

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO

PERFIL FERMENTATIVO E VALOR NUTRITIVO DE SILAGEM DE GRAMÍNEA
ASSOCIADA AO USO DE ADITIVOS

Victor Cerqueira Leite

Campo Grande, MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL FACULDADE DE
MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO

PERFIL FERMENTATIVO E VALOR NUTRITIVO DE SILAGEM DE GRAMÍNEA
ASSOCIADA AO USO DE ADITIVOS

Fermentation profile and nutritional value of grass silage associated with the use of additive

Victor Cerqueira Leite

Orientadora: Prof. Dra. Vanessa Zirondi Longhini

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Mato grosso do Sul, como requisito à obtenção do
título de Mestre em Ciência Animal. Área de
concentração: Produção Animal.

Campo Grande, MS

2025



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
MESTRADO

Aos vinte e oito dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e cinco, às catorze horas, na Sala F da Pós-graduação FAMEZ, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos membros: Vanessa Zirondi Longhini (UFMS), Cristiane Rebouças Barbosa (FUNDECT) e Flavia de Oliveira Scarpino van Cleef (USASK), sob a presidência do primeiro, para julgar o trabalho do aluno: **VICTOR CERQUEIRA LEITE**, CPF ***.683.591-**, Área de concentração em Produção Animal, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Curso de Mestrado, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, apresentado sob o título "**Perfil fermentativo e valor nutritivo de silagem de gramínea associada ao uso de aditivos**" e orientação de Vanessa Zirondi Longhini. A presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos e agradeceu a presença de todos os Membros. A seguir, concedeu a palavra ao aluno que expôs sua Dissertação. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, a presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu parecer expresso conforme segue:

EXAMINADOR

Dra. Vanessa Zirondi Longhini (Interno)

AVALIAÇÃO

APROVADO

Dra. Cristiane Rebouças Barbosa (Externo)

APROVADO

Dra. Flavia de Oliveira Scarpino van Cleef (Externo)

APROVADO

RESULTADO FINAL:

Aprovação Aprovação com revisão Reprovação

OBSERVAÇÕES:

Banca realizada de forma híbrida com participação de membro examinador externo por vídeo conferência.

Nada mais havendo a ser tratado, a Presidente declarou a sessão encerrada e agradeceu a todos pela presença.

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **Flavia de Oliveira Scarpino van Cleef, Usuário Externo**, em 28/11/2025, às 16:22, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Zirondi Longhini, Professora do Magistério Superior**, em 28/11/2025, às 16:25, conforme horário oficial de Mato

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

NOTA
MÁXIMA
NO MEC



Documento assinado eletronicamente por **Victor Cerqueira Leite**, Usuário Externo, em 28/11/2025, às 18:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Rebouças Barbosa**, Usuário Externo, em 29/11/2025, às 20:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
[https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6073321** e o código CRC **B4EBA6C4**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.031357/2025-33

SEI nº 6073321

AGRADECIMENTOS

A Deus, cujo amor incondicional envolve e conduz meu espírito peregrino. A Ele, que nunca me abandonou, mesmo nas noites mais sombrias, e que, com misericórdia infinita, não permitiu que eu me perdesse, ainda que pequeno e imperfeito eu seja.

À minha família, especialmente àqueles que, na dura batalha da vida, ofereceram de si para que eu pudesse seguir. A quem tombou no caminho e, ainda assim, deixou como legado a força, o amor e a esperança que me sustentaram.

À minha mãe, que partiu, mas cuja dedicação e sacrifício me permitiram chegar mais longe. Ao meu pai, que, na luta silenciosa e perseverante, me lembra todos os dias que a vida é feita de coragem e resignação. Que este passo seja também deles, porque, antes de ser conquista, é herança de amor e renúncia.

À minha esposa, presença constante, companheira nas trincheiras e nas manhãs serenas. Que seu amor fiel e paciente foi abrigo, força e norte quando o mundo parecia maior do que eu podia carregar.

Aos meus filhos, que foram como dois faróis em meio à escuridão, revelando caminhos quando eu já não enxergava saída.

À minha orientadora, Profa. Dra. Vanessa Zirondi Longhini, por conduzir meu olhar ao rigor científico, com delicadeza, paciência e sabedoria.

Ao Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos, pela nobreza dos conselhos, pela empatia verdadeira e pela generosidade em ensinar mais com atitudes do que com palavras.

Aos membros da banca, pela atenção dedicada a este trabalho e por cada contribuição que o aprimorou.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFMS, pela acolhida e apoio constante.

Aos colegas de mestrado, que compartilharam comigo as alegrias e as dificuldades desta jornada.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, pela estrutura, ensino e oportunidade de formação acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e a cada professor que, com dedicação e clareza, contribuiu para a construção do meu conhecimento e para o amadurecimento desta trajetória acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio que viabilizou durante minha formação com a concessão de bolsa de estudo (Processo CNPq nº

133984/2019-2) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade da autora e não necessariamente refletem a visão do CNPq e da CAPES.

A todos que, de alguma forma, com gestos, palavras, apoio ou presença, contribuíram para a realização deste trabalho. Registro aqui minha sincera gratidão.

Resumo

LEITE, V.C. PERFIL FERMENTATIVO E VALOR NUTRITIVO DE SILAGEM DE GRAMÍNEA ASSOCIADA AO USO DE ADITIVOS. 2025. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025

O estudo teve como objetivo avaliar o uso de diferentes aditivos absorventes de umidade sobre o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem de *Pennisetum purpureum* 'BRS Capiaçu'. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições. Os tratamentos foram silagem de capim-elefante sem aditivo (controle), silagem de capim-elefante com fubá de milho e silagem de capim-elefante com farelo de trigo. O capim-elefante foi colhido com 25% de matéria seca (MS). Os aditivos foram adicionados a 12% da matéria natural do capim-elefante. Após 150 dias de fermentação, foram avaliadas a recuperação de MS, as perdas gasosas e de efluentes e o valor nutritivo das silagens. Houve redução do pH de 5,55 para 4,22 \pm 0,21 com a inclusão de fubá de milho ou farelo de trigo na silagem ($P<0,0001$). A adição de farelo de trigo resultou em maior taxa de recuperação de MS e menores perdas gasosas e de efluentes. O uso de fubá de milho e farelo de trigo aumentou o teor de MS da silagem de capim-elefante de 20,32% para 28,04% e 27,94%, respectivamente ($P<0,0001$). Quando comparados ao controle, o farelo de trigo e o fubá de milho aumentaram o teor de proteína bruta da silagem em 110,08% e 32,32%, respectivamente. A adição de fubá de milho ao capim-elefante para produção de silagem aumentou a digestibilidade *in vitro* da matéria seca para 70,1%, seguido pelo farelo de trigo e controle. Para a digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, a adição de fubá de milho e farelo de trigo não apresentou diferença estatística entre si, apresentando as maiores médias em comparação à silagem controle. A maior digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro foi observada com a adição de fubá de milho ao capim-elefante, e o menor valor foi para o farelo de trigo, que não diferiu da silagem controle. Portanto, a inclusão de 12% de fubá de milho e farelo de trigo na silagem de capim-elefante 'BRS Capiaçu' foi eficiente no sequestro de umidade, resultando em menores perdas fermentativas, maior taxa de recuperação de MS e melhoria no valor nutritivo.

Palavras-chave: aditivos, digestibilidade *in vitro*, silagem de capim, gramíneas tropicais, alta umidade

Abstract

LEITE, V.C. FERMENTATIVE PROFILE AND NUTRITIONAL VALUE OF GRASS SILAGE ASSOCIATED WITH THE USE OF ADDITIVES. 2025. 40 p. Dissertation (Master's in Animal Science) - Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025

This study aimed to evaluate the use of different moisture-absorbing additives on the fermentative profile and nutritional value of *Pennisetum purpureum* 'BRS Capiaçu' silage. The experimental design was completely randomized, with eight replicates. The treatments were elephant grass silage without additives (control), elephant grass silage with cornmeal, and elephant grass silage with wheat bran. The elephant grass was harvested with 25% dry matter (DM). The additives were added at 12% of the natural matter of the elephant grass. After 150 days of fermentation, DM recovery, gas and effluent losses, and the nutritional value of the silages were evaluated. There was a reduction in pH from 5.55 to 4.22 ± 0.21 with the inclusion of cornmeal or wheat bran in the silage ($P<0.0001$). The addition of wheat bran resulted in a higher dry matter recovery rate and lower gas and effluent losses. The use of cornmeal and wheat bran increased the dry matter content of elephant grass silage from 20.32% to 28.04% and 27.94%, respectively ($P<0.0001$). When compared to the control, wheat bran and cornmeal increased the crude protein content of the silage by 110.08% and 32.32%, respectively. The addition of cornmeal to elephant grass for silage production increased the in vitro digestibility of dry matter to 70.1%, followed by wheat bran and the control. For the in vitro digestibility of organic matter, the addition of cornmeal and wheat bran did not show a statistically significant difference between them, presenting the highest averages compared to the control silage. The highest in vitro digestibility of neutral detergent fiber was observed with the addition of cornmeal to elephant grass, and the lowest value was for wheat bran, which did not differ from the control silage. Therefore, the inclusion of 12% cornmeal and wheat bran in 'BRS Capiaçu' elephant grass silage was efficient in moisture sequestration, resulting in lower fermentative losses, a higher dry matter recovery rate, and improved nutritional value.

Keywords: additives, in vitro digestibility, grass silage, tropical grasses, high moisture

Lista de Ilustrações

Figura 1. Correlação de Pearson entre a digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DivMS) e (A) pH, (B) matéria seca, (C) fibra em detergente neutro (FDN), (D) fibra em detergente ácido (FDA), (E) carboidratos não fibrosos (CNF) e (F) nutrientes digestíveis totais (NDT).	38
Figura 2. Correlação de Pearson entre pH e (A) matéria seca, (B) proteína bruta, (C) fibra em detergente neutro (FDN), (D) fibra em detergente ácido (FDA), (E) carboidratos não fibrosos (CNF) e (F) nutrientes digestíveis totais (NDT).....	39
Figura 3. Correlação de Pearson entre índice de recuperação da matéria seca (MS) e (A) matéria seca, (B) pH, (C) proteína bruta, (D) nutrientes digestíveis totais (NDT), (E) fibra em detergente neutro (FDN) e (F) fibra em detergente ácido (FDA).	40

Lista de Tabelas

Tabela 1. Composição química dos ingredientes antes da produção de silagem	34
Tabela 2. Características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes tipos de aditivos	35
Tabela 3. Composição química da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com diferentes aditivos	36
Tabela 4. Digestibilidade <i>in vitro</i> dos nutrientes da silagem de BRS Capiaçu com aditivos...	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Conservação de forragens na produção animal	3
2.2. Capim-elefante BRS Capiacu	4
2.3. Processos fermentativos em silagem de gramíneas	5
2.4. Perdas fermentativas em silagens de gramíneas forrageiras: causas e consequências	6
2.5. Função e atuação dos aditivos sequestrantes de umidade na conservação da silagem	7
3. REFERÊNCIAS	9
Introdução	16
Material e métodos	17
Resultados e discussão	20
Conclusão	26
Referências	26
Tabelas	34
Figuras	38

1. INTRODUÇÃO

A produção de silagem no Brasil foi iniciada no final do século XIX, com os primeiros estudos com gramíneas tropicais em 1935 (NUSSIO et al., 2002), sendo desde então, utilizadas como forma de garantir alimento de qualidade para os animais durante as épocas de escassez, tendo em vista a variação climática do país durante o ano (RESENDE et al., 2017). A ensilagem é um processo que conserva a forragem fresca, por meio da fermentação anaeróbica, a qual é realizada por bactérias formadoras de ácido lático (ZANINE et al., 2006). O processo de ensilagem envolve a conversão de carboidratos solúveis em ácido lático, que provocam queda no pH da massa ensilada a níveis que inibem a atividade microbiana, preservando suas características (BARCELOS et al., 2018).

Dentre as forrageiras utilizadas para confecção de silagens, destaca-se o uso do milho, sorgo, gramíneas tropicais e cana-de-açúcar (SILVESTRE; MILLEN; 2021). A cultura do milho é tradicionalmente utilizada para ensilagem, por apresentar as características ideais para garantir uma boa fermentação, como teor de matéria seca (MS), alto carboidratos solúveis e baixa capacidade fermentativa (GURGEL et al., 2019). Por outro lado, por ser mais suscetível ao estresse hídrico, outras culturas, como o *Pennisetum purpureum* (syn. *Cenchrus purpureus*) têm se destacado na produção de silagem.

Dentre as cultivares da espécie *Pennisetum purpureum*, a cultivar BRS Capiaçu destaca-se pelo alto rendimento de massa verde, podendo alcançar 300 toneladas/ha/ano, superando a produção de culturas consolidadas para a ensilagem como o milho e a cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2016) e bom valor nutritivo (9,1 % de proteína bruta e 54,8% de digestibilidade *in vitro* da matéria seca, MS), sendo considerado um alimento de qualidade para ser utilizado como volumoso para os animais (PEREIRA et al., 2017). Embora exista vantagens econômicas na utilização de gramíneas forrageiras para ensilagem, principalmente quando se utiliza a colheita do excedente produzido no período das águas, alguns desafios são devem ser destacados.

No momento ideal do corte, quando a forrageira possui seu melhor valor nutricional, o teor de umidade é elevado, o que pode levar a problemas na fermentação e perdas nutricionais da silagem (MONTEIRO et al., 2011). Além disso, gramíneas forrageiras apresentam alta capacidade tampão e médio teor de carboidratos solúveis, resultando em silagens de baixa qualidade (MCDONALD, 1981; GURGEL et al., 2019). A alta umidade pode gerar problemas durante a ensilagem, como o desenvolvimento de bactérias do gênero *Clostridium* spp., que são produtoras de ácido butírico e aumentar as perdas de nutrientes, pela liberação de efluentes.

Dessa forma, quando a forrageira é colhida muito jovem, favorecerá a multiplicação de bactérias indesejáveis, reduzindo a qualidade da silagem, gerando então à produção de grandes quantidades de efluentes (RETTORE et al., 2020).

Uma estratégia para contornar os problemas associados à silagem de gramíneas forrageiras, é o uso de aditivos absorventes de umidade, como polpa cítrica, fubá de milho, farelo de trigo, os quais podem melhor os padrões de fermentação e o valor nutricional (COSTA et al., 2015; ANTONIO et al., 2016). Portanto, hipotetiza-se que a adição de farelo de trigo e fubá de milho eleve o teor de matéria seca da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu, promovendo fermentação predominantemente lática e reduzindo perdas por gases e efluentes. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso de farelo de trigo e fubá de milho como aditivos na silagem de capim-elefante ‘BRS Capiaçu’ sobre o perfil fermentativo e o valor nutritivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conservação de forragens na produção animal

A conservação de forragens constitui um dos pilares essenciais para a sustentabilidade dos sistemas de produção animal em regiões tropicais, as quais são caracterizadas por forte sazonalidade na oferta de pastagens (VIEIRA et al., 2025). Além disso, a adoção de silagens contribui para a redução de custos operacionais e para a intensificação dos sistemas tropicais, ao permitir maior regularidade de produção, menor dependência de concentrados e fluxo alimentar mais estável ao longo do ano (DANIEL et al., 2019). Durante o período chuvoso, a maior disponibilidade de luz, temperatura e precipitação refletem no aumento da forragem com bom valor nutritivo, por outro lado, na estação seca, a escassez e o decréscimo na qualidade nutricional do pasto comprometem o desempenho produtivo e reprodutivo dos rebanhos (MONÇÃO et al., 2024). Diante desse cenário, técnicas de conservação de forragem, como a fenação e ensilagem tornam-se necessários para equilibrar a oferta alimentar ao longo do ano e reduzir as perdas associadas à estacionalidade (LEMOS et al., 2020).

O ensilamento é um dos métodos fundamentais na conservação de forragem para alimentação animal, sendo amplamente utilizada em diferentes sistemas de produção e regiões do mundo (BORREANI et al., 2018). Essa técnica consiste em armazenar o material vegetal sob condições anaeróbicas, de forma que microrganismos produtores de ácido lático promovam a fermentação, reduzindo o pH e inibindo o crescimento de microrganismos deterioradores (KUNG et al., 2018).

No contexto brasileiro, a produção de silagem além de assegurar o fornecimento de volumoso durante todo o ano, reduzindo os efeitos da estiagem, também permite o aumento da taxa de lotação e da eficiência produtiva dos rebanhos (VIEIRA et al., 2025). Entre as culturas destinadas à ensilagem, o milho e o sorgo se destacam por apresentarem elevado teor energético, boa fermentação e ampla aceitação nos sistemas de produção (SILVA et al., 2020).

A produtividade de culturas anuais destinadas à ensilagem é fortemente condicionada por fatores edafoclimáticos, como precipitação, fotoperíodo, temperatura e propriedades do solo, podendo apresentar expressiva variabilidade sob condições ambientais adversas (KHAN et al., 2023). Frente a essa realidade, o uso de gramíneas forrageiras tropicais tem se destacado como alternativa promissora para a produção de silagem, em virtude de sua elevada adaptabilidade, alta produtividade de matéria seca e ampla distribuição em regiões de clima quente (ALVES et al., 2025; YIN et al., 2025).

Entre as alternativas disponíveis, o capim-elefante destaca-se por sua expressiva capacidade de produção de biomassa (média de 100 t/ha/corte de massa verde, ou seja, 300 t/ha/ano em três corte anuais) e pelo adequado equilíbrio entre frações fibrosas e energéticas quando colhido no estádio ideal de maturação (PAULA et al., 2020). Tais características conferem a essa forrageira ampla versatilidade de uso e justificam o interesse crescente de pesquisadores e produtores em diferentes regiões do mundo (FENG et al., 2023; SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024).

2.2. Capim-elefante BRS Capiaçu

O capim-elefante é uma gramínea tropical perene pertencente à família Poaceae, amplamente utilizada em sistemas de produção de ruminantes nas regiões tropicais e subtropicais devido à sua elevada produtividade de biomassa e boa adaptação edafoclimática (SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024). Dentre as cultivares disponíveis, destaca-se a BRS Capiaçu, desenvolvido pela Embrapa Gado de Leite a partir do melhoramento genético do capim-elefante, com o objetivo de incrementar a produtividade de matéria verde e a aptidão para produção de silagem (PEREIRA et al., 2017).

O BRS Capiaçu apresenta porte elevado, podendo atingir até 4,5 m de altura e diâmetro médio de colmo de 3 a 4 cm, com colmos eretos e vigorosos, folhas longas, lanceoladas e de coloração verde-intensa. É uma forrageira cespitosa, com alta relação colmo/folha à medida que avança o estádio vegetativo. Essa característica, embora favoreça a produção de matéria verde, pode reduzir a digestibilidade quando o corte é realizado em idades mais avançadas (MONÇÃO et al., 2019).

A cultivar BRS Capiaçu apresenta notável adaptação a diferentes condições climáticas e tipos de solo, tolerando períodos curtos de déficit hídrico e respondendo positivamente à adubação nitrogenada e à irrigação (SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024). Outro grande destaque que é dado a esse cultivar, é seu alto potencial de produção, podendo atingir até 50 t/ha/ano de MS (BARBOSA et al., 2021), esse valor é cerca de 33% superior às cultivares Camarões e Mineiro (média de 33,3 t/ha/ano de MS), consideradas as mais produtivas da espécie (MONÇÃO et al., 2019).

A idade ideal de corte para maximizar a produção e a qualidade nutricional situa-se entre 90 e 110 dias de rebrota, período em que há melhor equilíbrio entre teor de matéria seca (sendo 18% a 22% de MS o valor recomendado), carboidratos solúveis e frações fibrosas (PEREIRA et al., 2016; RIBAS et al., 2021; MONÇÃO et al., 2019). Cortes muito precoces

reduzem o rendimento e o teor de fibra efetiva, enquanto cortes tardios elevam o teor de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), reduzindo a digestibilidade e a ingestão voluntária (LELIS et al., 2025).

O capim-elefante quando colhido com 20% de MS irá apresentar proteína bruta (PB) variando de 6 a 10%, 72% de FDN, 46% de FDA e 10% de lignina, esses valores irão variar conforme a idade de corte e as práticas de manejo, como a adubação (SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024). Apesar do teor relativamente baixo de carboidratos solúveis, a espécie fornece fibra efetiva de boa qualidade, importante para a manutenção da motilidade ruminal (VIEIRA et al., 2025).

Comparativamente a outras culturas destinadas à ensilagem, como milho e sorgo, o BRS Capiaçu apresenta menor teor energético e maior umidade, mas compensa pela alta produtividade e baixo custo de produção, sendo uma alternativa estratégica para propriedades com limitação de área ou de recursos para o cultivo de grãos (PEREIRA et al., 2017).

O BRS Capiaçu é amplamente indicado para produção de silagem de volumoso, destacando-se pela elevada oferta de massa verde e boa resposta ao manejo intensivo (LELIS et al., 2025). Entretanto, sua baixa concentração de matéria seca e carboidratos solúveis pode comprometer a fermentação láctica, favorecendo perdas por efluentes e fermentações secundárias (AMARAL et al., 2020). Por isso, recomenda-se o uso de aditivos energéticos, como milho moído, melaço ou subprodutos agroindustriais (polpa cítrica, resíduos de frutas e farelos energéticos), que elevam a concentração de matéria seca e o substrato fermentescível, melhorando a estabilidade e o valor nutritivo da silagem (PEREIRA et al., 2017).

2.3. Processos fermentativos em silagem de gramíneas

A ensilagem é o processo de conservação por meio da fermentação de forragem fresca, nesse processo, o material forrageiro picado é compactado com o objetivo de eliminar o ar entre as partículas e criar um ambiente predominantemente anaeróbico (BORREANI et al., 2018). Uma boa compactação reduz a presença de oxigênio, evita o superaquecimento e diminui a produção de efluentes, especialmente quando a forragem apresenta teor de matéria seca adequado, estando idealmente entre 28 e 35% (FRANCO et al., 2022).

Enquanto ainda existe oxigênio residual, ocorre respiração celular da planta e de microrganismos aeróbios. Nessa etapa, há consumo de açúcares solúveis, liberação de calor, gás carbônico (CO₂) e vapor d'água, resultando em perda de energia e matéria seca. Portanto,

essa fase deve ser curta, nesse sentido, o fechamento e vedação rápidos do silo são necessários para limitar a respiração e o aquecimento excessivo (DE MELO et al., 2023).

À medida que o oxigênio vai se esgotando, microrganismos aeróbios morrem e o ambiente se torna favorável às bactérias anaeróbias facultativas, especialmente as bactérias ácido-láticas (BAL; SUN et al., 2021). Essas bactérias passam a utilizar os carboidratos solúveis (frutose, glicose, sacarose) como substrato energético, iniciando a produção de ácidos orgânicos, predominantemente ácido lático, responsável pela rápida queda do pH, devido ao seu alto poder acidificante (GUO et al., 2023).

Dentre as BAL, pode-se destacar dois grupos de bactérias, as homofermentativas e heterofermentativas. As BAL homofermentativas, são responsáveis por converter os açúcares em ácido lático, reduzindo o pH para valores próximos a 4,0 (BORREANI et al., 2018). Em paralelo, as BAL heterofermentativas além do ácido lático, também atuam e produzem ácido acético e etanol em menores quantidades, o ácido acético por outro lado, embora seja um ácido mais fraco, aumenta a estabilidade aeróbia posteriormente, quando o silo for aberto. O autor também destaca a importância dessa fase para a conservação, pois a rápida acidificação inibe microrganismos indesejáveis, como enterobactérias, *Clostridium* spp. e leveduras resistentes à ácidos.

Quando o pH atinge o ponto de estabilidade, que se dá entre 3,8 e 4,2, a atividade microbiana diminui consideravelmente, a fermentação se encerra, a temperatura retorna ao nível ambiente e a massa ensilada entra em fase de conservação estável. A partir desse momento, a silagem pode ser armazenada por meses sem perdas significativas, desde que o silo permaneça hermeticamente fechado (BORREANI et al., 2018; KUNG et al., 2018; SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024).

2.4. Perdas fermentativas em silagens de gramíneas forrageiras: causas e consequências

Durante o processo de ensilagem, diferentes tipos de perdas podem ocorrer em função da dinâmica fermentativa e das condições físicas do material armazenado. As principais perdas estão relacionadas à liberação de gases, produção de efluentes e redução da matéria seca (MS), as quais comprometem tanto o valor nutritivo quanto o rendimento final da silagem (BORREANI et al., 2018).

As perdas gasosas decorrem principalmente da respiração vegetal e da atividade de microrganismos aeróbios nos estágios iniciais do processo, quando ainda há oxigênio presente

na massa ensilada. Esse fenômeno leva à oxidação de carboidratos solúveis e à liberação de CO₂, água e calor, elevando a temperatura interna e favorecendo a perda de energia sob a forma de gases (RAMOS et al., 2021).

As perdas por efluentes são comuns em gramíneas colhidas com baixo teor de MS, geralmente abaixo de < 28%, e resultam na lixiviação de compostos solúveis, como açúcares, ácidos orgânicos e minerais. O escoamento desses líquidos representa uma perda direta de nutrientes de alta digestibilidade. O controle da umidade do material, por meio do ponto de corte ideal e da pré-secagem, são ferramentas para minimizar essas perdas. Outra estratégia de grande importância, é a utilização de aditivos que possuem a capacidade de absorver umidade (GEBREHANNA et al., 2014).

As perdas de MS refletem o somatório de todos os processos fermentativos e oxidativos que degradam os componentes da planta, seja durante a fermentação ou após a abertura do silo (BORREANI et al., 2018). A degradação excessiva de carboidratos e proteínas, associada à produção de gases e efluentes, reduz a disponibilidade de energia e compromete a digestibilidade da silagem (KUNG et al., 2018) e posterior aproveitamento pelo animal. É valido ressaltar que durante o uso da silagem, a instabilidade aeróbia durante a retirada do material pode reativar microrganismos deterioradores, como leveduras e fungos, promovendo aquecimento e maiores perdas de nutrientes (AUERBACH et al., 2020).

2.5. Função e atuação dos aditivos sequestrantes de umidade na conservação da silagem

Os aditivos são substâncias ou misturas adicionadas ao material ensilado com o objetivo de modificar ou otimizar o processo fermentativo, melhorar a estabilidade aeróbia e preservar o valor nutritivo da silagem (JÚNIOR et al., 2025). Os aditivos podem ser classificados em diferentes grupos, de acordo com sua função principal: estimulantes de fermentação (como inoculantes microbianos), inibidores de deterioração aeróbia (como ácidos orgânicos), aditivos nutritivos (fontes de carboidratos solúveis) e absorventes de umidade, que atuam no controle do teor de MS da massa ensilada (MUCK et al., 2018).

Entre os grupos de aditivos, os absorventes de umidade destacam-se em silagens de gramíneas tropicais, especialmente em espécies com baixo teor de MS no momento do corte, como é o caso do capim-elefante e seus híbridos (SÁNCHEZ-GUERRA et al., 2024). Paula et al. (2020) demonstraram que esses aditivos têm a função de absorver o excesso de água livre e

aumentar o teor de MS da forragem, reduzindo a produção de efluentes e favorecendo um ambiente fermentativo mais estável.

Do ponto de vista físico, os absorventes de umidade atuam aumentando a capacidade de retenção de água da massa ensilada, por meio da adsorção e capilaridade. Materiais como polpa cítrica peletizada, farelo de trigo, casca de soja, farelo de algodão e fubá de milho são comumente utilizados, pois possuem alto teor de MS e boa capacidade de absorção. Essa incorporação contribui para reduzir o escoamento de efluentes e promove maior homogeneidade da massa no momento da compactação (YITBAREK; TAMIR, 2014).

Sob o ponto de vista químico e fermentativo, os aditivos absorventes favorecem a fermentação lática ao elevar a concentração de substratos fermentescíveis (carboidratos solúveis), reduzindo o tempo necessário para a queda de pH e inibindo o crescimento de microrganismos indesejáveis, como do gênero *Clostridium*. Dessa forma, há menor degradação de proteínas em amônia e menores perdas de energia sob a forma de ácidos butíricos e CO₂ (FREITAS et al., 2025).

O uso de aditivos absorventes de umidade também está associado a melhor estabilidade aeróbia após a abertura do silo, uma vez que a massa apresenta menor atividade de água e maior densidade, dificultando a reativação de leveduras e fungos durante a exposição ao oxigênio (MUCK et al., 2018). Entre os aditivos secos utilizados na ensilagem de gramíneas tropicais, o fubá de milho e o farelo de trigo destacam-se por elevarem o teor de MS, reduzirem a atividade de água e fornecerem substratos que favorecem a fermentação lática. Esses ingredientes atuam como agentes sequestrantes de umidade, diminuindo perdas por efluentes, melhorando a recuperação de MS e contribuindo para maior estabilidade aeróbia e valor nutritivo do volumoso (FREITAS et al., 2025).

O fubá de milho, além de elevar a MS, fornece carboidratos fermentescíveis e favorece rápido declínio do pH. Em silagem de capim-elefante Napier, a inclusão de 20% de fubá de milho aumentou a MS de 12% para aproximadamente 26%, reduziu o pH para próximo de 4,0, diminuiu FDN e FDA e reduziu perdas por efluentes em 10,74%, resultando em maior recuperação de MS (RAMOS NETO et al., 2020). Em maniçoba, níveis crescentes de fubá de milho (0-30%) elevaram a MS e a digestibilidade, e reduziram perdas gasosas, confirmando seu efeito energético e higroscópico (SILVA et al., 2024). Em silagem de resíduos de abacaxi, adições de 20% de farelo de milho resultaram em reduções significativas de efluentes. (MARINHO et al., 2022).

O farelo de trigo combina alta MS com fibra de baixa solubilidade, atuando como sequestrante de umidade e coadjuvante nutricional. Em capim-elefante, a inclusão de 15% de

farelo de trigo aumentou a MS de 18% para 28%, reduziu a produção de efluentes em 92% e elevou em 3% a proteína bruta em comparação à silagem sem aditivo (RIGUEIRA et al., 2018; ZANINE et al., 2006).

De forma geral, o fubá de milho se destaca pela capacidade de elevar a energia fermentável e acelerar a acidificação, enquanto o farelo de trigo proporciona maior retenção de água por unidade de inclusão e desempenho zootécnico consistente em gramíneas tropicais. A escolha entre os aditivos absorventes ou seu uso combinado deve considerar a MS inicial da forragem e a meta de atingir pelo menos 28% MS, de modo a minimizar as perdas por efluentes e maximizar a recuperação de matéria seca (YITBAREK; TAMIR, 2014). Portanto, o uso de aditivos como o fubá de milho e o farelo de trigo constitui estratégia eficiente para corrigir o baixo teor de matéria seca e melhorar o valor nutritivo de silagens de gramíneas tropicais, especialmente do capim-elefante BRS Capiaçu.

3. REFERÊNCIAS

- ALVES, W. S.; CRUZ, G. F. L.; FREITAS, R. L.; SILVEIRA, T. C.; COUTINHO, D. N.; ROSEIRA, J. P. S.; TEIXEIRA, T. N.; RIGUEIRA, J. P. S.; PEREIRA, O. G.; RIBEIRO, K. G. Fermentability coefficient of tropical forages and fermentative profile and in vitro degradability of silages. *Scientific Reports*, v. 15, p. 31213, 2025.
- AMARAL, R. C.; CARVALHO, B. F.; COSTA, D. M.; MORENZ, M. J. F.; SCHWAN, R. F.; ÁVILA, C. L. da S. Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BRS Capiaçu. *Animal Feed Science and Technology*, v. 264, 2020.
- ANTONIO, P. et al. Aditivos proteicos sequestrantes de umidade na ensilagem de gramíneas tropicais. 2016.
- AUERBACH, H.; NADEAU, E. Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy*, v. 10, n. 9, 2020.
- BARBOSA, C. R.; AZEVEDO, M.; GUIMARÃES, A.; PANTOJA, J.; FARIAS, M. Estabilidade aeróbica e qualidade de silagens de capim-elefante contendo níveis de resíduo de açaí. *Revista Agroecossistemas*, v. 13, n. 2, p. 59–77, 2021.
- BARCELOS, A. F.; CARVALHO, J. R. R.; TAVARES, V. B.; GONÇALVES, C. C. M. Valor nutritivo e características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de casca de café. *Ciência Animal Brasileira*, v. 19, p. 1–12, 2018.

- BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018.
- COSTA, E. R. et al. Valor nutricional e características fermentativas da silagem de capim-mombaça com adição de farelo de girassol. 2015.
- DANIEL, J. L. P.; BERNARDES, T. F.; JOBIM, C. C.; SCHMIDT, P.; NUSSIO, L. G. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, v. 74, p. 188–200, 2019.
- DE MELO, N. N.; CARVALHO-ESTRADA, P. de A.; TAVARES, Q. G.; PEREIRA, L. de M.; DELAI VIGNE, G. L.; CAMARGO REZENDE, D. M. L.; SCHMIDT, P. The effects of short-time delayed sealing on fermentation, aerobic stability and chemical composition on maize silages. *Agronomy*, v. 13, n. 1, 2023.
- FENG, Q.; ZHANG, J.; LING, W.; DEGEN, A. A.; ZHOU, Y.; GE, C.; YANG, F.; ZHOU, J. Ensiling hybrid *Pennisetum* with lactic acid bacteria or organic acids improved the fermentation quality and bacterial community. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023.
- FREITAS, I. O. M. A.; GURGEL, A. L. C.; ARAÚJO, M. J.; DIAS-SILVA, T. P.; MARTINS, E. V. F.; MIRANDA, R. S.; ÍTAVO, L. C. V.; DIFANTE, G. S.; EMERENCIANO NETO, J. V. Agro-industrial residues as additives in tropical grass silage: an integrative review. *Grasses*, v. 4, n. 3, e38, 2025.
- FRANCO, M.; TAPIO, I.; HUUSKONEN, A.; RINNE, M. Fermentation quality and bacterial ecology of red clover dominated silage modulated by different management factors. *Frontiers in Animal Science*, v. 3, 2022.
- GEBREHANNA, M. M.; GORDON, R. J.; MADANI, A.; VANDERZAAG, A. C.; WOOD, J. D. Silage effluent management: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 143, p. 113–122, 2014.
- GUO, X.; XU, D.; LI, F.; BAI, J.; SU, R. Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. *Microbial Biotechnology*, v. 16, n. 1, p. 67–87, 2023.
- GURGEL, A. L. C.; CAMARGO, F. C.; DIAS, A. M.; SANTANA, J. C. S.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; SILVA, M. G. P.; MACHADO, W. K. R.; FERNANDES, P. B. Produção, qualidade e utilização de silagens de capins tropicais na dieta de ruminantes. *Pubvet*, v. 13, p. 150, 2019.
- JÚNIOR, P. da C. T.; RODRIGUES, L. M. P.; MACÉDO, A. J. da S.; OLIVEIRA, J. S. de; LEMOS, M. L. P.; SANTOS, F. N. de S.; MOURA, B. R. de; PEREIRA, A. L.; SILVA, E. de S. da; CORREIA, T. B. D.; COSTA, G. A. da; MANTOVANI, H. C.; SANTOS, E.

- M. Impacts of chemical and microbial additives on the quality of forage sorghum silage during the fermentation process. *Agronomy*, v. 15, n. 5, 2025.
- KHAN, N. A.; KHAN, N.; TANG, S.; TAN, Z. Optimizing corn silage quality during hot summer conditions of the tropics: investigating the effect of additives on in-silo fermentation characteristics, nutrient profiles, digestibility and post-ensiling stability. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023.
- KUNG, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4020–4033, 2018.
- LELIS, D. L.; PACIULLO, D. S. C.; MORENZ, M. J. F.; MIRANDA GOMIDE, C. A.; ROSEIRA, J. P. S.; LOPES, F. C. F.; SILVA E OLIVEIRA, J.; PEREIRA, O. G.; SILVA, V. P.; CHIZZOTTI, F. H. M. Biomass production and silage quality of ensiled BRS Capiaçu elephant grass at different regrowth ages and residue heights. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 2025.
- 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 NETO, P. M. de. Nutritional value, fermentation losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated with exogenous fibrolytic enzymes. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, v. 42, n. 1, p. 1–7, 2020.
- MARINHO, J.; DIB, K. S.; CUNHA, R. N.; GUIMARÃES, A. K. V. Qualidade da silagem de resíduo agroindustrial de abacaxi utilizando aditivos sequestrantes de umidade. *Veterinária e Zootecnia*, v. 31, p. 1–11, 2024.
- McDONALD, P. *The biochemistry of silage*. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- MONÇÃO, F. P.; COSTA, M. A. M. S.; RIGUEIRA, J. P. S.; MOURA, M. M. A.; ROCHA, V. R.; GOMES, V. M.; LEAL, D. B.; MARANHÃO, C. M. A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; CHAMONE, J. M. A. Yield and nutritional value of BRS Capiaçu grass at different regrowth ages. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 5, p. 2045–2056, 2019.
- MONÇÃO, F. P.; ROCHA, V. R.; LEAL, D. B.; RIGUEIRA, J. P. S.; CALDEIRA, L. A.; SILVA, R. K. O. de J.; ANTUNES, A. B.; CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, A. S.; D'ANGELO, M. F. S. V. Impact of mixed forage silage with BRS Capiaçu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 53, e20240122, 2024.

- MONTEIRO, I. J. G.; ABREU, J. G.; CABRAL, L. D. S.; RIBEIRO, M. D.; REIS, R. H. P. Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, v. 33, p. 347–352, 2011.
- MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; McALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M. C.; KUNG, L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.
- NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; NUSSIO, C. M. B. Ensilagem de capins tropicais. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: SBZ, 2002. p. 60–99.
- PAULA, P. R. P.; JÚNIOR, A. P. N.; SOUZA, W. L. de; ABREU, M. J. I. de; TEIXEIRA, R. M. A.; CAPPELLE, E. R.; TAVARES, V. B. Composição bromatológica da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com inclusão de fubá de milho. *Pubvet*, v. 14, p. 148, 2020.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; SANTOS, A. M. B.; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. BRS Capiaçu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. Embrapa Gado de Leite - Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2016.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S.; MACHADO, J. C.; BARBOSA, S. BRS Kurumi and BRS Capiaçu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, p. 59–62, 2017.
- RAMOS, B. L. P.; PIRES, A. J. V.; CRUZ, N. T.; SANTOS, A. P. S. dos; NASCIMENTO, L. M. G.; SANTOS, H. P.; AMORIM, J. M. S. Perdas no processo de ensilagem: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, e8910514660, 2021.
- RAMOS NETO, K. X. C.; NEIVA JÚNIOR, A. P.; COSTA NETO, I. C.; PAULA, P. R. P.; TAVARES, V. B. Inclusão de diferentes níveis de fubá de milho em silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 17, p. 8781–8787, 2020.
- RESENDE, H.; OLIVEIRA, J.; MIRANDA, J. E. C. de; LEITE, J. Tecnologia e custo da silagem de milho. 2017.
- RETTORE, M.; ALVES, J. P.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; MENDES, S. S. Qualidade da silagem do capim-elefante BRS Capiaçu. Dourados, MS: Embrapa, 2020.
- SÁNCHEZ-GUERRA, N. A.; GONZALEZ-RONQUILLO, M.; ANDERSON, R. C.; HUME, M. E.; RUIZ-ALBARRÁN, M.; BAUTISTA-MARTÍNEZ, Y.; ZÚÑIGA-SERRANO, A.; NÁJERA-PEDRAZA, O. G.; SALINAS-CHAVIRA, J. Improvements in fermentation

- and nutritive quality of elephant grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] silages: a review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 56, n. 5, 2024.
- SILVA, L.; TAVARES, Q.; CARVALHO, W. T. V. C.; PEREIRA, R. V. G. P.; MINIGHIN, D. C. M.; CARVALHO, C. A. O. de; SILVA, A. C. G. e S.; TEIXEIRA, L. E. T.; RODRIGUES, M. J. L. R.; MELO, N. N. de M. Avaliação nutricional das silagens de milho e sorgo inoculadas com *Lactobacillus plantarum*. *Pubvet*, v. 14, n. 3, 2020.
- SILVA, P. H. F.; NEVES, R. S.; MEDEIROS, G. R.; COSTA, J. H. S.; RIBEIRO, N. L.; CARVALHO, C. B. M.; CAVALCANTE, I. T. R.; SANTOS, S. G. C. G. Increasing levels of cornmeal improve chemical and fermentation parameters of maniçoba silage. *Ciência Animal Brasileira*, v. 25, e75861E, 2024.
- SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200189, 2021.
- SUN, L.; BAI, C.; XU, H.; NA, N.; JIANG, Y.; YIN, G.; LIU, S.; XUE, Y. Succession of bacterial community during the initial aerobic, intense fermentation, and stable phases of whole-plant corn silages treated with lactic acid bacteria suspensions prepared from other silages. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, 2021.
- VIEIRA, L. C.; MIRANDA, E. S.; MARTINEZ, J. C.; BISSI DA FREIRIA, L.; CABRAL, L. da S.; MATTOS NEGRÃO, F. de. Productivity and nutritive value of elephant grass (cv. BRS Capiaçu) at different cutting ages after planting. *Bioagro*, v. 37, n. 1, p. 135–142, 2025.
- YIN, X.; WU, J.; SHEN, L.; HE, Q.; HE, S.; YUAN, M.; SUN, J.; ZHANG, J. Additives improve the fermentation quality, anthocyanin content, and biological activity of purple Napier grass silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 105, n. 2, p. 1126–1137, 2025.
- YITBAREK, M. B.; TAMIR, B. Silage additives: review. *Open Journal of Applied Sciences*, v. 4, n. 5, p. 258–274, 2014.
- ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J.; OLIVEIRA, J. S.; ALMEIDA, J. C. C.; PEREIRA, O. G. Avaliação da silagem de capim-elefante com adição de farelo de trigo. *Archivos de Zootecnia*, v. 55, n. 209, p. 75–84, 2006.

Perfil fermentativo e valor nutritivo de silagem de gramínea associada ao uso de aditivos

Resumo

O estudo avaliou o uso de aditivos absorventes de umidade sobre o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem de *Pennisetum purpureum* 'BRS Capiaçu'. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições. Os tratamentos foram: silagem sem aditivo (controle), com fubá de milho e com farelo de trigo. O capim-elefante, colhido com 25% de matéria seca (MS), recebeu os aditivos a 12% da matéria natural. Após 150 dias de fermentação, avaliaram-se a recuperação de MS, as perdas gasosas e de efluentes e o valor nutritivo das silagens. A inclusão de fubá de milho ou farelo de trigo reduziu o pH de 5,55 para $4,22 \pm 0,21$ ($P < 0,0001$). O farelo de trigo proporcionou maior recuperação de MS e menores perdas gasosas e de efluentes. Ambos os aditivos elevaram o teor de MS da silagem de 20,32% para 28,04% e 27,94%, respectivamente ($P < 0,0001$). Em relação ao controle, o farelo de trigo e o fubá de milho aumentaram o teor de proteína bruta em 110,08% e 32,32%, respectivamente. A adição de fubá de milho elevou a digestibilidade *in vitro* da MS para 70,1%, seguida pelo farelo de trigo e controle. Para a digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, ambos os aditivos apresentaram maiores médias que o controle, sem diferença entre si. A digestibilidade da fibra em detergente neutro foi superior com fubá de milho e inferior com farelo de trigo, que não diferiu do controle. Conclui-se que a inclusão de 12% de fubá de milho e farelo de trigo foi eficiente no sequestro de umidade, reduzindo perdas fermentativas, aumentando a recuperação de MS e melhorando o valor nutritivo da silagem.

Palavras-chave: aditivos, digestibilidade *in vitro*, silagem de capim, gramíneas tropicais, alta umidade

Abstract

This study evaluated the use of moisture-absorbing additives on the fermentative profile and nutritional value of *Pennisetum purpureum* 'BRS Capiaçu' silage. The experimental design was completely randomized, with eight replicates. The treatments were: silage without additive (control), with cornmeal, and with wheat bran. Elephant grass, harvested with 25% dry matter (DM), received the additives at 12% of the natural matter. After 150 days of fermentation, DM recovery, gas and effluent losses, and the nutritional value of the silages were evaluated. The inclusion of cornmeal or wheat bran reduced the pH from 5.55 to 4.22 ± 0.21 ($P < 0.0001$). Wheat bran provided greater DM recovery and lower gas and effluent losses. Both additives increased the dry matter content of the silage from 20.32% to 28.04% and 27.94%, respectively ($P < 0.0001$). Compared to the control, wheat bran and cornmeal increased the crude protein content by 110.08% and 32.32%, respectively. The addition of cornmeal increased the in vitro digestibility of dry matter to 70.1%, followed by wheat bran and the control. For the in vitro digestibility of organic matter, both additives showed higher averages than the control, with no difference between them. The digestibility of neutral detergent fiber was higher with cornmeal and lower with wheat bran, which did not differ from the control. It is concluded that the inclusion of 12% cornmeal and wheat bran was efficient in moisture sequestration, reducing fermentative losses, increasing dry matter recovery, and improving the nutritional value of the silage.

Keywords: additives, in vitro digestibility, grass silage, tropical grasses, high moisture.

Introdução

A produção de silagem no Brasil iniciou-se no final do século XIX, com os primeiros estudos envolvendo gramíneas tropicais em 1935 (NUSSIO et al., 2002), sendo desde então utilizada para garantir alimento de qualidade aos animais durante períodos de escassez, em função da variação climática ao longo do ano (RESENDE et al., 2017). A ensilagem é um processo de conservação da forragem fresca por meio da fermentação anaeróbica realizada por bactérias produtoras de ácido lático (ZANINE et al., 2006), nas quais os carboidratos solúveis são convertidos em ácido lático, reduzindo o pH a níveis capazes de inibir a atividade microbiana e preservar as características da massa ensilada (BARCELOS et al., 2018).

Entre as forrageiras utilizadas na confecção de silagens destacam-se milho, sorgo, gramíneas tropicais e cana-de-açúcar (SILVESTRE; MILLEN; 2021). O milho é tradicionalmente empregado devido ao teor de matéria seca, à alta concentração de carboidratos solúveis e à baixa capacidade tampão, que favorecem uma boa fermentação (GURGEL et al., 2019). Entretanto, sua suscetibilidade ao estresse hídrico tem impulsionado o uso de outras culturas, como *Pennisetum purpureum* (syn. *Cenchrus purpureus*), para a produção de silagem.

Dentro dessa espécie, a cultivar BRS Capiacu se destaca pelo elevado rendimento de massa verde, podendo atingir 300 t/ha/ano e superar culturas consolidadas como milho e cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2016), além de apresentar bom valor nutritivo (9,1% de proteína bruta e 54,8% de digestibilidade *in vitro* da MS), sendo considerada um volumoso de qualidade (PEREIRA et al., 2017). Apesar das vantagens econômicas do uso de gramíneas forrageiras, especialmente quando se aproveita o excedente produzido no período das águas, alguns desafios devem ser considerados.

No ponto ideal de corte, quando o valor nutricional é superior, o teor de umidade ainda é elevado, o que pode comprometer a fermentação e aumentar perdas nutricionais (MONTEIRO et al., 2011). Além disso, gramíneas forrageiras apresentam alta capacidade tampão e teores moderados de carboidratos solúveis, favorecendo a produção de silagens de menor qualidade (MCDONALD, 1981; GURGEL et al., 2019). A alta umidade também propicia o desenvolvimento de bactérias do gênero *Clostridium* spp., produtoras de ácido butírico, e eleva as perdas de nutrientes pela formação de efluentes. Assim, a colheita de forragem muito jovem intensifica a multiplicação de microrganismos indesejáveis e resulta em maiores volumes de efluentes (RETTORE et al., 2020).

Uma estratégia para mitigar esses problemas é o uso de aditivos absorventes de umidade, como polpa cítrica, fubá de milho e farelo de trigo, que podem melhorar o padrão

fermentativo e o valor nutricional das silagens (COSTA et al., 2015; ANTONIO et al., 2016). Dessa forma, hipotetiza-se que a adição de farelo de trigo e fubá de milho aumente o teor de matéria seca da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu, promovendo fermentação predominantemente lática e reduzindo perdas por gases e efluentes. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito desses aditivos sobre o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem de capim-elefante ‘BRS Capiaçu’.

Material e métodos

Todos os procedimentos realizados neste estudo foram aprovados pela Comissão de Ética de Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, sob o protocolo número 1.385/2025 - CEUA.

Local e delineamento experimental

O experimento foi conduzido na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ/UFMS), localizada em Campo Grande, MS, Brasil ($20^{\circ}30'32''S$, $54^{\circ}37'15''W$, 546 m de altitude acima do nível do mar), durante os meses de outubro de 2022 a abril de 2023. Para a preparação da silagem foi utilizado o capim-elefante ‘BRS Capiaçu’ (*Pennisetum purpureum*). A forragem foi colhida mecanicamente e picada, com tamanho médio de partícula 2 cm, determinadas por medida visual, com 22,45% de MS (Tabela 1).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram silagem de capim-elefante BRS Capiaçu (controle), silagem de capim-elefante BRS Capiaçu + fubá de milho e, silagem de capim-elefante BRS Capiaçu + farelo de trigo. Os aditivos sequestrantes foram adicionados em 12% da matéria natural (MN), com o intuito de elevar o teor de MS próximo de 30%.

Amostras frescas do capim-elefante, do fubá de milho e do farelo de trigo foram coletadas e acondicionadas em saco de papel, pesadas e secas em estufa com ventilação forçada à temperatura de $55^{\circ}C$ por 72 h. Posteriormente, foram moídas em moinho tipo Wiley em peneira com crivos de 1 mm. Análises de matéria seca (MS), cinzas, proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e fibra em detergente neutro (FDN) foram realizadas conforme metodologias descritas por Detmann et al. (2021). Os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados conforme a equação ($\%NDT = 99,36 - 0,7641.FDN$) proposta por Cappelle et al. (2001). Os carboidratos não fibrosos foram calculados seguindo a equação $[\%CNF = 100 -$

(FDN+PB+EE+cinzas)] proposta por Sniffen et al. (1992). Os dados de composição química dos ingredientes antes da produção da silagem estão descritos na Tabela 1.

Confecção da silagem

Os silos experimentais foram confeccionados utilizando tubo PVC, com 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento, sendo utilizados 24 silos. No compartimento inferior de cada silo experimental foram acondicionados 400g de areia esterilizada para quantificar as perdas por efluentes geradas durante a ensilagem. A areia foi inserida em saquinhos confeccionados com tecido TNT e tela de nylon para que não houvesse contato com o material ensilado. Em cada silo experimental foi colocado os tratamentos de modo a atingir densidade de 800 kg de MN/m³, a compactação foi realizada manualmente. Na parte superior foi utilizado lona plástica dupla face (200 Micra) e fixada com fita adesiva transparente, de modo a garantir a hermeticidade do sistema e impedir a entrada de ar, sem comprometer a saída dos gases oriundos da fermentação. Em seguida, os silos foram mantidos em local coberto e mantidos à temperatura ambiente.

Os silos foram pesados após o fechamento e antes da abertura, que ocorreu após 150 dias de fermentação para se determinar a recuperação de MS e as perdas gasosas e por efluente, seguindo as equações descrita por Jobim et al. (2007):

$$\text{Perdas gasosas (\% da MS)} = \frac{[(PC_{en} - PV_{en}) \times MS_{en}] - [(PC_{ab} - PV_{en}) \times MS_{ab}]}{(PC_{en} - PV_{en}) \times MS_{en}} \times 100$$

Onde, PC_{en} é o peso do conjunto cheio na ensilagem (kg), PV_{en} é o peso do conjunto (silo + areia + tela + lona) vazio na ensilagem (kg), MS_{en} é o teor de matéria seca da forragem na ensilagem (%), PC_{ab} é o peso do conjunto cheio na abertura (kg) e MS_{ab} é o teor de matéria seca da forragem na abertura (%).

$$\text{Recuperação de matéria seca} = \frac{(MF \text{ na abertura} \times MS \text{ na abertura})}{(MF \text{ no fechamento} \times MS \text{ no fechamento})} \times 100$$

Onde, MF na abertura e MS na abertura representam, a massa de forragem e a MS da forragem na abertura do silo, respectivamente; MF e MS no fechamento são os valores referentes à massa de forragem e MS de forragem no momento da ensilagem no fechamento do silo, respectivamente.

$$\text{Produção de efluente (kg/ t de MN)} = \frac{(\text{PT abertura} - \text{PT fechamento})}{\text{MV fechamento}} \times 1000$$

Onde, PT abertura é o peso do conjunto vazio (tubo + lona plástica + saco de areia úmida + tela) na abertura (kg), PT no fechamento é o peso do conjunto vazio (tubo + lona plástica + saco de areia seca + tela) no fechamento (kg), e MV é a massa verde de forragem no fechamento.

No momento da abertura dos silos experimentais, a temperatura foi aferida na camada de 20 cm de profundidade, com auxílio de um termômetro digital. Na parte superior e inferior dos silos foram descartados os conteúdos referentes aos 5 cm, onde se encontrou região de maior deterioração aeróbia, e o restante do conteúdo foi homogeneizado. Uma subamostra de silagem fresca foi utilizada para a determinação do pH. O pH foi determinado após a diluição de 9 gramas de silagem fresca em 60 mL de água destilada, para essa medição, foi utilizado o medidor de pH microprocessado TEC-7 (Tecnow). Após 30 minutos de repouso, um eletrodo foi introduzido na solução aguardando uma estabilização de 15 segundos para cada amostra (JOBIM et al., 2007). Em seguida, uma segunda subamostra das silagens foram coletadas, acondicionadas em sacos de papel, pesadas e secas em estufa com ventilação forçada à temperatura de 55°C por 72 h. Posteriormente, as amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley em peneira com crivos de 1 mm para determinação da MS, cinzas, PB, EE, FDN, NDT e CNF, como descrito anteriormente.

A digestibilidade *in vitro* foi determinada segundo Tilley e Terry (1963), com as modificações propostas por Holden (1999), utilizando o equipamento ANKOM (Ankom Technology Corp., Macedon, NY, EUA). Os frascos e jarros de incubação foram previamente lavados com acetona para remoção de resíduos surfactantes. As amostras foram pesadas (0,5 g) em sacos filtrantes de polipropileno (5 × 5 cm; poros de 50 µm), utilizando-se, em cada jarro, nove sacos amostrais por repetição (cinco repetições por tratamento) e dois sacos brancos para correção da contaminação microbiana. O meio de incubação consistiu em 1,6 L de solução tampão preparada com as soluções A (KH₂PO₄, MgSO₄·7H₂O, NaCl, CaCl₂·2H₂O e ureia) e B (Na₂CO₃ e Na₂S·9H₂O) na proporção 5:1, ajustada para pH 6,8. Em seguida, foram adicionados 400 mL de líquido ruminal recém-coletado, mantendo-se atmosfera de CO₂ durante todo o procedimento. Os jarros foram incubados a 39 °C com agitação contínua por 48 h, sendo posteriormente adicionados 40 mL de HCl 6 N e 8 g de pepsina por jarro, com nova incubação por 24 h. Após 72 h totais, os sacos foram lavados com água destilada e secos a 105 °C por 16 h. Após a digestibilidade *in vitro* determinou-se a matéria seca (DivMS), a matéria orgânica

(DivMO) e a fibra em detergente neutro (DivFDN), conforme metodologias descritas por Detmann et al. (2021), sendo calculada com base na diferença entre o conteúdo inicial da amostra e o resíduo pós-incubação, aplicando-se o fator de correção obtido dos sacos brancos (ÍTAVO et al., 2015).

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando procedimento GLIMMIX do pacote estatístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). Para cada variável resposta, ajustou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Em que, Y_{ij} é o valor observado na j -ésima repetição do i -ésimo tratamento, μ é a média geral, T_i é o efeito fixo do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, 3$) e e_{ij} é o erro aleatório, assumido com distribuição normal, média zero e variância constante σ^2 . Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativos ($P \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de T ($P \leq 0,05$). Correlações de Pearson foram utilizadas para avaliar a relação entre as variáveis do perfil fermentativo, composição química, digestibilidade das silagens utilizando o procedimento CORR do SAS a $P \leq 0,05$.

Resultados e discussão

Perfil fermentativo

A inclusão dos aditivos fubá de milho e farelo de trigo não alterou a temperatura da silagem de capim-elefante, sendo mantida em média a $27,95 \pm 0,17$ °C ($P=0,2814$; Tabela 2). A temperatura da silagem é um ponto importante, pois sua elevação indica a ação de microrganismos aeróbios indesejáveis, sendo utilizada como parâmetro de avaliação da deterioração da silagem. O aumento na temperatura está associado à oxidação de ácidos orgânicos e carboidratos solúveis em água (NEUMANN et al., 2019). No entanto, houve redução no pH de 5,55 para $4,22 \pm 0,21$ com a inclusão do fubá de milho e do farelo de trigo na silagem de capim-elefante.

Para se produzir uma silagem de boa qualidade, recomenda-se que o pH esteja abaixo de 4,2 (ZHAO et al., 2025). A redução no pH foi um indicativo de que houve uma boa fermentação

com a adição dos aditivos sequestrantes de umidade, a qual impediu o crescimento de micro-organismos indesejáveis. Além disso, indica que a compactação de 800 kg de MN/m³ e a vedação estavam adequadas, não ocorrendo a entrada de oxigênio no interior da silagem, proporcionando um ambiente desejável para a proliferação de bactérias ácido lácticas. Resultados semelhantes foram relatados por Paula et al. (2020), que verificaram redução do pH para a faixa ideal (3,8 a 4,2) com a inclusão de 15%-20% de fubá de milho na silagem de capim-elefante. Zanine et al. (2006) também observaram redução no pH de 4,1 quando adicionado 15% de farelo de trigo na silagem de capim-elefante. Assim, ambos os aditivos demonstraram eficiência em melhorar o perfil fermentativo de silagens de capim-elefante.

A estabilidade da silagem com baixo pH é de suma importância, se o pH não for mantido baixo, pode ocorrer o crescimento de *Clostridium* spp. e uma fermentação secundária indesejável, a qual prejudica a preservação da silagem, pois há consumo do ácido láctico, elevação do pH e redução no valor nutritivo, levando à produção de várias substâncias voláteis, principalmente o ácido butírico, reduzindo o consumo pelo animal. Portanto, manter um pH baixo é essencial para a qualidade da silagem (RONGRONG et al., 2020; HUANG et al., 2022).

O uso dos aditivos influenciou o índice de recuperação de MS, perdas gasosas e por efluente ($P \leq 0,05$; Tabela 2). A silagem sem aditivos obteve o menor índice de recuperação de MS e, consequentemente, resultou em maiores perdas. O baixo teor de MS no momento da ensilagem do capim-elefante (Tabela 1) resultou perdas por efluente 68,9% a mais quando comparada à silagem com uso de farelo de trigo. Bernadino et al. (2005) verificou perdas por efluentes de 123,5 L/ t MN na silagem de capim-elefante ensilada com 12,4 % de MS. A alta umidade pode reduzir a qualidade da silagem, por favorecer a multiplicação de bactérias indesejáveis, principalmente do gênero *Clostridium* spp. (produtoras de ácido butírico), além de aumentar as perdas de nutrientes via produção de efluentes (RETTORE et al., 2020).

O fubá de milho proporcionou índice de recuperação de MS intermediário, sem diferir das demais silagens para perdas gasosas e por efluente. O farelo de trigo na silagem resultou no maior índice de recuperação de MS e reduções em 55,23% nas perdas gasosas e 40,78% nas perdas por efluentes, em relação ao controle. A maior recuperação de MS pode estar associada à menor de produção de CO₂ pelas leveduras durante a fermentação, principal causa da redução de MS (KRUEGER et al., 2023).

Composição química

O uso do fubá de milho e farelo de trigo elevaram o teor de MS da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu de 20,32% para 28,04% e 27,94%, respectivamente ($P<0,0001$; Tabela 3). Ávila et al. (2003), reportou aumento no teor de MS da silagem de capim-tanzânia (*Panicum maximum*) de 25,54% para 28,05% e 29,14%, quando se utilizou os aditivos fubá de milho e farelo de trigo, respectivamente. A inclusão de 12% de fubá de milho e farelo de trigo com base na MN da silagem de capim-elefante foram eficientes na elevação do teor de matéria seca. Isso ocorre pois os ingredientes possuem alto teor de MS em sua composição (Tabela 1), sendo eficientes em reter a umidade (PAULA et al., 2020), melhorando o perfil fermentativo e a qualidade da silagem (Tabela 2 e 4). Sabe-se que o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium* tem menor ocorrência em culturas ensiladas com teor de MS superior a 30% (DRIEHUIS et al., 2018). Os resultados demonstram teores de MS próximo a 30% e deve-se destacar que o pH ficou próximo ao ideal de 4,2, o que pode ter proporcionado a limitação do crescimento de micro-organismos indesejáveis.

O menor teor de cinzas foi verificado para a silagem com fubá de milho, seguido pelo farelo de trigo e controle ($5,22 < 6,79 < 7,44\%$ cinzas, respectivamente). O aditivo fubá de milho apresenta o menor teor de cinzas em sua composição, seguido do farelo de trigo, resultando na diluição das cinzas na silagem com aditivos em comparação à silagem controle a qual possui teor de 9,26% de cinzas em sua composição antes da ensilagem (Tabela 1).

O uso do farelo de trigo elevou em 110,08% o teor de PB e 181,38% o EE, já no fubá de milho, houve 32,32% de incremento no valor de PB e 60,69% no índice de EE em relação à silagem de capim-elefante controle. Essas elevações foram proporcionadas pela composição química dos aditivos (Tabela 1). O farelo de trigo proporcionou os maiores teores de PB. O alto teor proteico pode aumentar o poder tampão da massa ensilada, resultando em maiores demandas de ácido lático para o rápido abaixamento do pH, de modo a garantir a fermentação desejável. Verifica-se que o alto teor de PB proveniente do farelo de trigo não resultou em prejuízos para a qualidade da silagem, uma vez que o pH ficou próximo do considerado ideal.

Neste estudo, também foi possível verificar que as porcentagens de extrato etéreo foram mais elevadas ($P<0,0001$; Tabela 3) no tratamento com adição de farelo de trigo, seguido pelo fubá de milho e a silagem controle. Infere-se que o teor de lipídeos do farelo de trigo (3,17% de EE) e do fubá de milho (1,39% de EE) antes da ensilagem, contribuiu para este resultado.

A adição dos aditivos sequestrantes de umidade resultou na redução do teor de FDN (média 47,64%) e FDA (média 31,85%) em comparação à silagem de capim-elefante controle (70,56 % FDN e 54,25% FDA). A redução dessas frações fibrosas indica que os aditivos resultam em melhor fermentação da silagem, com melhorias no valor nutritivo, pois está associada a uma maior digestibilidade da MS (BERCHIELLI et al., 2011; BACKES et al., 2014). Zanine et al. (2006) relataram redução de 62,92 para até 43,71% de FDN com inclusão de 0, 15 e 30% de farelo de trigo na silagem de capim elefante, enquanto para a FDA, reduziu de 32,90 para 15,06%.

A adição de fubá de milho e farelo de trigo na silagem de capim-elefante elevaram o teor de CNF em 151,19% e 90,56%, respectivamente, em comparação à silagem de capim-elefante sem aditivo. Avaliando o valor nutricional de silagens de teosinto (*Zea luxurians*) com inclusão de farelo de trigo, Daniel et al. (2015) verificaram que houve aumento de 0,45 pontos percentuais nos teores de CNF das silagens para cada acréscimo de 1% da inclusão do farelo de trigo. Os CNF servem de substratos para as bactérias do gênero *Lactobacillus*, melhorando a qualidade da silagem, aumentando seu valor nutritivo e contribuindo para que haja boa fermentação a partir dos carboidratos solúveis (WU et al., 2025). Portanto, a inclusão dos aditivos influenciou positivamente o teor de CNF das silagens de capim-elefante ‘BRS Capiaçu’, haja vista, que para se obter um bom padrão de fermentação, os teores de CNF devem ser acima dos 15% (YANG et al., 2022)

Houve diferença entre os tratamentos para NDT ($P<0,0001$; Tabela 3). O menor NDT foi observado para a silagem controle (45,45% de NDT), enquanto não houve diferença entre os aditivos (média 63,00% de NDT). O uso dos aditivos elevou em média 138,54% o teor de NDT em relação à silagem de capim-elefante controle. A energia oriunda do NDT é tida como o primeiro fator limitante à vida e as funções produtivas. Dessa forma, a disponibilidade do NDT para ruminantes por meio da alimentação é de extrema importância para o atendimento de suas exigências. Sugere-se como ideal a faixa entre 55 a 85% de NDT (YANG et al., 2022), evidenciando que inclusão de 12% de fubá de milho e farelo de trigo além de contribuir para a qualidade fermentativa da silagem, melhorou a composição química da silagem de capim-elefante, uma vez que a adição destes aditivos fez com que os teores de NDT fossem elevados quando comparado ao tratamento controle.

Digestibilidade *in vitro* dos nutrientes

Houve efeito do uso dos aditivos em todas as variáveis analisadas (Tabela 4; $P<0,05$). A adição do fubá de milho ao capim BRS Capiaçu para a produção de silagem elevou para 70,1% a DivMS, seguido pelo farelo de trigo (65,8%) e controle (51,4%). O fubá de milho apresenta maior teor de amido em comparação ao fubá de trigo, o que influencia na maior DivMS. Para a DivMO, a adição dos aditivos fubá de milho e o farelo de trigo não apresentaram diferença estatística entre si, apresentando as maiores médias em relação à silagem controle. O fornecimento de substratos energéticos para os microrganismos ruminais, via inclusão dos aditivos, proporcionam maior digestibilidade do alimento (LYIMO et al., 2016). Além disso, a adição dos aditivos proporcionou redução das frações fibrosas e aumentaram os teores de NDT e CNF favorecendo a digestibilidade dos nutrientes (JAWORSKI et al., 2015).

A maior DivFDN foi verificada com a adição do fubá de milho ao capim-elefante, enquanto a adição do farelo de trigo não diferiu da silagem controle. O farelo de trigo apresenta FDN de 45,35% (Tabela 1) o que pode ter reduzido a digestibilidade *in vitro* do nutriente em comparação às demais silagens avaliadas. Além disso, o farelo de trigo contém menos amido (32,48%) e mais lignina (3,86%) que o fubá de milho, o qual apresenta 73,64% de amido e apenas 1,21% de lignina (VALADARES FILHO et al., 2016). Considerando que o BRS Capiaçu pode atingir 5,02 a 8,30% de lignina conforme a idade de corte (MONÇÃO et al., 2019), o maior aporte de lignina proveniente do farelo, aliado ao menor teor de amido, provavelmente contribuiu para a redução da digestibilidade da FDN observada nesse tratamento. Dessa forma, a presença de lignina afeta a digestão das frações fibrosas dos alimentos (RAFFRENATO et al., 2017), podendo ocorrer pela toxicidade causada aos microrganismos do rúmen, pela ligação entre a lignina e polissacarídos que acarreta no impedimento físico ou pela ocorrência da hidrofobicidade que limitam a ação de enzimas hidrofílicas (WANG et al., 2022).

Houve correlação negativa entre DivMS e as variáveis pH ($r = -0,86$; $P<0,0001$), FDN ($r = -0,92$; $P<0,0001$) e FDA ($r = -0,90$; $P<0,0001$) e correlações positivas com MS ($r = 0,89$; $P<0,0001$), CNF ($r = 0,85$; $P<0,0001$) e NDT ($r = 0,92$; $P<0,0001$;) Figura 1). Os resultados demonstram que a silagem com pH acima de 5,0 apresentaram menor DivMS, enquanto silagens com pH abaixo de 4,5 obtiveram maior digestibilidade. Andrade; Melotti (2004) encontraram valores de pH na faixa de 4,0 para silagens de capim-elefante confeccionadas com teores de inclusão de fubá de milho entre 2% e 6%, sendo que, com 4% de inclusão, a silagem apresentou coeficiente de DivMS mais alto em comparação à silagem controle.

Os resultados demonstram que o uso dos aditivos fubá de milho e farelo de trigo, além de auxiliar na redução do pH para ter uma fermentação desejável, resultam em melhorias na

DivMS. Além disso, a adição de 12% dos aditivos com base na matéria natural da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu, proporcionou a elevação do teor de MS próxima ao ideal (30%), trazendo benefícios na DivMS e no índice de recuperação de MS em comparação à silagem de gramínea pura. Resultados similares foram encontrados por Zanine et al. (2006), que observaram que a inclusão de 15% de farelo de trigo na silagem de capim-elefante foi suficiente para elevar em 53% o teor de MS em comparação à silagem controle, chegando a 28,8% de teor de MS.

A DivMS apresenta correlação decrescente em relação aos teores de FDN e FDA, demonstrando que o aumento das frações fibrosas reduz a digestibilidade da silagem. Por outro lado, quando se utiliza aditivos que proporcionam aumentos nos teores de CNF e NDT, há melhoras na digestibilidade da silagem.

Observa-se na Figura 2, a correlação entre o pH da silagem e as variáveis MS, PB, FDN, FDA, CNF e NDT. O pH apresentou correlação (r) variando de -0,64 e 0,88 com as variáveis avaliadas. Somente os teores de FDN e FDA (Figura 1C-D) apresentaram correlação positiva com o pH, evidenciando que, altos teores de fibra podem dificultar a queda do pH da silagem, prejudicando sua fermentação e o índice de recuperação de MS. Esses comportamentos foram verificados para a silagem de BRS Capiaçu sem o uso de aditivos, no qual a silagem estava com teor de FDN de 70,56 % (Tabela 2). Enquanto os teores de MS, PB, CNF e NDT (Figura 3A-B; E-F) se correlacionaram negativamente com o pH. Embora a capacidade tampão das silagens esteja associada ao teor de proteína bruta, íons inorgânicos, como o Ca, K e Na e a combinação dos ácidos orgânicos e dos sais que a planta forrageira apresenta em sua composição (JOBIM et al., 2007). O aumento no teor de PB de 6,25% para 8,27% e 13,13% para silagens com fubá de milho e farelo de trigo, respectivamente, não foram suficientes para afetar negativamente a queda do pH.

Na Figura 3, são apresentadas as correlações (r) entre o índice de recuperação da MS e as variáveis MS, pH, PB, NDT, FDN e DivMS, apresentando variações entre -0,61 a 0,74. Observa-se correlação negativa entre o índice de recuperação da MS e as variáveis pH e FDN. O uso dos aditivos resultou na queda do pH para 4,2, valor considerado como ideal para garantir uma boa fermentação (JOBIM et al., 2007) e aumentos no índice de recuperação de MS. Por outro lado, a silagem de capim-elefante sem o uso de aditivos apresentou maior teor de umidade, o que pode ter dificultado a queda de pH, afetando o índice de recuperação de MS. Em contrapartida, o índice de recuperação da MS apresentou correlação positiva com os teores de NDT, DivMS, PB e MS. O que demonstra que silagens com melhor valor nutritivo garantem

melhora no índice de recuperação de MS, o que foi proporcionado pelo uso de farelo de trigo seguido por fubá de milho.

Conclusão

A inclusão de 12% de fubá de milho e farelo de trigo com base na matéria natural da silagem de capim-elefante ‘BRS Capiaçu’ foram eficientes na elevação do teor de matéria seca, resultando em menores perdas gasosas e por efluente. O uso de aditivos eleva o teor de matéria seca próximo dos 30% garantindo pH próximo de 4,2 e melhor índice de recuperação de matéria seca. Os aditivos proporcionam melhorias no valor nutritivo da silagem de ‘BRS Capiaçu’, com destaque para o uso do farelo de trigo, que proporcionou maior teor de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos não fibrosos na silagem. A redução das frações fibrosas da silagem pelo uso dos aditivos melhora a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da silagem de capim-elefante.

Referências

- ALVES, W. S.; CRUZ, G. F. L.; FREITAS, R. L.; SILVEIRA, T. C.; COUTINHO, D. N.; ROSEIRA, J. P. S.; TEIXEIRA, T. N.; RIGUEIRA, J. P. S.; PEREIRA, O. G.; RIBEIRO, K. G. Fermentability coefficient of tropical forages and fermentative profile and *in vitro* degradability of silages. *Scientific Reports*, v. 15, p. 31213, 2025.
- AMARAL, R. C.; CARVALHO, B. F.; COSTA, D. M.; MORENZ, M. J. F.; SCHWAN, R. F.; ÁVILA, C. L. da S. Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BRS Capiaçu. *Animal Feed Science and Technology*, v. 264, 2020.
- ANDRADE, S. J. T. D.; MELOTTI, L. Efeito de alguns tratamentos sobre a qualidade da silagem de capim-elefante cultivar Napier (*Pennisetum purpureum*, Schum). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 41, p. 409–415, 2004.
- ANTONIO, P. et al. Aditivos proteicos sequestrantes de umidade na ensilagem de gramíneas tropicais. 2016.
- AUERBACH, H.; NADEAU, E. Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy*, v. 10, n. 9, 2020.
- ÁVILA, C. L. S.; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, E. R.; MORAIS, E. R.; TAVARES, V. B. Perfil de fermentação das silagens de capim-tanzânia com aditivos, teores de matéria seca e proteína bruta. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40., 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, 2003.

- BACKES, A. A. et al. Valor nutritivo da silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) com e sem fubá de milho como aditivo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 15, p. 182–191, 2014.
- BARBOSA, C. R.; AZEVEDO, M.; GUIMARÃES, A.; PANTOJA, J.; FARIAS, M. Estabilidade aeróbica e qualidade de silagens de capim-elefante contendo níveis de resíduo de açaí. *Revista Agroecossistemas*, v. 13, n. 2, p. 59–77, 2021.
- BARCELOS, A. F.; CARVALHO, J. R. R.; TAVARES, V. B.; GONÇALVES, C. C. M. Valor nutritivo e características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de casca de café. *Ciência Animal Brasileira*, v. 19, p. 1–12, 2018.
- BERCHIELLI, T. T.; VEGA GARCIA, A.; OLIVEIRA, S. G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (Eds.). *Nutrição de Ruminantes*. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011. p. 565–600.
- BERNARDINO, F. S. et al. Produção e características do efluente e composição bromatológica da silagem de capim-elefante contendo diferentes níveis de casca de café. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, p. 2185–2191, 2005.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018.
- CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E. et al. Taxas de digestão das frações proteicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante, o feno de capim-tifton-85 e o farelo de soja. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, n. 6, p. 1573–1580, 2004.
- CAPPELLE, E. R.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; CECON, P. R. Estimates of the energy value from chemical characteristics of the feedstuffs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 6, p. 1837–1856, 2001.
- COSTA, E. R. et al. Valor nutricional e características fermentativas da silagem de capim-mombaça com adição de farelo de girassol. 2015.
- DANIEL, J. L. P.; BERNARDES, T. F.; JOBIM, C. C.; SCHMIDT, P.; NUSSIO, L. G. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, v. 74, p. 188–200, 2019.
- DANIEL, P. D.; NETTO, D. P.; VIDAL, R.; ZANETTI, M. B.; PIASSON, M. B.; SENGER, P.; APPELT, B. C. da S. Valor nutricional de silagens de teosinto (*Zea luxurians*) com adição de farelo de trigo. 2015. Disponível em: [Repositório da UFSC](#). Acesso em: out. 2023.

- DE MELO, N. N.; CARVALHO-ESTRADA, P. de A.; TAVARES, Q. G.; PEREIRA, L. de M.; DELAI VIGNE, G. L.; CAMARGO REZENDE, D. M. L.; SCHMIDT, P. The effects of short-time delayed sealing on fermentation, aerobic stability and chemical composition on maize silages. *Agronomy*, v. 13, n. 1, 2023.
- DETMANN, E. et al. *Métodos para análise de alimentos*. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2021.
- DRIEHUIS, F.; WILKINSON, J. M.; JIANG, Y.; OGUNADE, I.; ADESOGAN, A. T. Silage review: Animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4093-4110, 2018.
- FENG, Q.; ZHANG, J.; LING, W.; DEGEN, A. A.; ZHOU, Y.; GE, C.; YANG, F.; ZHOU, J. Ensiling hybrid *Pennisetum* with lactic acid bacteria or organic acids improved the fermentation quality and bacterial community. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023.
- FREITAS, I. O. M. A.; GURGEL, A. L. C.; ARAÚJO, M. J.; DIAS-SILVA, T. P.; MARTINS, E. V. F.; MIRANDA, R. S.; ÍTAVO, L. C. V.; DIFANTE, G. S.; EMERENCIANO NETO, J. V. Agro-industrial residues as additives in tropical grass silage: an integrative review. *Grasses*, v. 4, n. 3, e38, 2025.
- FRANCO, M.; TAPIO, I.; HUUSKONEN, A.; RINNE, M. Fermentation quality and bacterial ecology of red clover dominated silage modulated by different management factors. *Frontiers in Animal Science*, v. 3, 2022.
- GEBREHANNA, M. M.; GORDON, R. J.; MADANI, A.; VANDERZAAG, A. C.; WOOD, J. D. Silage effluent management: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 143, p. 113–122, 2014.
- GUO, X.; XU, D.; LI, F.; BAI, J.; SU, R. Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. *Microbial Biotechnology*, v. 16, n. 1, p. 67–87, 2023.
- GURGEL, A. L. C.; CAMARGO, F. C.; DIAS, A. M.; SANTANA, J. C. S.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; SILVA, M. G. P.; MACHADO, W. K. R.; FERNANDES, P. B. Produção, qualidade e utilização de silagens de capins tropicais na dieta de ruminantes. *Pubvet*, v. 13, p. 150, 2019.
- HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 1791–1794, 1999.
- HUANG, Y.; QIU, C.; WANG, Y.; ZHANG, W.; HE, L. Effect of tea polyphenols on the fermentation quality, protein preservation, antioxidant capacity and bacterial community of stylo silage. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 1–12, 2022.

- JAWORSKI, N. W.; LÆRKE, H. N.; BACH KNUDSEN, K. E.; STEIN, H. H. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 3, p. 1103–1113, 2015.
- JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A.; SCHMIDT, P. Methodological advances in evaluation of preserved forage quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 101–119, 2007.
- JÚNIOR, P. da C. T.; RODRIGUES, L. M. P.; MACÊDO, A. J. da S.; OLIVEIRA, J. S. de; LEMOS, M. L. P.; SANTOS, F. N. de S.; MOURA, B. R. de; PEREIRA, A. L.; SILVA, E. de S. da; CORREIA, T. B. D.; COSTA, G. A. da; MANTOVANI, H. C.; SANTOS, E. M. Impacts of chemical and microbial additives on the quality of forage sorghum silage during the fermentation process. *Agronomy*, v. 15, n. 5, 2025.
- KHAN, N. A.; KHAN, N.; TANG, S.; TAN, Z. Optimizing corn silage quality during hot summer conditions of the tropics: investigating the effect of additives on in-silo fermentation characteristics, nutrient profiles, digestibility and post-ensiling stability. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023.
- KRUEGER, L. A.; KOESTER, L. R.; JONES, D. F.; SPANGLER, D. A. Carbon dioxide equivalent emissions from corn silage fermentation. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 1-15, 202
- KUNG, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4020–4033, 2018.
- LELIS, D. L.; PACIULLO, D. S. C.; MORENZ, M. J. F.; MIRANDA GOMIDE, C. A.; ROSEIRA, J. P. S.; LOPES, F. C. F.; SILVA E OLIVEIRA, J.; PEREIRA, O. G.; SILVA, V. P.; CHIZZOTTI, F. H. M. Biomass production and silage quality of ensiled BRS Capiaçu elephant grass at different regrowth ages and residue heights. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 2025.
- 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 NETO, P. M. de. Nutritional value, fermentation losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated with exogenous fibrolytic enzymes. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, v. 42, n. 1, p. 1–7, 2020.

- LYIMO, B. J.; MTENGETI, E. J.; URIO, N. A.; NDEMANISHO, E. E. Effect of grass species and different levels of maize bran on silage quality. *Livestock Research for Rural Development*, v. 28, 2016.
- MARINHO, J.; DIB, K. S.; CUNHA, R. N.; GUIMARÃES, A. K. V. Qualidade da silagem de resíduo agroindustrial de abacaxi utilizando aditivos sequestrantes de umidade. *Veterinária e Zootecnia*, v. 31, p. 1–11, 2024.
- McDONALD, P. *The biochemistry of silage*. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- MONÇÃO, F. P.; COSTA, M. A. M. S.; RIGUEIRA, J. P. S.; MOURA, M. M. A.; ROCHA, V. R.; GOMES, V. M.; LEAL, D. B.; MARANHÃO, C. M. A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; CHAMONE, J. M. A. Yield and nutritional value of BRS Capiaçu grass at different regrowth ages. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 5, p. 2045–2056, 2019.
- MONÇÃO, F. P.; ROCHA, V. R.; LEAL, D. B.; RIGUEIRA, J. P. S.; CALDEIRA, L. A.; SILVA, R. K. O. de J.; ANTUNES, A. B.; CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, A. S.; D'ANGELO, M. F. S. V. Impact of mixed forage silage with BRS Capiaçu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 53, e20240122, 2024.
- MONTEIRO, I. J. G.; ABREU, J. G.; CABRAL, L. D. S.; RIBEIRO, M. D.; REIS, R. H. P. Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, v. 33, p. 347–352, 2011.
- MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; McALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M. C.; KUNG, L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.
- NEUMANN, M.; TURCO, G. M. S.; FARIA, M. V.; VIGNE, G. L. D.; SOUZA, A. M. de. Produção e composição física da planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 12, n. 1, p. 87–97, 2019.
- NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; NUSSIO, C. M. B. Ensilagem de capins tropicais. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: SBZ, 2002. p. 60–99.
- OLIVEIRA, R. L.; ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F. Fatores intrínsecos da parede celular que influenciam no consumo e digestibilidade em ruminantes. In: ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F. (Org.). *Nutrição de Ruminantes: aspectos relacionados à digestibilidade e aproveitamento de nutrientes*. Campo Grande: UFMS, 2004. p. 22–33.

- PAULA, P. R. P.; JÚNIOR, A. P. N.; SOUZA, W. L. de; ABREU, M. J. I. de; TEIXEIRA, R. M. A.; CAPPELLE, E. R.; TAVARES, V. B. Composição bromatológica da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com inclusão de fubá de milho. *Pubvet*, v. 14, p. 148, 2020.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; SANTOS, A. M. B.; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. BRS Capiaçu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. *Embrapa Gado de Leite - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*, 2016.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S.; MACHADO, J. C.; BARBOSA, S. BRS Kurumi and BRS Capiaçu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, p. 59–62, 2017.
- RAMOS, B. L. P.; PIRES, A. J. V.; CRUZ, N. T.; SANTOS, A. P. S. dos; NASCIMENTO, L. M. G.; SANTOS, H. P.; AMORIM, J. M. S. Perdas no processo de ensilagem: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, e8910514660, 2021.
- RAMOS NETO, K. X. C.; NEIVA JÚNIOR, A. P.; COSTA NETO, I. C.; PAULA, P. R. P.; TAVARES, V. B. Inclusão de diferentes níveis de fubá de milho em silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 17, p. 8781–8787, 2020.
- RESENDE, H.; OLIVEIRA, J.; MIRANDA, J. E. C. de; LEITE, J. Tecnologia e custo da silagem de milho. 2017.
- RETTORE, M.; ALVES, J. P.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; MENDES, S. S. Qualidade da silagem do capim-elefante BRS Capiaçu. Dourados, MS: Embrapa, 2020.
- RONGRONG, X.; ZHANG, X.; LI, J.; WANG, S.; HE, L. Effects of *Lactobacillus plantarum* on fermentation characteristics, aerobic stability and microbial community of alfalfa silage. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 1–12, 2020.
- SÁNCHEZ-GUERRA, N. A.; GONZALEZ-RONQUILLO, M.; ANDERSON, R. C.; HUME, M. E.; RUIZ-ALBARRÁN, M.; BAUTISTA-MARTÍNEZ, Y.; ZÚÑIGA-SERRANO, A.; NÁJERA-PEDRAZA, O. G.; SALINAS-CHAVIRA, J. Improvements in fermentation and nutritive quality of elephant grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] silages: a review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 56, n. 5, 2024.
- SILVA, L.; TAVARES, Q.; CARVALHO, W. T. V. C.; PEREIRA, R. V. G. P.; MINIGHIN, D. C. M.; CARVALHO, C. A. O. de; SILVA, A. C. G. e S.; TEIXEIRA, L. E. T.; RODRIGUES, M. J. L. R.; MELO, N. N. de M. Avaliação nutricional das silagens de milho e sorgo inoculadas com *Lactobacillus plantarum*. *Pubvet*, v. 14, n. 3, 2020.

- SILVA, P. H. F.; NEVES, R. S.; MEDEIROS, G. R.; COSTA, J. H. S.; RIBEIRO, N. L.; CARVALHO, C. B. M.; CAVALCANTE, I. T. R.; SANTOS, S. G. C. G. Increasing levels of cornmeal improve chemical and fermentation parameters of maniçoba silage. *Ciência Animal Brasileira*, v. 25, e75861E, 2024.
- SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200189, 2021.
- SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R. P.; PIRES, A. J. V.; BERNARDES, T. F.; AMARAL, R. C. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 6, p. 2000–2009, 2007.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v. 70, n. 11, p. 3562–3577, 1992.
- SUN, L.; BAI, C.; XU, H.; NA, N.; JIANG, Y.; YIN, G.; LIU, S.; XUE, Y. Succession of bacterial community during the initial aerobic, intense fermentation, and stable phases of whole-plant corn silages treated with lactic acid bacteria suspensions prepared from other silages. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, 2021.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, D. R. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, v. 18, p. 104–111, 1963.
- VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L.; PRADOS, L. F. Nutrient requirements of zebu and crossbred cattle BR-Corte. 3. ed. Viçosa: DZO–UFV, 2016. 327 p.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v. 74, n. 10, p. 3583–3597, 1991.
- VIEIRA, L. C.; MIRANDA, E. S.; MARTINEZ, J. C.; BISSI DA FREIRIA, L.; CABRAL, L. da S.; MATTOS NEGRÃO, F. de. Productivity and nutritive value of elephant grass (cv. BRS Capiaçu) at different cutting ages after planting. *Bioagro*, v. 37, n. 1, p. 135–142, 2025.
- WANG, Y. L.; WANG, W. K.; WU, Q. C.; YANG, H. J. The release and catabolism of ferulic acid in plant cell wall by rumen microbes: a review. *Animal Nutrition*, v. 9, p. 335–344, 2022.
- WU, Z.; ZHANG, X.; LI, R.; HUI, J.; DENG, L.; KIM, I.; WEI, J.; YAO, J.; LEI, X.

- Effects of cellulase and *Lactiplantibacillus plantarum* on chemical composition, fermentation characteristics, and bacterial community of *Pennisetum giganteum* z.x.lin silage. Agriculture, v. 15, n. 97, p. 1–16, 2025
- YANG, F.; WANG, Y.; ZHAO, S.; FENG, C.; FAN, X. Dynamics of the fermentation products, residual non-structural carbohydrates, and bacterial communities of wilted and non-wilted alfalfa silage with and without *Lactobacillus plantarum* inoculation. Frontiers in Microbiology, v. 12, p. 1–14, 2022
- YIN, X.; WU, J.; SHEN, L.; HE, Q.; HE, S.; YUAN, M.; SUN, J.; ZHANG, J. Additives improve the fermentation quality, anthocyanin content, and biological activity of purple Napier grass silage. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 105, n. 2, p. 1126–1137, 2025.
- YITBAREK, M. B.; TAMIR, B. Silage additives: review. Open Journal of Applied Sciences, v. 4, n. 5, p. 258–274, 2014.
- ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J.; OLIVEIRA, J. S.; ALMEIDA, J. C. C.; PEREIRA, O. G. Avaliação da silagem de capim-elefante com adição de farelo de trigo. Archivos de Zootecnia, v. 55, n. 209, p. 75–84, 2006.
- ZHAO, K.; TIAN, H.; ZHANG, J.; YU, Y.; GUO, L.; SUN, J.; LI, H. Non-destructive detection of silage pH based on colorimetric sensor array using extended color components and novel sensitive dye screening method. Agronomy, v. 15, n. 184,

Tabelas

Tabela 1. Composição química dos ingredientes antes da produção de silagem

Variáveis (% da MS)	BRS Capiaçu	Fubá de milho	Farelo de trigo
Matéria seca (% da matéria natural)	22,47	93,90	89,23
Cinzas	9,26	0,33	5,86
Proteína bruta	9,36	6,30	17,22
Extrato etéreo	1,45	1,39	3,17
Fibra em detergente neutro	73,86	5,23	45,35
Carboidratos não fibrosos	6,06	8,73	21,77
Nutriente digestível total	42,92	35,75	59,64

Tabela 2. Características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes tipos de aditivos

	Silagem de Capiaçu + aditivo			EPM	P-valor
	Controle	Fubá de milho	Farelo de trigo		
pH	5,55a	4,24b	4,20b	0,21	<0,0001
Temperatura (°C)	27,90	27,91	28,05	0,17	0,2814
IRM	78,00c	83,43b	88,79a	3,30	<0,0001
PG	14,17a	10,31ab	6,34b	2,88	0,0004
PE	87,81a	68,47ab	52,00b	19,19	0,0124

MS: Teor de matéria seca (%); IRM: Índice de recuperação de MS; PG: Perdas por gases (%) da MS); PE: Perdas por efluente (kg/t matéria natural). EPM: erro padrão da média; Letras distintas na linha diferem entre si pelo teste T ($P \leq 0,05$).

Tabela 3. Composição química da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com diferentes aditivos

Variáveis (% da MS)	Silagem de Capiaçu + aditivo			EPM	P-valor
	Controle	Fubá de milho	Farelo de trigo		
Matéria seca	20,32b	28,04a	27,94a	0,98	<0,0001
Cinzas	7,44a	5,22c	6,79b	0,25	<0,0001
Proteína bruta	6,25c	8,27b	13,13a	0,68	<0,0001
Extrato etéreo	1,45c	2,33b	4,08a	0,43	<0,0001
FDN	70,56a	47,00b	48,27b	3,35	<0,0001
FDA	54,25a	31,58b	32,11b	2,62	<0,0001
CNF	14,30c	35,92a	27,25b	3,77	<0,0001
NDT	45,45b	63,45a	62,48a	2,56	<0,0001

Matéria seca (% da matéria natural); FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; CNF: carboidratos não fibrosos; NDT: nutriente digestível total. EPM: erro padrão da média; Letras distintas na linha diferem entre si pelo teste T ($P \leq 0,05$).

Tabela 4. Digestibilidade *in vitro* dos nutrientes da silagem de BRS Capiaçu com aditivos

Variáveis	Silagem de Capiaçu + aditivos			EPM	P-valor
	Controle	Fubá de Milho	Farelo de Trigo		
DivMS (%)	51,4c	70,1a	65,8b	1,32	<,0001
DivMO (%)	49,0b	67,0a	65,1a	1,92	<,0001
DivFDN (%)	39,2b	44,9a	38,6b	1,36	0,0125

DivMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DivMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; DivFDN: digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro. EPM: erro padrão da média; Letras distintas na linha diferem entre si pelo teste T ($P \leq 0,05$).

Figuras

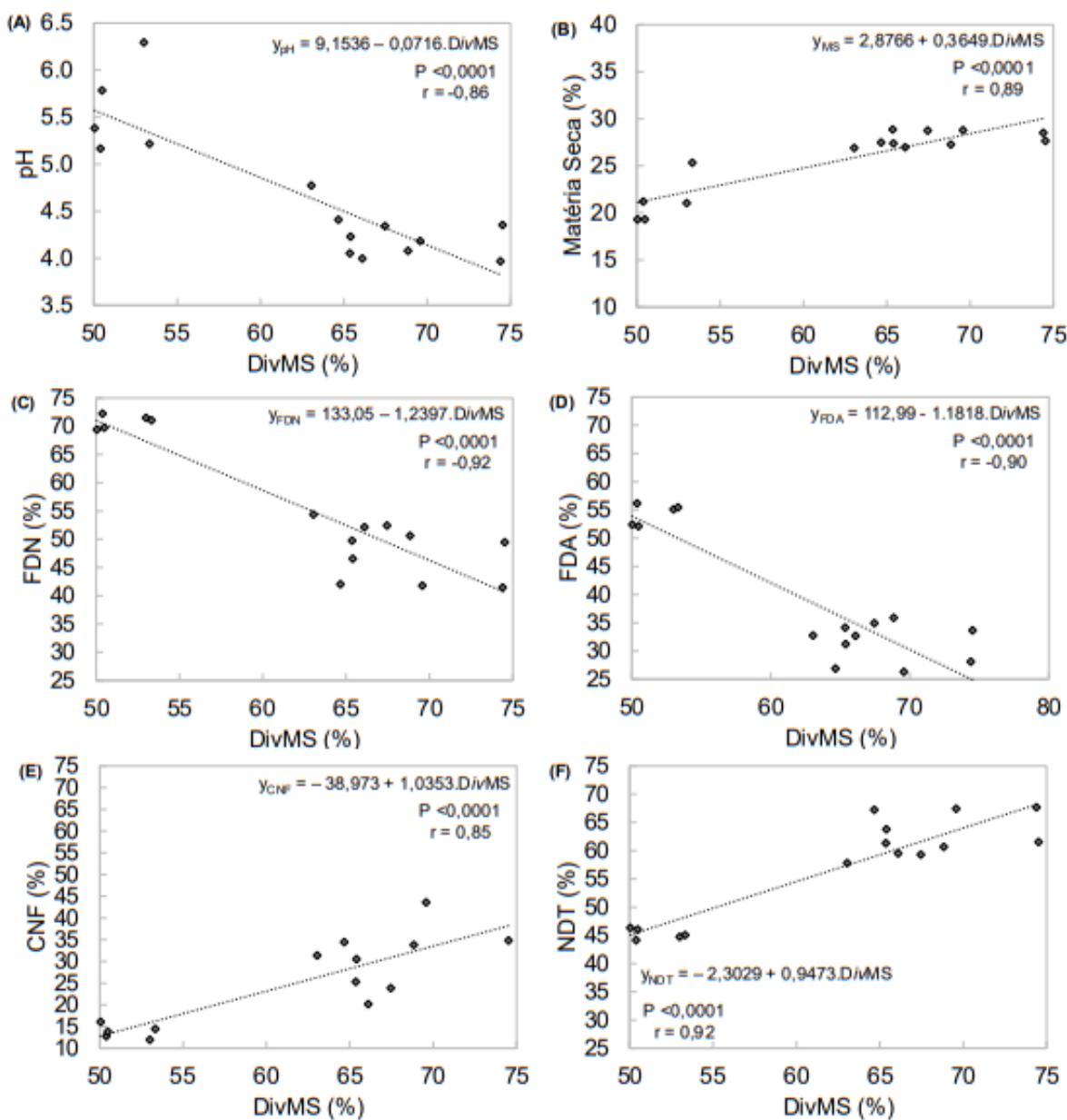


Figura 1. Correlação de Pearson entre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DivMS) e (A) pH, (B) matéria seca, (C) fibra em detergente neutro (FDN), (D) fibra em detergente ácido (FDA), (E) carboidratos não fibrosos (CNF) e (F) nutrientes digestíveis totais (NDT).

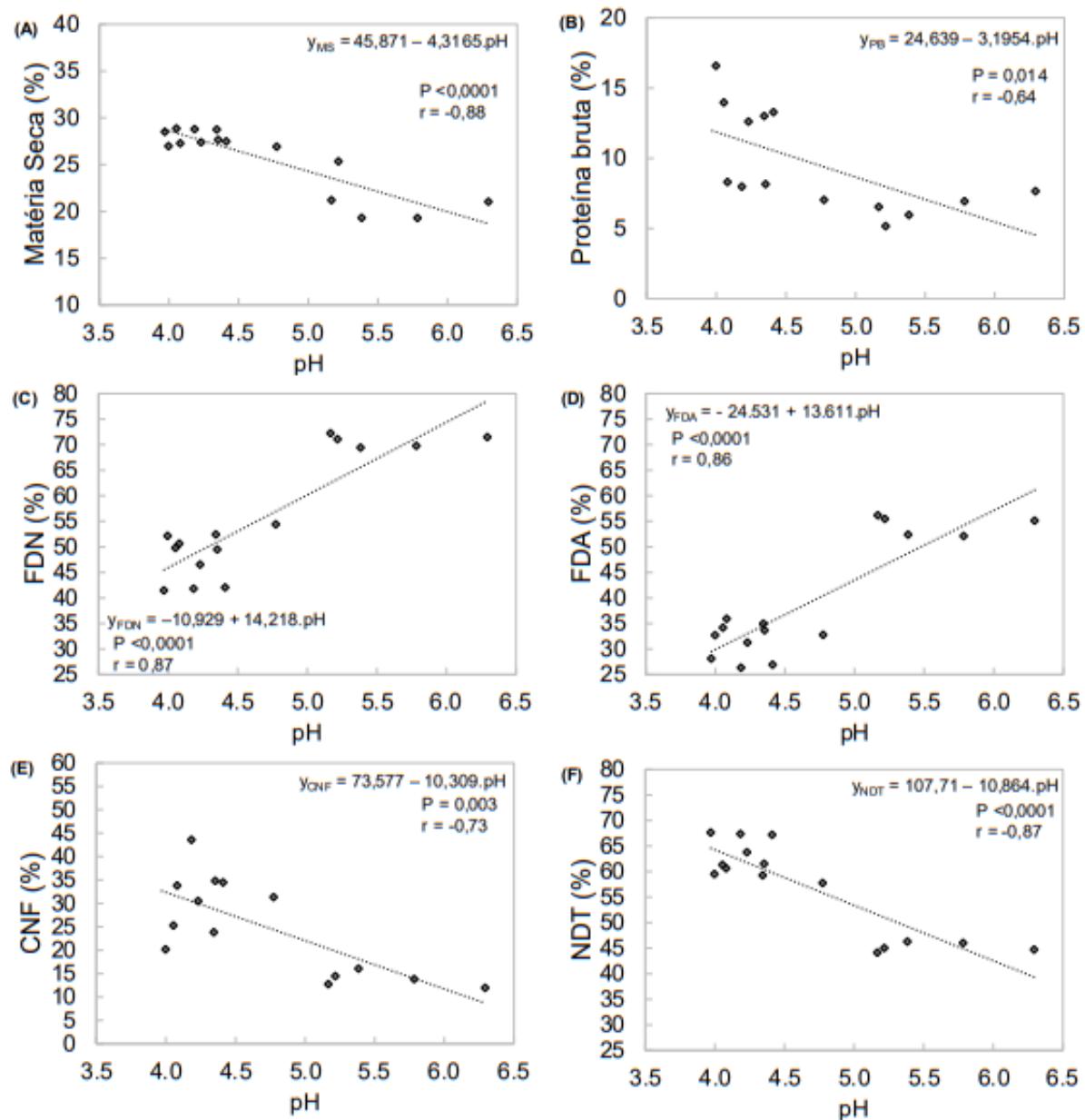


Figura 2. Correlação de Pearson entre pH e (A) matéria seca, (B) proteína bruta, (C) fibra em detergente neutro (FDN), (D) fibra em detergente ácido (FDA), (E) carboidratos não fibrosos (CNF) e (F) nutrientes digestíveis totais (NDT).

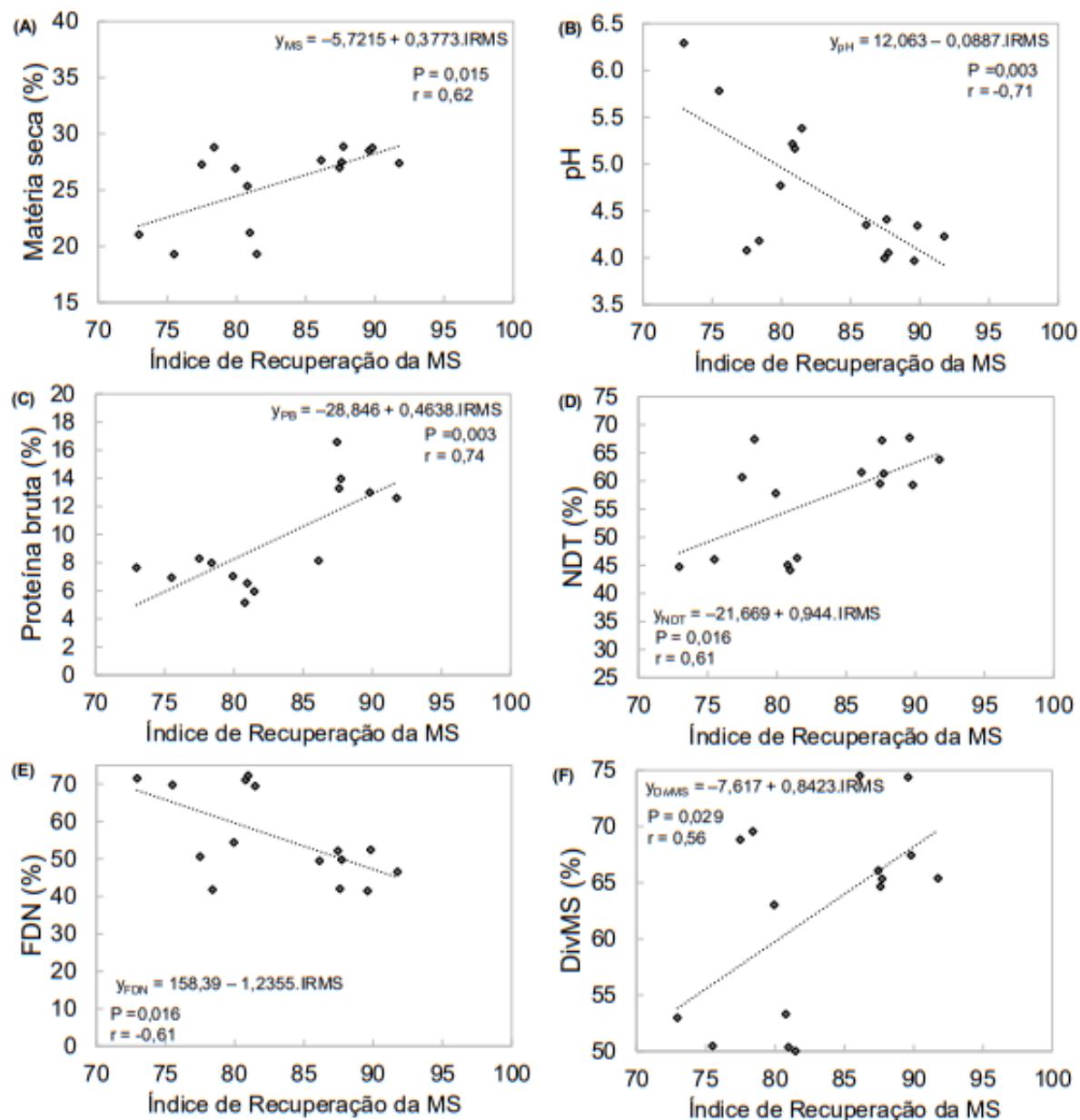


Figura 3. Correlação de Pearson entre índice de recuperação da matéria seca (MS) e (A) matéria seca, (B) pH, (C) proteína bruta, (D) nutrientes digestíveis totais (NDT), (E) fibra em detergente neutro (FDN) e (F) fibra em detergente ácido (FDA).