

Influência do uso de diferentes doses de aditivo enzimático na qualidade da silagem de sorgo

Influence of the use of different doses of enzymatic additive on the quality of sorghum silage

Influencia del uso de diferentes dosis de aditivo enzimático en la calidad del ensilaje de sorgo

Recebido: 24/07/2023 | Revisado: 31/07/2023 | Aceitado: 03/08/2023 | Publicado: 05/08/2023

Stela Naetzold Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1734-303X>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: snaetzold@gmail.com

Leticia Lopes da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9588-777X>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: leticialopes.zoot@gmail.com

Paola de Oliveira Selau

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3488-4047>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: paolaoliveiraselau@gmail.com

Monique Évelyn de Lima Antunes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0776-4577>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: moniqueevelynlima@gmail.com

Kamily Pech Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6649-9912>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: kamilyoliveira3004@gmail.com

Junior Navarini

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6366-431X>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: junior.navarini@acad.ufsm.br

Julio Viégas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2169-9570>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: julio.viegas@ufsm.br

Resumo

Com o objetivo de avaliar os efeitos do uso de aditivo em ensilagem de sorgo, foi conduzindo um experimento em que se analisou os parâmetros produtivos, fermentativos e a qualidade nutricional das silagens. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, sendo testados diferentes níveis de inclusão de aditivo enzimático Rovabio® em pó, constituindo os seguintes tratamentos: 1) Sorgo sem inclusão de enzimas (controle), 2) Sorgo + 100 g/ton/MV de enzima, 3) Sorgo + 250 g/ton/MV de enzimas 4) Sorgo + 500 g/ton/MV de enzima, diluídas em 60 ml de água destilada. Para mensurar a fermentação da silagem, estimou-se o pH, recuperação de matéria seca, perdas de gases e efluentes, nitrogênio amoniacal, poder tampão e densidade. Avaliou-se também parâmetros bromatológicos e de digestibilidade. A adição de doses crescentes do aditivo enzimático Rovabio® não é positivo em todos os parâmetros de qualidade da silagem de sorgo, pois a digestibilidade da silagem ficou prejudicada com qualquer dose de aditivo.

Palavras-chave: Enzimas; Silagem; Inoculante; Digestibilidade.

Abstract

About the goal of evaluating the effects of the use of additives in sorghum ensilage, an experiment was carried out in which the productive and fermentative parameters and the nutritional quality of the silages were analyzed. The experimental design was completely randomized, with different levels of inclusion of powdered Rovabio® enzymatic additive being tested, constituting the following treatments: 1) Sorghum without inclusion of enzymes (control), 2) Sorghum + 100 g/ton/MV of enzyme, 3) Sorghum + 250 g/ton/MV of enzymes 4) Sorghum + 500 g/ton/MV of enzyme, diluted in 60 ml of distilled water. To measure silage fermentation, pH, dry matter recovery, gas and effluent losses, ammonia nitrogen, buffering power and density were estimated. Bromatological and digestibility parameters

were also evaluated. The addition of increasing doses of the enzymatic additive Rovabio® is not positive for all quality parameters of the sorghum silage, as the digestibility of the silage was impaired with any dose of additive.

Keywords: Enzymes; Silage; Inoculant; Digestibility.

Resumen

Con el objetivo de evaluar los efectos del uso de aditivos en el ensilaje de sorgo, se realizó un experimento en el que se analizaron los parámetros productivos, fermentativos y la calidad nutricional de los ensilajes. El diseño experimental fue completamente al azar, ensayándose diferentes niveles de inclusión de aditivo enzimático Rovabio® en polvo, constituyendo los siguientes tratamientos: 1) Sorgo sin inclusión de enzimas (testigo), 2) Sorgo + 100 g/ton/MV de enzima, 3) Sorgo + 250 g/ton/MV de enzimas 4) Sorgo + 500 g/ton/MV de enzima, diluido en 60 ml de agua destilada. Para medir la fermentación del ensilaje, se estimó el pH, la recuperación de materia seca, las pérdidas de gases y efluentes, el nitrógeno amoniacal, el poder amortiguador y la densidad. También se evaluaron parámetros bromatológicos y de digestibilidad. La adición de dosis crecientes del aditivo enzimático Rovabio® no es positiva para todos los parámetros de calidad del ensilaje de sorgo, ya que la digestibilidad del ensilaje se ve perjudicada con cualquier dosis de aditivo.

Palabras clave: Enzimas; Ensilaje; Inoculante; Digestibilidad.

1. Introdução

O uso de silagens na alimentação de animais é uma alternativa bem difundida, principalmente em períodos em que há escassez de forragem verde, porém, um obstáculo para a máxima eficiência desta prática, é conseguir manter o valor nutritivo original da planta (Ahamed et al., 2023).

Dentre as plantas forrageiras utilizadas para a confecção de silagem, o milho (*Zea mays*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) podem ser consideradas as culturas mais utilizadas no mundo para tal finalidade, principalmente devido ao seu teor de carboidratos solúveis que favorecem a fermentação láctica (Moura et al., 2017). Porém os estudos sobre as silagens de sorgo ainda são bem inferiores em relação aos experimentos com milho.

O sorgo, além das destacadas características fermentativas, é uma planta que apresenta um índice de produtividade alto, e possui um valor energético relevante. Outra característica importante do sorgo é a boa adaptação às adversidades de clima e solo, com menor sensibilidade à seca, e menor exigência em fertilidade dos solos, com maior tolerância ao alumínio, por exemplo (Khalifa & Eltahir, 2023).

Porém a ensilagem de sorgo tem apresentado restrições na sua qualidade, como limitações de armazenamento e degradação da fibra (Thomas et al., 2013). Com isso, as enzimas têm sido usadas para aumentar a degradação da parede da planta contribuem no aumento quantitativo de alimento disponível para as bactérias, que são responsáveis por baixar o pH da massa ensilada, e dessa forma contribui para a otimização no processo de conservação da silagem (Muck et al., 2018).

O aditivo nutricional Rovabio® é composto por enzimas produzidas por fungo em combinação com enzimas como 6-fitase, desta forma, esse aditivo atua de forma sinérgica para a degradação de uma ampla gama de compostos não digestíveis. Esse suplemento é bastante utilizado na produção de rações, mas pouco explorado no processo de ensilagem.

Contudo, para promover os máximos benefícios desse aditivo na silagem, são necessários estudos que investiguem suas concentrações adequadas para melhorar a qualidade do processo fermentativo e obter uma ampla aplicação em silagens. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da inclusão de diferentes doses do aditivo enzimático sobre o valor nutritivo e perdas das silagens de sorgo.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido pelo Grupo de Estudos em Aditivos na Produção Animal (GEAPA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria com latitude 29,71'80' Sul e longitude 53,73'31' Oeste e altura média de 95 m, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O período experimental foi de dezembro de 2012 à agosto de 2013 e a semeadura

de grama foi realizada de forma manual com densidade de semeadura de acordo com recomendações do ConvertTM SS318 (Brevant) híbrido de sorgo convencional utilizado no experimento.

As adubações com as fertilizações com potássio e fosforo foram feitas de acordo com as recomendações expressa pela Manual de fertilização e calagem (Rolas, 2004). À base de ureia a fertilização com nitrogênio foi de 120 kg / ha, dividido em duas aplicações. Foram colhidas três plantas de cada amostra experimental para separação manual de componentes estruturais: caule, folha, senescente material e panícula. As amostras dos componentes estruturais foram secas em um forçado forno de ventilação a 55 ° C por 96 horas para obter a estimativa da matéria parcialmente seca e para determinar a produção agrícola e componentes morfológicos, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição estrutural do híbrido ConvertTM SS318 (Brevant) de sorgo usado na realização da silagem.

Matéria Seca	Composição Botânica (%)				Produção MS (Kg/ha)
	Folha	Colmo	Panícula	Material Senescente	
	11,9	53,1	32,1	2,81	20,674

Fonte: Autorial própria.

As plantas foram colhidas para realização do processo de ensilagem no início do mês de maio de 2013, após 134 dias de cultivo, quando o híbrido apresentou 29,8% de matéria seca. As plantas foram colhidas manualmente com altura média de 10 cm do solo e em seguida picadas em triturador estacionário regulado para diâmetro médio de partícula de 2 cm.

Foram testados diferentes níveis de inclusão de complexo enzimático Rovabio[®] em pó, este aditivo é composto por enzimas celulolíticas produzidas pelo fungo *Penicillium funiculosum*, combinado com a enzima 6-fitase produzida a partir do *Schizosaccharomyces pombe*, atuam de forma sinérgica para a degradação de compostos não digestíveis. Sendo testados os seguintes tratamentos: 1) Sorgo sem inclusão de enzimas (controle); 2) Sorgo + 100 g/ton/MV de enzima, 3) Sorgo + 250 g/ton/MV de enzimas 4) Sorgo + 500 g/ton/MV de enzima, diluídas em 60 ml de água destilada.

O material foi compactado e hermeticamente fechado em micro silos com 4 sacos plásticos para proteção contra a entrada de ar e luminosidade. A sequência dos sacos plásticos respeitou a seguinte ordem: o primeiro saco com furos no fundo tinha por finalidade a saída dos efluentes e acomodação do material ensilado; o segundo saco continha areia lavada e seca em estufa para absorção dos efluentes; o terceiro saco para melhor vedação dos demais; o quarto saco, escuro para proteção contra luminosidade. Os silos experimentais continham 8 kg de silagem e 2 kg de areia.

Para avaliação da capacidade tamponante (CT), utilizou-se metodologia descrita por Playne and McDonald (1966), aproximadamente 0,015 kg de amostra de silagem foram diluídas em 250 mL de água destilada e realizada titulação para pH 3,0 com HCl (0,1 N) e, posteriormente, titulado com NaOH (0,1 N). A densidade das silagens foi determinada através do cálculo do volume ocupado pela massa de forragem dentro de cada silo.

A abertura dos silos foi realizada no dia 15 de agosto 2014, com 90 dias após o fechamento, sendo realizada a pesagem do conjunto composto por saco, areia e silagem e separadamente de cada um dos componentes, para determinação das perdas decorrente do processo fermentativo perdas de efluentes, gases e recuperação de matéria seca (RMS) conforme Jobim et al. (2007), e os cálculos foram realizados através das seguintes equações:

$$Ef = \frac{(Pab - Pen)}{(Mvfe)} \times 1000$$

Ef = Produção de efluente (kg/t de massa verde);

Pab = Peso do conjunto (silo+areia+ pano+tela) na abertura (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+areia+pano +tela) na ensilagem (kg);

MVfe= Massa verde de forragem ensilada (kg).

$$G = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab] \times 100}{[(PCen - Pen) * MSen]}$$

G = Perdas por gases em % da MS;

PCen = Peso do silo cheio na ensilagem (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+tampa+areia +tela+pano) na ensilagem (kg);

MSen = Teor de MS da forragem na ensilagem (%);

PCab = Peso do silo cheio na abertura (kg);

MSab = Teor de MS da forragem na abertura (%).

$$RMS = \frac{(Mfab \times MSab) * 100}{(MFfe \times MSfe)}$$

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

Mfab= massa de forragem na abertura;

MSab= teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

Em cada unidade experimental, uma amostra de silagem foi retirada para determinação do pH conforme Silva e Queiroz (2002) e outra para a extração por prensagem do líquido da silagem (prensa Carver), utilizado para análise do teor de nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH₃/NT) pelo método de colorimétrica segundo Weatherburn (1967).

Posteriormente, outra amostra foi levada à estufa com circulação forçada de ar com temperatura média de 55° C até atingir peso constante, na sequência as amostras foram moídas, em moinho do tipo Willey com peneira de 1mm (análises químicas) e 2mm (estimativa de digestibilidade). Foram avaliadas a matéria seca (MS) em estufa a 105°C durante um período mínimo de 8 horas, a matéria mineral (MM) através de incineração em mufla a 550° C durante 4 horas.

A determinação de proteína bruta (PB) se deu pelo método micro Kjeldhal, segundo AOAC (2000). Foi pesado 0,5 g de amostra em sacos de poliéster com 16µ para a determinação da fibra em detergente neutro (FDN) com o uso da enzima α-amilase termoestável (Termamyl 120L, Novozimes Latin America, LTDA), com o auxílio de autoclave e o conteúdo de fibra em detergente ácido (FDA) e o teor de lignina (LDA), foram realizadas de acordo com a metodologia de Van Soest et al. (1991), sendo a LDA extraída com o uso de ácido sulfúrico 72 %. Os teores de hemicelulose (HEMI) foram estimados por diferença entre as frações do FDN menos FDA.

A degradabilidade *in situ* da matéria seca (DISMS) foi estimado de acordo com Mehrez e Orskov (1977) metodologia com 48 horas de incubação para todos os tratamentos. 1,0 g de amostra em sacos de poliamida de porosidade de 41 µ foram pesados. Posteriormente, o material será inoculado em bovinos fistulados com cânulas de 10 cm, os quais foram adaptados com silagem de boa qualidade. O uso desta técnica foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais da Universidade Federal de Santa Maria (CEUA) sob o número de protocolo 5439180417. Após o período de incubação, as bolsas foram removidas, lavadas e submetidas a um neutro processo de análise de detergente (NDF). Eles eram secados em um forno a 105 ° C por 8 horas e então queimado em uma mufla a 500 ° C por 24 h para avaliar a porcentagem de mineral residual importa e calcule a porcentagem de falta material orgânico. E o nutriente digestível total (NDT) foi estimado através de equação proposta pelo NRC (2001).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 4 repetições cada. O modelo experimental foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

y_{ij} = valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento i , repetição j ;

μ = efeito geral da média;

t_i = efeito do tratamento i ;

ϵ_{ij} = erro aleatório (resíduo).

Foi realizada análise de variação e regressão, e a escolha dos modelos foi baseada no valor de significância ($P > 0,05$), e na significância dos coeficientes linear e quadrático, com auxílio do programa estatístico SAS, versão SAS® University Edition.

3. Resultados e Discussão

Os teores de MS apresentaram comportamento quadrático (Tabela 2), com a adição das doses de aditivo, com teores máximos estimados em 33,29% MS para concentração de 254g de enzima, reduzindo posteriormente. Esse aumento da MS durante a fermentação é um indicador da eficiência desse processo, pois busca-se teores entre 30% a 35% de MS na massa ensilada, para que ocorra fermentação láctica e produção de ácidos orgânicos. No entanto, percebendo à posterior redução da MS no tratamento 500 g/ton/MV, uma possível justificativa é que durante o processo de oxidação da glicose, dependendo da rota metabólica, ocorreu produção água, gás carbono e ácidos orgânicos distintos (Muck, 2010). Outra possibilidade é que tenha ocorrido, pelos efeitos secundários da fermentação, o rompimento de células, promovendo o extravasamento do conteúdo intracelular para o meio externo (Weinberg & Chen, 2013).

Tabela 2 - Avaliação do processo fermentativo da silagem de sorgo inoculada com doses crescentes de inoculante enzimático Rovabio®.

Variáveis	Doses de Inoculante				DP	Equação	R2	P
	0	100	250	500				
MS (%)	29,9	31,4	32,2	27,3	0,09	$Y = 29,83 + 0,0271x - 0,000053x^2$	0,98	0,001
CT	9,09	8,93	9,31	10,1	32,6	$Y = 9,177 + 0,001482x$	0,63	0,01
Densidade	632	573	571	565	19,1	$Y = 611,7 - 0,1004x$	0,62	0,01
N-NH3/NT	8,03	9,05	12,1	13,5	0,15	$Y = 0,073 + 0,000125x$	0,73	0,02
PE	8,35	9,29	9,26	9,32	0,34	$Y = 8,639 + 0,001316x$	0,62	0,012
PG	2,53	2,75	2,73	2,97	0,13	$Y = 2,543 + 0,000714x$	0,63	0,001
RMS (%)	88,3	92,3	94,0	85,8	0,04	$Y = 88,42 + 0,05014x - 0,000111x^2$	0,93	0,0001

MS: Matéria Seca (%); CT: capacidade tamponante (eq mg HCL/100g MS); Densidade (kg /m3 matéria verde); PE: Perdas de efluentes (kg/Ton da MS); PG= Perdas por gases (% MS); N-NH3/NT: Nitrogênio amoniacal (% do Nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total); RMS: Recuperação de Matéria Seca (% MS); DP: desvio padrão da média. Fonte: Autoria própria.

Esse comportamento quadrático foi semelhante para RMS, pois atingiu o ponto máximo de 94,08% com adição de 225g de enzima, e depois houve uma queda na maior dose testada, tornando-se inferior até mesmo que nos silos que não receberam aditivo. Possivelmente, os resultados de MS e RMS foram afetados com a maior adição de enzima na silagem, em decorrência da produção de compostos voláteis, por alguma alteração durante o processo de fermentação da silagem

(Kristensen et al., 2010). Lemos et al. (2020) ao testar adição de níveis crescentes de enzimas fibrolíticas exógenas na silagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) encontrou resultados semelhantes, e atribuiu esse efeito quadrático para RMS as consideráveis perdas por efluentes e gases.

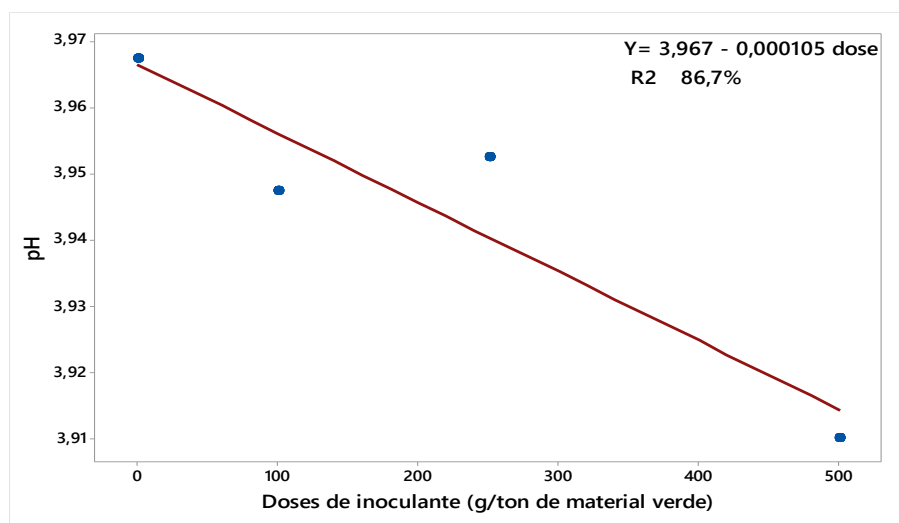
Na avaliação de perdas por efluentes e gases (Tabela 2) houve um aumento linear na ordem de 0,0014 e 0,0007 unidades percentuais com a adição enzimática. Esses resultados demonstram que houve uma maior fermentação enterobacteriana nos silos, esses microorganismos competem com bactérias ácido lácticas por nutrientes, causando perdas de matéria e energia (Schumacher et al., 2019). De acordo com Andrade et al. (2012) as silagens de gramíneas tropicais necessitam de aditivos absorventes para que não haja a perdas significativas de efluentes.

A alta compactação da silagem e, conseqüentemente, menor porosidade, são determinantes para obtermos menores perdas de MS. Sendo recomendado uma densidade com um volume médio de 700 kg/m³ para materiais com 30 a 40% de MS (Borreani et al., 2018). Neste estudo a densidade (Tabela 2) da silagem reduziu linearmente com o uso das doses crescentes de aditivo, embora o tratamento controle esteja abaixo da densidade recomendada pela literatura, nota-se que a adição de Rovabio® prejudicou a compactação da silagem afetando os outros parâmetros esperados para uma silagem de qualidade. Conforme explanado anteriormente, a fermentação enterobacteriana e outros organismos deteriorantes aeróbicos disputaram por substratos com as enzimas anaeróbicas, prejudicando o processo de ensilagem (Chen & Weinberg, 2009).

A concentração de nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH₃/NT) e a capacidade tamponante aumentaram de forma linear com a adição de enzimas no processo de silagem (Tabela 2). No processo ideal de fermentação, à medida que o pH reduz lentamente, ocorre a degradação proteica, e aumentam as concentrações de N-NH₃, assim sendo, o seu resultado é consequência das fermentações normais, porém indesejadas se elevadas, para Kung et al (2018) teores de N-NH₃ superiores a 15% é sinal de inadequada fermentação da silagem, resultado da atividade proteolítica dos clostrídios. No entanto, segundo Monteiro et al. (2011) em silagens bem conservadas, não deve ultrapassar de 11 a 12% em relação ao nitrogênio total. Sabe-se que esse comportamento de N-NH₃, é causado pela atividade bacteriana das proteínas que envolvem o grão de sorgo, como prolaminas ou kafirinas, pois o N-amoniacal é um produto da desaminação dessas proteínas, como esses compostos encapsulam grânulos de amido embutidos na matriz de proteína, eles podem afetar negativamente a digestibilidade total da silagem (Windle et al., 2014).

A capacidade tamponante reflete a capacidade de resistir mudanças no pH (Silva et al., 2011). Neste estudo de caso, o poder tampão aumentou linearmente com a adição das doses enzimáticas, mas houvesse uma queda no pH inversamente proporcional. O pH das silagens estava de acordo com o considerado ideal para uma boa silagem (Figura 1), para McDonald et al. (1991) o valor de pH deve permanecer entre 3,8 a 4,2. No entanto, a velocidade que ocorre a queda do pH, depois do fechamento do silo, é muito importante para a correta fermentação da silagem, esses resultados indicam que essa redução do pH foi lenta, e como consequência houveram maiores perdas (Cherney & Cherney, 2003), baixa digestibilidade do amido, aumento de N-amoniacal e PB, uma vez que os dois principais mecanismos, responsáveis pelo rompimento das proteínas, são a solubilização e a proteólise, que ocorrem sob condições ácidas.

Figura 1 - Comportamento do pH com adição de doses crescentes do inoculante enzimático Rovabio®.



Fonte: Autoria própria.

Como mencionado anteriormente, o teor de PB também tem ligação direta com a capacidade tamponante, e velocidade da queda do pH, pois quanto maior o teor de PB, maior a extensão da proteólise dentro do silo. Um dos produtos da proteólise é a amônia (o que eleva o teor de N-NH₃), substância alcalinizante que tende a neutralizar o pH e aumentar o poder tampão (Rooke & Hatfield, 2003). Nesse estudo os teores de PB e MM (Tabela 3) aumentaram de forma linear na silagem, com a adição do aditivo Rovabio®. Embora o conteúdo aceitável de PB, segundo Van Soest (1994), é de pelo menos 7%, para favorecer o crescimento microbiano na ensilagem, assim, sugere-se que o aumento do teor de PB contribuiu também, para o aumento do N-NH₃ e conseqüentemente aumento da capacidade tamponante, esse fato confirma o indicativo de que não ocorreu a solubilização devida das proteínas no processo de fermentação. Possivelmente o aumento da fração de MM, ocorre devido à redução da matéria orgânica na silagem.

Tabela 3 - Determinação da composição química da silagem de sorgo, com adição de diferentes doses de inoculante enzimático Rovabio®.

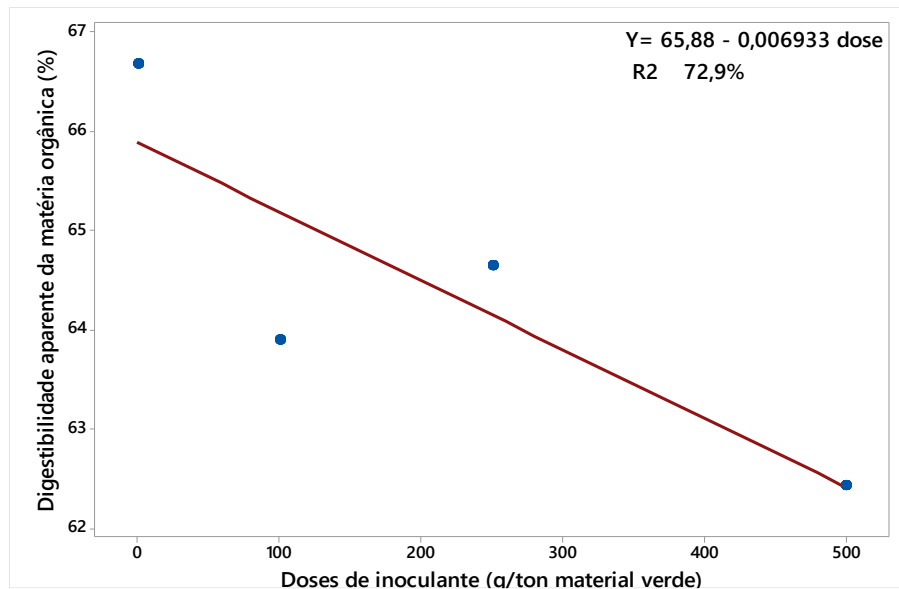
Variáveis (% MS)	Doses de Inoculante				DP	Equações	R ²	P
	0	100	250	500				
MM	4,55	4,50	4,53	4,81	0,006	Y= 4,483 + 0,000552x	0.72	0,01
FDN	47,3	43,3	40,7	47,5	0,12	Y= 47,39 -0,05289x+0,000106x ²	0.98	0,0001
FDA	25,2	24,2	21,7	26,7	0,58	Y= 25,63 -0,02902x+0,000062x ²	0.91	0,0001
HEMI	22,1	19,2	18,9	20,8	0,46	Y= 21,76 -0,0287x+0,000044x ²	0.89	0,001
LDA	1,33	2,05	1,88	4,39	0,62	Y= 1,278 + 0,005476x	0.75	0,003
PB	7,23	7,37	7,35	7,91	0,09	Y= 7,416 + 0,000560x	0.74	0,001
DISMS	66,7	63,9	64,0	62,4	0,85	Y= 65,88 -0,006933x	0.72	0,001
NDT	63,4	61,8	61,7	59,4	0,80	Y= 62,93 - 0,006935x	0.75	0,0001

MM: Matéria mineral (% MS); FDN: Fibra insolúvel em detergente neutro (% MS); FDA: Fibra insolúvel em detergente ácido (% MS); HEMI: Hemicelulose (% MS); LDA= Lignina (% MS); PB: Proteína Bruta (% MS); DISMS: Digestibilidade in situ na matéria seca (% MS); NDT: Nutriente digestíveis totais (% MS); DP: desvio padrão da média. Fonte: Autoria própria.

O comportamento do percentual de FDN e FDA (Tabela 3) na silagem, diminuíram de forma quadrática até a adição de 250 g/ton/MV do aditivo enzimático, atingindo ponto mínimo em 40% e 22 % consecutivamente. Com adição de 500 g/ton/MV, o teor voltou a aumentar. Entende-se que a adição da enzima nessa dose, não cumpriu a função principal de degradação da fibra. A hemicelulose (Tabela 2) teve comportamento semelhante atingindo ponto mínimo (17%) com adição de 250 g/ton/MV de Rovabio®, e com o acréscimo da maior dose de enzima, voltou a aumentar. A maior porcentagem da porção fibrosa do material ensilado pode estar relacionada à perda de efluente nas silagens, uma vez que os componentes solúveis em água reduzem com aumento nos constituintes da parede celular (Van Soest, 1994). A fração de fibra da silagem interfere na palatabilidade e digestibilidade da silagem.

A lignina (Tabela 3) aumentou com a adição das doses crescentes de enzima, esse resultado não é o desejado, pois a lignina diminui a digestibilidade da MS por dificultar a absorção de carboidratos estruturais degradáveis, pois forma uma barreira que impede a aderência microbiana e a hidrólise enzimática da celulose e hemicelulose (Tolentino et al., 2016). Em contraposição, porém como consequência, a DISMS, NDT (Tabela 3) e DMO (Figura 2) diminuíram de forma linear à medida que foi acrescentado o aditivo enzimático na ensilagem, esses fatores estão diretamente relacionados com o desempenho animal. Segundo Khota et al. (2017) para que esses fatores sejam aumentados na silagem é necessário que haja uma sincronia acontecimentos ao fechar do silo, como a queda rápida no pH, para que ocorra a perfeita atividade das enzimas fibrolíticas (degradação da porção fibrosa), solubilização e proteólise das proteínas (controle do N-NH₃) e contenção de microorganismos indesejáveis (causadores de perdas nutricionais e energéticas).

Figura 2 - Comportamento da Digestibilidade aparente de matéria orgânica com adição de doses crescentes do inoculante enzimático Rovabio®.



Fonte: Autoria própria.

4. Conclusão

A adição de doses crescentes do aditivo enzimático Rovabio® não é positivo em todos os parâmetros de qualidade da silagem de sorgo, pois até a adição de 250 g/ton/MV de enzimas foi positivo para parâmetros relacionados à matéria seca e alguns parâmetros bromatológicos, no entanto, a digestibilidade da silagem ficou prejudicada com qualquer dose de aditivo.

Para promover os máximos benefícios, são necessários estudos com concentrações adequadas de outros aditivos enzimáticos para melhorar a qualidade do processo fermentativo e obter uma ampla aplicação em silagens.

Referências

- Ahamed, M. D. S., Sultan, M., Shamshiri, R. R., Rahaman, M. D. M., Aleem, M., & Balasundram, S. K. (2023). Present status and challenges of fodder production in controlled environments: A review. *Smart Agricultural Technology*, 3, 1000080. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080>
- Andrade, A. P., Quadros, D. G., Bezerra, A. R. G., Almeida, J. A. R., Silva, P. H. S., & Araújo, J. A. M. (2012). Aspectos qualitativos da silagem de capim-elefante com fubá de milho e casca de soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33 (3), 1209-1218. 10.5433/1679-0359.2012v33n3p1209
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) 2000. Official method of analysis, (7th ed.), Gaithersburg:
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal Dairy Science*, 101,3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Chen, Y., & Weinberg, Z. (2009). Changes during aerobic exposure of wheat silages. *Animal Feed ScienceTechnology*, 154, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.08.004>
- Cherney, J. H., & Cherney, D. J. R. (2003). Assessing Silage Quality. In: Buxton et al. *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin, USA. p.141-198.
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>
- Khota, W., Pholsen, S., Higgs, D., & Cai, Y. (2017). Fermentation quality and in vitro methane production of sorghum silage prepared with cellulase and lactic acid bacteria. *Animal Bioscience*, 30 (11), 1568-1574. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0502>
- Khalifa, M & Eltahir, E. A. B. (2023) Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1184373. 10.3389/fsufs.2023.1184373
- Kristensen, N. B., Sloth, K. H., Højberg, O., Spliid, N. H., Jensen, C., & Thøgersen, R. (2010). Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of dairy science*, 93 (8), 3764-74. 10.3168/jds.2010-3136.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy science*, 101 (5), 4020-4033.
- Lemos, M. F., Andrade, A. P., Silva, P. H. F., Santos, C. O., Souza, C. F. B., Silva, M. A. V., Medeiros, A. S., & Oliveira, N. P. M. (2020). Nutritional value, fermentation losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated with exogenous fibrolytic enzymes. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42, e48272. <https://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48272>
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). The biochemistry of silage. (2a ed.). Mallow: Chalcombe Publications, p. 340.
- Mehrez, A. Z., & Orskov, E. R. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 88, 645-650, 1977. <https://doi.org/10.1017/s0021859600037321>
- Monteiro, I. J. G., Abreu, J. G., Cabral, L. D. S., Ribeiro, M. D., & Dos Reis, R. H.P. (2011). Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 33 (4), 347-352. 10.4025/actascianimsci.v33i4.12629
- Moura, M. M. A., Pires, D. A. A., Costa, R. F., Tolentino, D. C., Rigueira, J. P. S., & Sales, E. C. J. (2017). Nutritional value of sorghum silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39 (2), 137-142. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.32677>
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 183-191. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021>
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., Mcallister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*. 2018, 101, 3980–4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- National Research Council, NRC (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. (7a ed.), National Academy of Science, p.408.
- Playne, M. J., & McDonald, P. (1966). The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17, 264-268.
- Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal- ROLAS (2004). Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 400.
- Rooke, J. A., & Hatfield, R. D. (2003). Biochemistry of ensiling. In: Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H. (Eds.) *Silage Science and Technology*. Madison, p.95-135.
- Silva, D. J., & Queiroz, A. C. (2002). Análise de Alimentos: Métodos químicos e biológicos. (3a ed.), Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, Viçosa, MG, p. 165.
- Silva, T. C., Silva, M. V., Ferreira, E. G., Pereira, O. G., & Ferreira, C. L. L. F. (2011). Papel da fermentação láctica na produção de silagem. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, 5, 1-17. 10.22256/pubvet.v5n1.998
- Schumacher, L., Viégas, J., Pereira, S., Tonin, T., Rocha, L., Bermudes, R., & Carpes, R. (2019). Effect of the additives milk whey, lactobacillus casei and *L. Acidophilus* on the quality of sorghum silage. *Boletim de Indústria Animal*, 76, 1-8. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1455>
- Thomas M. E., Foster J. L., McCuiston K. C., Redmon L. A., & Jessup R. W. (2013). Nutritive value, fermentation characteristics, and *in situ* disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. *Journal of Dairy Science*, 96 (11), 7120-7131. 10.3168/jds.2013-6635

Tolentino, D. C., Rodrigues, J. A. S., Pires, D. A. A., Veriato, F. T., Lima, L. O. B., & Moura M. M. A (2016). A qualidade da silagem de diferentes genótipos de sorgo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38 (2), 143-149. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i2.29030>

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2)

Van Soest, P. J (1994). Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, p. 476.

Weatherburn, M. W. (1967). Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*. 39, 971-974.

Weinberg, Z.G., & Chen, Y. (2013). Effects of storage period on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal Feed Science and Technology*, 185, 196-200. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.08.009>.

Windle, M. C., Walter, N. & Kung, Jr. L. (2014). The effect of an exogenous protease on the fermentation and nutritive value of high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, 97, 1707-1712. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7586>.