <https://doi.org/10.3390/catal11070851>
18. Petry AL, Masey O'Neill HV, Patience JF. Xylanase, and the role of digestibility and hindgut fermentation in pigs on energetic differences among high and low energy corn samples. *Journal of Animal Science*. 2019; 97(10): 4293-4297. (10.1093/jas/skz261)
19. Ravindran V. Feed enzymes: the science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*. 2013; 22(3): 628–636. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00739>
20. Ojha BK, Singh PK, Shrivastava N. Enzymes in the Animal Feed Industry. In *Enzymes in Food Biotechnology*; Mohammed K. Ed. Academic Press: Cambridge, MA, USA, p.93–109. 2019.
21. Silva PO, de Alencar Guimarães NC, Serpa JDM, Masui DC, Marchetti CR, Verbisck NV, Zanoelo FF, Ruller R, Giannesi, GC. Application of an endoxylanase from *Aspergillus japonicus* in the fruit juice clarification and fruit peel waste hydrolysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019; 21: 101312. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101312>
22. Rizzatti ACS, Jorge JA, Terenzi HF, Rechia CGV, Polizeli MDLTD. Purification and properties of a thermostable extracellular β -xylosidase produced by thermotolerant *Aspergillus phoenicis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2001; 26: 156–160. <https://link.springer.com/article/10.1038/sj.jim.7000107>
23. Silva DJ, Queiroz AC. *Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos*. 3ª Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 235p. 2002.

24. Henn JD, Ribeiro AML, Kessler ADM. Comparação do valor nutritivo de farinhas de sangue e de farinhas de vísceras para suínos utilizando-se o método da proteína e gordura digestíveis e o método de substituição. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2006; 35(4): 1366-1372. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000500016>
25. Morgan DJ, Cole, DJA, Lewis D. Energy values in pig nutrition the relationship between digestible energy, metabolizable energy and total digestible nutrient values of a range of feedstuffs. *The Journal of Agricultural Science*. 1975; 84(1): 7-17. <https://doi.org/10.1017/S0021859600071823>
26. Sakomura N, Rostagno HS. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal, SP: FUNEP, p.58. 2016.
27. Tiwari UP, Chen H, Kim SW, Jha R. Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both in vivo and in vitro models. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 245: 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.002>
28. Kiarie E, Liu Y, Walsh MC, Stein HH, Payling L. Xylanase responses on apparent ileal digestibility of nutrients, fiber and energy in growing pigs fed corn, 30% corn co-products and soybean meal based diets as influenced by microbial phytase and acclimatization period. *Journal of Animal Science*. 2016; 94:116. <https://doi.org/10.2527/msasas2016-245>
29. Barrera M, Cervantes M, Sauer WC, Araiza AB, Torrentera N, Cervantes M. Ileal amino acid digestibility and performance of growing pigs fed wheat-based diets supplemented with xylanase. *Journal of Animal Science*. 2004; 82(7): 1997-2003. <https://doi.org/10.2527/2004.8271997x>
30. Partridge GG. The role and efficacy of carbohydrase enzymes in pig nutrition. In: Bedford MR, Partridge GG. (Ed.) *Enzymes in farm animal nutrition*. Wallingford: CABI Publishing. p.161-198. 2001. doi: <https://doi.org/10.1079/9780851993935.0161>
31. Yin YL, McEvoy JDG, Schulze H, Hennig U, Souffrant WB, McCracken KJ. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livestock Production Science*. 2000; 62(2): 119-132. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00129-3)
32. Murphy P, Dal Bello F, O'Doherty JV, Arendt EK, Sweeney T, Coffey A. Effects of cereal beta-glucans and enzyme inclusion on the porcine gastrointestinal tract microbiota. *Anaerobe*. 2012; 18(6): 557-565. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.09.005>
33. Munyaka PM, Nandha NK, Kiarie E, Nyachoti CM, Khafipour E. Impact of combined beta-glucanase and xylanase enzymes on growth performance, nutrients utilization and gut microbiota in broiler chickens fed corn or wheat-based diets. *Poultry Science*. 2016; 95(3): 528-540. <https://doi.org/10.3382/ps/pev333>
34. Zhang Z, Tun HM, Li R, Gonzalez BJ, Keenes HC, Nyachoti CM, Kiarie E, Khafipour E. Impact of xylanases on gut microbiota of growing pigs fed corn- or wheat-based diets. *Animal Nutrition*. 2018; 4(4), 339-350. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.06.007>
35. Zhao J, Zhang G, Liu L, Wang J, Zhang S. Effects of fibre-degrading enzymes in combination with different fibre sources on ileal and total tract nutrient digestibility and fermentation products in pigs. *Archives of Animal Nutrition*. 2020; 74(4), 309-324. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1766333>
36. Weiland AS, Patience JF. Effect of xylanase supplementation on nutrient and energy digestibility at three time periods in growing pigs fed diets based on corn or corn distillers dried grains with solubles. *Animal Feed Science and Technology*. 2021; 276: 114929. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114929>
37. Lehnen CR, Lovatto PA, Andretta I, Kipper M, Hauschild L, Rossi CA. Meta-análise da digestibilidade ileal de aminoácidos e minerais em suínos alimentados com dietas contendo enzimas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2011; 46(4): 438-445. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400014>