



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**TORTA DE ALGODÃO COMO ADITIVO NA ENSILAGEM DO
CAPIM-BRS CAPIAÇU: IMPACTOS NAS CARACTERÍSTICAS
FERMENTATIVAS, BROMATOLÓGICAS E NA
DIGESTIBILIDADE**

CAIO MARTINS MARQUES

2026

CAIO MARTINS MARQUES

**TORTA DE ALGODÃO COMO ADITIVO NA ENSILAGEM DO CAPIM-BRS CAPIAÇU: IMPACTOS
NAS CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS, BROMATOLÓGICAS E NA DIGESTIBILIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Ignacio Aspiazú

Janaúba

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas gerais (FAPEMIG) - APQ-00813-25

M357t	Marques, Caio Martins Torta de algodão como aditivo na ensilagem do capim-BRS capiaçu: impactos nas características fermentativas, bromatológicas e na digestibilidade [manuscrito] / Caio Martins Marques – 2026. 46 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2026. Orientador: Prof. D. Sc. Ignácio Aspiazú. 1. Capim-BRS Capiáçu. 2. <i>Pennisetum purpureum</i> Schum. 3. Proteína bruta. I. Aspiazú, Ignácio. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título. CDD. 636.08552
-------	--

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Acadêmico: Caio Martins Marques CPF do Acadêmico: 858.676.025-08 Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Nível: Mestrado

Departamento: Ciências Agrárias

Título da dissertação: *“Torta de algodão como aditivo na ensilagem do capim-BRS Capiçu: impactos nas características fermentativas, bromatológicas e na digestibilidade”*

Após declarada aberta a sessão, o Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Membros da Banca Examinadora	Título	Vínculo Docente	Sigla da Unidade
Ignacio Aspiazú	Doutor	Presidente	UNIMONTES
Flávio Pinto Monção	Doutor	Titular	UNIMONTES
Raphael Nogueira Bahiense	Doutor	Titular	UNIMONTES
Edilane Costa Martins	Doutora	Membro externo	Oregon State University
Amanda Maria Silva Alencar	Doutora	Membro externo	Centro Universitário UniFG - São Sebastião
Resultado Final: APROVADO Nota: 75 Conceito* = A (A = 9–10/ B = 7,5-8,9/ C = 6-7,4/ D = 0-5,9)			

APRECIÇÃO SOBRE A DISSERTAÇÃO

Aos 10 dias do mês de março de 2026, às 8 h, na Plataforma *Google Meet*, realizou-se a defesa da dissertação do acadêmico **Caio Martins Marques**, matriculado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, CPF 858.676.025-08, apresentada para obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”, sendo considerada **APROVADA** pelos membros acima nomeados e estabelecido o título definitivo da dissertação como “*Torta de algodão como aditivo na ensilagem do capim-BRS Capiçu: impactos nas características fermentativas, bromatológicas e na digestibilidade*” e o prazo máximo de 90 dias para as correções e entrega da versão definitiva, conforme as normas definidas pelo PPGZ e pela Unimontes.

Eu, **Ignacio Aspiazú**, orientador do discente **Caio Martins Marques**, lavrei a presente ata que segue por mim assinada e pelos demais membros da Banca Examinadora.

Obs.: Este documento terá validade após a assinatura eletrônica dos membros da banca.

O curso é reconhecido e homologado pelo CNE (Portaria MEC N° 1.077 - DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008). Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS N° 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019).



Documento assinado eletronicamente por **Ignacio Aspiazu, Professor(a)**, em 12/03/2026, às 09:37, [conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Raphael Nogueira Bahiense, Professor de Educação Superior**, em 12/03/2026, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **AMANDA MARIA SILVA ALENCAR, Usuário Externo**, em 12/03/2026, às 16:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 13/03/2026, às [05:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Edilane Costa Martins, Usuário Externo**, em 28/04/2026, às [19:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **135140145** e o código CRC **03FAFF13**.

Referência: Processo nº 2310.01.0002978/2022-72

SEI nº 135140145

Aos meus avós,
Terezinha de Lourdes Caires Nogueira Martins e Hélio Geraldo Martins,
por todo auxílio e dedicação na minha vida,
dedico.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (APQ-00813-25) agradeço o financiamento destinado a esta pesquisa e a bolsa de estudos recebida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES expresso minha gratidão pela bolsa de estudos concedida.

Ao INCT - Ciência Animal/CNPq.

Aos meus avós, Terezinha de Lourdes Caires Nogueira Martins e Hélio Geraldo Martins, que me proporcionaram e influenciaram na minha educação, pela dedicação e respeito perante meus objetivos. À minha família que foram meu porto seguro, me incentivando e auxiliando durante as dificuldades do caminho.

À minha companheira de vida Tatiane Marques Bezerra Santos pelo apoio incondicional e o Aquiles nosso felino companheiro de longa data.

Ao meu orientador Dr. Ignácio Aspiazú pelos ensinamentos, paciência e comprometimento.

Ao Dr. Flávio Pinto Monção, Coorientador, pela eficiência e clareza nos ensinamentos, pela paciência e humanidade, disponibilidade, apoio e ensinamentos.

Aos professores da UNIMONTES, pela dedicação e ensinamentos.

Muito obrigado.

Sumário

RESUMO GERAL.....	13
GENERAL ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Capim-elefante BRS Capiacu (Pennisetum purpureum).....	15
2.2 Processo fermentativo e estabilidade aeróbia de silagens	16
2.2 Aditivos e as melhorias na ensilagem	19
2.3 Torta de algodão como aditivo.....	21
3. REFERÊNCIAS	22
RESUMO	26
Introdução.....	27
Material e Métodos	29
Resultados.....	32
Discussão.....	38
Conclusão	42
Agradecimentos	42
Referências.....	43
5. Considerações finais	48

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ). Link:

<https://rbz.org.br/instructions-authors/> Exceto as figuras.

RESUMO GERAL

A pecuária desenvolvida no semiárido brasileiro é frequentemente limitada pela escassez hídrica e pela insuficiência de volumoso, o que impõe a busca por alternativas alimentares de elevada disponibilidade e viabilidade econômica. Nesse sentido, a utilização de espécies com potencial forrageiro adaptadas à região pode proporcionar incremento significativo na produção de matéria seca destinada à alimentação animal, com reflexos positivos sobre a qualidade e o valor nutricional das dietas. Nesse panorama, o capim-BRS Capiáçu (*Cenchrus purpureus*) sobressai pela elevada produção de biomassa e pela aptidão para a ensilagem no semiárido, despertando o interesse pela definição de estratégias que potencializem seu valor nutricional. Com o propósito de determinar a proporção de inclusão mais adequada de torta de algodão como aditivo sustentável no processo de ensilagem, este estudo avaliou seus efeitos sobre os aspectos qualitativos e nutricionais da silagem, testando os níveis de (0%, 6%, 12%, 18% e 24% com base na matéria natural) na ensilagem do capim-BRS Capiáçu, analisando composição bromatológica, parâmetros fermentativos, perdas de MS e digestibilidade nutricional. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e oito repetições. Os valores de pH ($P<0,01$) nitrogênio amoniacal ($P<0,01$) e temperatura ($P<0,01$) no momento da abertura dos silos aumentaram linearmente. À medida que se elevou o nível de inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS Capiáçu, houve redução linear das perdas por gases ($P<0,01$) e por efluentes ($P<0,01$). Não houve diferença entre os níveis de inclusão da torta de algodão sobre a recuperação da matéria seca ($p=0,96$), com média de 98,65%. À medida que aumentou a inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim, houve incremento linear no teor de matéria seca ($P<0,01$), proteína bruta ($P<0,01$), extrato etéreo ($P<0,01$), nutrientes digestíveis totais ($P<0,01$), digestibilidade da matéria seca ($P<0,01$) e digestibilidade da proteína bruta ($P<0,01$). Para cada unidade percentual de inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS Capiáçu, houve aumento de 0,64% no teor de matéria seca, 0,49% no teor de proteína bruta, 0,41% no teor de nutrientes digestíveis totais, 0,51% na digestibilidade da matéria seca e 1,29% na digestibilidade da proteína bruta. Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a inclusão de 12% de torta de algodão como o nível que concilia a qualidade final da silagem de capim-BRS Capiáçu com a melhor relação custo-benefício.

Palavras-chave: Perdas matéria seca; proteína bruta; coprodutos; *Pennisetum purpureum* Schum.

GENERAL ABSTRACT

Livestock farming in the Brazilian semiarid region is often constrained by water scarcity and insufficient roughage availability, which demands the search for alternative feed sources of high availability and economic feasibility. In this regard, the use of forage species adapted to the region can provide a significant increase in the production of dry matter for animal feeding, with positive effects on diet quality and nutritional value. In this context, BRS Capiaçú grass (*Cenchrus purpureus*) stands out for its high biomass production and suitability for ensiling in the semiarid region, raising interest in defining strategies to enhance its nutritional value. Aiming to determine the most appropriate inclusion level of cottonseed cake as a sustainable additive in the ensiling process, this study evaluated its effects on the qualitative and nutritional aspects of silage, testing levels of 0%, 6%, 12%, 18%, and 24% (as-fed basis) in the ensiling of BRS Capiaçú grass, and analyzing chemical composition, fermentative parameters, dry matter losses, and nutritional digestibility. The experiment was conducted in a completely randomized design with five treatments and eight replications. At silo opening, pH values ($P<0.01$), ammonia nitrogen ($P<0.01$), and temperature ($P<0.01$) increased linearly. As the inclusion level of cottonseed cake increased in the ensiling of BRS Capiaçú grass, there was a linear reduction in gas losses ($P<0.01$) and effluent losses ($P<0.01$). No difference was observed among cottonseed cake inclusion levels regarding dry matter recovery ($P=0.96$), which averaged 98.65%. As the inclusion of cottonseed cake increased in the grass ensiling, there was a linear increase in the contents of dry matter ($P<0.01$), crude protein ($P<0.01$), ether extract ($P<0.01$), total digestible nutrients ($P<0.01$), dry matter digestibility ($P<0.01$), and crude protein digestibility ($P<0.01$). For each percentage unit of cottonseed cake inclusion in BRS Capiaçú grass ensiling, increases of 0.64% in dry matter content, 0.49% in crude protein content, 0.41% in total digestible nutrient content, 0.51% in dry matter digestibility, and 1.29% in crude protein digestibility were observed. Based on the results obtained, a 12% inclusion level of cottonseed cake is recommended as the level that reconciles the final quality of BRS Capiaçú grass silage with the best cost-benefit ratio.

Keywords: Dry matter losses; crude protein; co-products; *Pennisetum purpureum* Schum.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária brasileira, especialmente em regiões tropicais e semiáridas, enfrenta desafios relacionados à estacionalidade de produção forrageira, fator que compromete a regularidade no fornecimento de nutrientes aos ruminantes ao longo do ano (Monção et al., 2019). A irregularidade pluviométrica e a concentração das chuvas em períodos curtos geram disponibilidade de forragem na estação úmida e déficits severos na seca, comprometendo o desempenho produtivo e a sustentabilidade dos sistemas pecuários. Nesse cenário, a conservação forrageira por ensilagem constitui como estratégia essencial para mitigar a sazonalidade, viabilizando o armazenamento do excedente chuvoso para suprir períodos de baixa disponibilidade de forrageira (Fluck et al., 2018; Alencar et al., 2023). Contudo, a ensilagem de gramíneas tropicais apresenta limitações inerentes à sua composição, como elevado teor de umidade e baixos níveis de carboidratos solúveis, características que podem comprometer o adequado processo fermentativo, favorecendo perdas de matéria seca e redução do valor nutritivo do material conservado (Borges et al., 2019; Ribas et al., 2021).

Dentre as gramíneas tropicais com elevado potencial produtivo, destaca-se o capim-BRS Capiapu (*Cenchrus purpureus* Schum.), amplamente difundido por sua alta capacidade de produção de biomassa e adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (Pereira et al., 2017). Apesar dessas vantagens, o elevado teor de umidade no momento do corte e a redução do teor de proteína bruta com o avanço da maturidade representam entraves ao seu aproveitamento exclusivo na forma de silagem, especialmente quando manejado fora da faixa ideal de colheita (Pereira et al., 2017; Ribas et al., 2021).

Nesse cenário, o uso de aditivos na ensilagem se apresenta como alternativa tecnológica para otimizar o processo fermentativo e elevar o valor nutricional da silagem. Entre os coprodutos agroindustriais disponíveis, a torta de algodão (*G. hirsutum* L.) destaca-se por seu elevado teor de proteína bruta e pela presença de frações lipídicas que podem contribuir para a melhoria do perfil fermentativo e da estabilidade do material ensilado (Dias et al., 2019). Além de representar uma fonte alternativa de nutrientes, a utilização desse coproduto está alinhada aos princípios de sustentabilidade e economia circular, agregando valor a resíduos da cadeia produtiva do algodão.

Embora estudos tenham demonstrado efeitos positivos da inclusão de torta de algodão em silagens de gramíneas tropicais, ainda são escassas as informações sobre sua

aplicação específica na ensilagem do capim-BRS Capiçu, sobretudo no que se refere às alterações fermentativas e às implicações nutricionais da silagem produzida.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão de diferentes níveis de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS Capiçu, analisando seu impacto sobre o processo fermentativo, a conservação da matéria seca, a estabilidade aeróbia, a dinâmica microbiana e o valor nutricional das silagens, com vistas ao aprimoramento das estratégias de conservação de forragens em sistemas de produção de ruminantes do semiárido brasileiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Capim-elefante BRS Capiçu (*Pennisetum purpureum*)

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma gramínea de origem africana que se difundiu amplamente pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo, consolidando-se como uma das principais forrageiras cultivadas nessas áreas (Lobo et al., 2014; Cardoso et al., 2016). No Brasil, essa gramínea ocupa posição de destaque nos sistemas pecuários intensivos, em virtude de seu elevado potencial de produção de matéria seca, qualidade nutricional satisfatória, boa aceitabilidade pelos animais, vigor de crescimento e persistência ao longo dos ciclos produtivos (Pereira et al., 2017; Monção et al., 2019; Monção et al., 2020). Apresenta tolerância ao déficit hídrico, sendo uma alternativa na substituição do milho em regiões propensas a veranicos ou irregularidade na distribuição das chuvas (Mota et al., 2010).

Além de sua ampla adaptação, o capim-elefante é empregado predominantemente em sistemas de corte e fornecimento no cocho, mas também pode ser utilizado para produção de silagem e sob manejo em pastejo rotacionado, demonstrando versatilidade quanto às formas de utilização na alimentação de ruminantes (Pereira et al., 2017; Martins et al., 2020).

A Embrapa Gado de Leite desenvolveu a cultivar BRS Capiçu, promovendo o melhoramento genético de atributos morfológicos desejáveis, que permitem uma alta produtividade e superando outras culturas tradicionalmente utilizadas para silagem como o milho e sorgo atribuindo características como: o porte elevado, florescimento tardio, hábito de crescimento ereto, colmos espessos, entrenós amarelados, folhas longas e largas de coloração verde intensa, bainhas verde-amareladas, nervura central branca, além de elevada densidade de perfilhos basais e boa resistência ao acamamento (Pereira et al., 2016; Pereira et al., 2017).

Quando destinada à produção de silagem, a cultivar BRS Capiçu atinge rendimentos médios de aproximadamente 100 t ha⁻¹ de massa verde por corte e, submetida a três cortes anuais, sua produtividade total pode alcançar cerca de 300 t ha⁻¹ (Paula et al., 2020). Alguns gargalos podem afetar o processo de ensilagem e reduzir a qualidade do material conservado. Em situações nas quais a forragem é colhida com elevada produtividade e bom valor nutricional, é comum que apresente elevado teor de umidade, alta capacidade de neutralização do pH (poder tampão) e baixos carboidratos solúveis. Esse conjunto de características dificulta a acidificação rápida da massa ensilada, favorecendo processos

fermentativos indesejáveis e, conseqüentemente, possíveis perdas nutricionais (Whittenburry et al., 1967; Lavezzo, 1985).

A escolha do manejo da idade do corte é essencial para equilibrar produtividade e qualidade da silagem de capim-BRS Capiacu, especialmente em cultivos de verão na região Norte de Minas Gerais (Monção et al., 2019; Lopes et al., 2021). Intervalos excessivamente longos entre cortes, apesar de elevarem o acúmulo de matéria seca, favorecem o alongamento de colmos e o aumento de material senescente, o que diminui a proporção de lâminas foliares e prejudica o valor nutricional da forrageira (Ferreira, 2015). Por isso, recomenda-se colher entre 90 e 120 dias de rebrota, período que otimiza a composição químico-bromatológica, a degradabilidade ruminal da matéria seca, a digestibilidade e a produtividade total (Monção et al., 2019).

2.2 Processo fermentativo e estabilidade aeróbia de silagens

A conservação de biomassa forrageira na forma de silagem fundamenta-se na rápida instalação de condições anaeróbias no interior do silo. Esse ambiente favorece o desenvolvimento da fermentação láctica, conduzida principalmente por bactérias ácido-láticas (BAL), as quais convertem açúcares solúveis em ácido láctico e outros ácidos orgânicos. Esse processo, essencialmente fermentativo, promove a redução do pH da massa ensilada, limitando o crescimento de microrganismos deterioradores e preservando, assim, o valor nutricional da forragem original (Neumann et al., 2010; Macêdo et al., 2019). Entretanto, dependendo da disponibilidade de substrato, da microbiota predominante, do teor de matéria seca (MS) e da capacidade de tamponamento da cultura, é possível que ocorram diferentes vias de fermentação (DA SILVA et al., 2017).

A capacidade tampão da forragem corresponde à sua resistência à acidificação durante o processo de ensilagem, propriedade determinada pela presença de compostos com ação neutralizante, como frações nitrogenadas, minerais e ânions de ácidos orgânicos naturalmente presentes no tecido vegetal. Durante a fermentação, essas substâncias reagem com os ácidos produzidos pelas bactérias lácticas principalmente o ácido láctico, retardando a queda do pH e exigindo maior produção de ácido para que se atinjam os níveis desejáveis de conservação. Assim, quanto maior a concentração desses constituintes na forragem, maior será a dificuldade para que ocorra a rápida redução do pH no interior do silo, prolongando o

período de instabilidade fermentativa e aumentando o risco de perdas nutricionais (Playne & McDonald, 1966; Muck, 1988).

O êxito da fermentação está diretamente vinculado à produção eficiente de ácidos orgânicos em ambiente estritamente anaeróbico, especialmente o ácido lático, cuja formação depende da disponibilidade de substratos fermentescíveis. Para que a conservação seja satisfatória, é necessário que a quantidade de ácido produzida seja suficiente para superar a resistência tampão da forragem e promover queda rápida e consistente do pH (WILKINSON; DAVIES, 2013).

A capacidade tampão varia entre espécies forrageiras e estádios de maturidade, de modo que diferentes culturas apresentam exigências distintas quanto à intensidade da fermentação requerida para a estabilização da massa ensilada (Playne & McDonald, 1966; Muck, 1988). Diante disso, a avaliação do potencial de uma cultura para ensilagem não deve considerar apenas o teor de carboidratos solúveis, mas também sua capacidade tampão, uma vez que esta determina a quantidade de ácido necessária para atingir valores de pH compatíveis com a preservação adequada do material (Tomich et al., 2003).

Os carboidratos solúveis em água constituem a principal fonte de energia para o desenvolvimento das bactérias ácido-láticas durante a ensilagem (McDonald; Henderson; Heron, 1991). Para que a fermentação ocorra de maneira eficiente, é necessário que a forragem apresente concentração adequada desses açúcares. Para gramíneas tropicais, como o capim-BRS Capiacu, com poder tampão moderado, essa concentração situa-se em um valor mínimo de 6% a 8% de carboidratos solúveis na matéria seca. Níveis insuficientes podem comprometer a produção de ácido lático e retardar a queda do pH, enquanto concentrações elevadas, embora favoreçam a fermentação inicial, podem também criar condições propícias ao crescimento de microrganismos indesejáveis (YANG et al., 2006).

Entre esses microrganismos, destacam-se as leveduras, que possuem capacidade de utilizar açúcares mesmo em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio. Em determinadas condições, essas espécies podem converter carboidratos em etanol e dióxido de carbono por vias fermentativas alternativas, resultando em perdas energéticas e redução da recuperação de matéria seca da silagem. Esse desvio metabólico representa não apenas diminuição do valor nutritivo, mas também maior suscetibilidade da massa ensilada à deterioração subsequente (AZHAR et al., 2017).

Do ponto de vista metabólico, à medida que o oxigênio é consumido no interior do silo e se estabelece a condição de anaerobiose, determinados microrganismos passam a alterar suas rotas metabólicas para manter a produção de energia. Leveduras facultativas e estritamente fermentativas continuam a metabolizar carboidratos por meio da via glicolítica; entretanto, na ausência de O₂ como aceptor final de elétrons, ocorre a redução do acetaldeído a etanol, permitindo a regeneração do NAD⁺ necessário à continuidade da glicólise. Esse processo resulta na formação de etanol e dióxido de carbono, caracterizando a fermentação alcoólica e implicando em perdas de carbono na forma gasosa (Driehuis & Oude Elferink, 2000).

Além dessas perdas durante a fermentação, as leveduras são consideradas os principais microrganismos responsáveis pelo início da deterioração aeróbia das silagens (BEZERRA, et al., 2015).

A estabilidade da silagem está diretamente relacionada à manutenção da anaerobiose. Durante a fase de armazenamento, enquanto o ambiente do silo permanece sem oxigênio, as leveduras, microrganismos majoritariamente aeróbios ou anaeróbios facultativos, apresentam atividade metabólica limitada, e a conservação é mantida pela acidez proporcionada pelo ácido lático (Kung Júnior, 2018).

Contudo, quando o silo é aberto e a massa ensilada é exposta ao oxigênio, cria-se a condição ideal para a multiplicação dessas leveduras. Nesse ambiente aeróbio, elas passam a utilizar os açúcares residuais e, principalmente, o próprio ácido lático como substratos energéticos, oxidando-os a dióxido de carbono e água. Esse processo catabólico consome o principal agente conservante da silagem, elevando o pH e gerando calor, o que caracteriza a deterioração aeróbia e a consequente perda de estabilidade do material ensilado (AZHAR *et al.*, 2017).

O avanço da deterioração aeróbia segue um padrão relativamente bem estabelecido: após a atividade inicial das leveduras, ocorre aumento do pH e da temperatura, criando condições favoráveis para o desenvolvimento de bolores e outras bactérias aeróbias, o que intensifica a degradação dos nutrientes (Muck, 2013).

A finalidade da ensilagem consiste em conservar, com o mínimo de perdas possível, os nutrientes originalmente presentes na forragem para sua utilização futura na alimentação animal. Quando o processo fermentativo ocorre de maneira inadequada, há comprometimento da qualidade do material, refletido em perdas de matéria seca e energia,

redução da estabilidade aeróbia e diminuição do valor nutritivo, fatores que podem impactar negativamente o consumo voluntário e a eficiência produtiva dos animais (BORREANI et al., 2018).

Após a conclusão da fermentação, a silagem pode permanecer estável por longos períodos, quando são mantidas as condições estritamente anaeróbias. Contudo, se permitida entrada de oxigênio advinda de falhas na vedação, danos na estrutura de armazenamento ou durante a retirada diária para fornecimento, esses fatores propiciam a reativação de microrganismos aeróbios. Nessa condição, leveduras passam a metabolizar o ácido láctico acumulado, promovendo elevação do pH e aumento da temperatura da massa, o que favorece o crescimento de bolores e acelera o processo de deterioração (KUNG JÚNIOR, 2018).

2.2 Aditivos e as melhorias na ensilagem

A obtenção de silagens de alta qualidade depende diretamente do controle adequado de todas as etapas do processo, desde a colheita até o armazenamento. Fatores como estágio de maturidade da planta, teor de matéria seca, compactação eficiente e vedação do silo são determinantes para o estabelecimento de uma fermentação favorável. Entretanto, mesmo quando essas práticas são corretamente adotadas, determinadas características intrínsecas da forragem, a exemplo do teor excessivo de umidade, da baixa concentração de carboidratos fermentescíveis ou da elevada susceptibilidade à deterioração aeróbia, podem limitar o desempenho fermentativo, tornando necessária a adoção de estratégias complementares (Borreani et al., 2018).

Nesse contexto, o uso de aditivos tem sido amplamente empregado como ferramenta tecnológica para otimizar o processo de ensilagem (Keplin, 2006). Esses produtos podem ser classificados conforme sua finalidade principal em estimuladores da fermentação desejável, inibidores de fermentações indesejáveis, promotores de estabilidade aeróbia e aqueles com função nutricional ou capacidade de absorção de umidade (McDonald, 1981). Contudo, muitos aditivos apresentam efeitos simultâneos no ambiente fermentativo. Dependendo da composição química da forragem, um mesmo produto pode estimular a fermentação láctica, contribuir para a estabilidade aeróbia e ainda melhorar o valor nutritivo da silagem (Viana et al., 2013; Santos et al., 2018). Dessa forma, a escolha do aditivo deve considerar

primordialmente as limitações específicas da cultura a ser ensilada, permitindo explorar seus diferentes mecanismos de ação de maneira estratégica (Muck et al., 2018).

No caso do capim-BRS Capiáçu, destacam-se como principais entraves à ensilagem o elevado teor de umidade e a menor concentração de carboidratos solúveis, características comuns às gramíneas tropicais colhidas precocemente, com idades de corte entre 90 e 120 dias.

Essa combinação pode comprometer a rápida queda do pH e favorecer fermentações secundárias indesejáveis (Bernardes et al., 2018). Assim, diferentemente de culturas ricas em açúcares, o uso de aditivos no Capiáçu frequentemente visa melhorar o teor de matéria seca da massa ensilada, fornecer substrato fermentescível adicional ou modular o ambiente fermentativo para garantir maior eficiência na conservação (Paula et al., 2020; Monção et al., 2024).

Para tanto, diversos estudos têm sido direcionados ao aprimoramento de técnicas que assegurem condições favoráveis à fermentação e à preservação do valor nutricional das silagens de BRS Capiáçu. Entre essas estratégias, destaca-se a inclusão de ingredientes com elevado teor de matéria seca e fontes de carboidratos solúveis, prática amplamente adotada para melhorar o padrão fermentativo e reduzir perdas durante o processo (FERRARI JÚNIOR; LAVEZZO, 2001).

O uso de aditivos visa otimizar o processo fermentativo, minimizando as perdas de nutrientes durante a ensilagem e contribuindo para maior estabilidade da massa ensilada (McDONALD et al., 1991; BERNARDES et al., 2018). No entanto, o impacto nutricional da silagem pode variar de acordo com a proporção utilizada e a composição química do aditivo incorporado, uma vez que diferentes ingredientes podem alterar significativamente o perfil bromatológico do material final (Monteiro et al., 2011).

Dessa forma, a avaliação precisa da qualidade dessas silagens deve considerar a quantidade de proteína e energia digestíveis efetivamente disponíveis para os animais, parâmetros diretamente relacionados à eficiência de utilização do alimento e ao desempenho produtivo (McDONALD et al., 1991). Assim, recomenda-se a utilização de aditivos com elevado teor de matéria seca ou a adoção de técnicas que contribuam para a redução da umidade da forragem, favorecendo a conservação adequada do material ensilado (BERNARDES et al., 2018).

2.3 Torta de algodão como aditivo

No Brasil, o algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma das oleaginosas mais cultivadas, destacando-se na agricultura nacional pela produção de fibra têxtil e pela extração de óleo. Seu cultivo está amplamente distribuído entre as macrorregiões Norte-Nordeste, Centro-Oeste e Sul-Sudeste, o que favorece a elevada disponibilidade de coprodutos, como a torta de algodão (BORÉM et al., 2003; GADELHA et al., 2014). Devido ao elevado teor de proteína bruta e ao considerável conteúdo de extrato etéreo, este subproduto tem apresentado crescente utilização na alimentação animal, especialmente em sistemas de produção intensivos (Monção et al., 2019; Moreira, 2008).

A torta de algodão é um coproduto proveniente da extração do óleo das sementes do algodoeiro, caracterizando-se por seu elevado teor de fibra, embora essa concentração possa variar em função da eficiência do processo de extração (ROGERS; POORE e PASCHAL, 2002). Trata-se de um ingrediente amplamente utilizado em dietas para bovinos em sistemas de confinamento, podendo atuar como fonte primária ou secundária de fibra na formulação das rações (NAGALAKSHMI et al., 2007; SILVA et al., 2016). Na formulação de rações animais, ganha destaque em virtude do expressivo conteúdo proteico, que varia entre 30% e 35% da matéria seca (Moreira, 2008). Os parâmetros bromatológicos desse aditivo demonstram considerável variação nos teores de matéria seca (89,1 - 94,2%), proteína bruta (25,9 - 47,6%), FDN (28,4 - 33,1%) e lignina (4,4-15,1%), refletindo diferenças inerentes ao processamento e matéria-prima, evidenciando a grande potencialidade que a torta de algodão apresenta para ser utilizada na composição de alimentos para ruminantes (Brito et al., 2007). Com a finalidade de elevar o teor de MS de silagens de plantas forrageiras, alguns aditivos como a torta de algodão podem ser empregados (DIAS et al., 2019; VIANA et al., 2013). O ingrediente usado como aditivo nas silagens de forragem deve apresentar boa palatabilidade, alto teor de matéria seca, alta capacidade de retenção de água, além de fornecer carboidratos solúveis para fermentação. Também é importante ser de baixo custo, fácil aquisição e manipulação (Kung et al., 2018). A eficácia de aditivos na ensilagem pode ser mensurada por meio da análise comparativa do perfil químico-bromatológico da forragem antes e após o processo de fermentação, permitindo avaliar alterações em parâmetros como teor de matéria seca, proteína bruta e fibras (Tavares et al., 2009).

3. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. M. S. et al. Quality of mixed silages of sorghum, BRS Capião grass, and cactus pear in a semiarid region of Brazil. *Journal of Applied Animal Research*, v. 51, p. 719–728, 2023.
- AZHAR, S. H. M. et al. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, v. 10, p. 52–61, 2017.
- BERNARDES, T. F. et al. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4001–4019, 2018.
- BEZERRA, H. F. C. et al. Degradabilidade ruminal in situ de silagens de capim-elefante aditivadas com farelo de milho e inoculante da microbiota autóctone. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 16, n. 2, 2015.
- BORÉM, A. et al. Considerations about cotton gene escape in Brazil: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 4, 2003.
- BORREANI, G. et al. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018.
- BORGES, L. D. A. et al. Nutritional and productive parameters of Holstein/Zebu cows fed diets containing cactus pear. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 32, n. 9, p. 1373–1380, 2019.
- CARDOSO, A. M. et al. Elephant grass silage with the addition of crambe bran conjugated to different specific mass. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 38, p. 375–382, 2016.
- DA SILVA, T. C. et al. Importance of the fermentation to produce high-quality silage. In: *Fermentation Processes*, p. 1–20, 2017.
- DIAS, E. C. B. et al. Nutritive value of elephant grass silage added with cottonseed cake in diet for sheep. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, p. 321–328, 2019.
- DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S. J. W. H. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly*, v. 22, n. 4, p. 212–216, 2000.
- FERRARI JÚNIOR, E.; LAVEZZO, W. Qualidade da silagem de capim-elefante emurhecido ou acrescido de farelo de mandioca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 5, p. 1424–1431, 2001.
- FLUCK, A. C. et al. Composição química da forragem e do ensilado de azevém anual em função de diferentes tempos de secagem e estádios fenológicos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, p. 1979–1987, 2018.

GADELHA, I. C. N. et al. Gossypol toxicity from cottonseed products. *Scientific World Journal*, v. 2014, 2014.

KEPLIN, L. Produção de silagem de qualidade e uso de inoculantes. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS (SILAGENS), 2006, Nova Odessa. *Anais...* Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2006.

KUNG JÚNIOR, L. Silage fermentation and additives. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 26, n. 3-4, 2018.

LAVEZZO, W. Silagem de capim-elefante. *Informe Agropecuário*, v. 11, n. 132, p. 50–57, 1985.

LOBO, B. S. et al. Parâmetros morfogênicos e produtividade do capim-Pioneiro submetido a doses de nitrogênio. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, p. 3305–3318, 2014.

LOPES, F. C. F. et al. Composição química e perfil de ácidos graxos de genótipo de capim-elefante ensilado em diferentes idades. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 5, p. 2003–2030, 2022.

MACÊDO, A. J. S.; SANTOS, E. M. Princípios básicos para produção de silagem. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, v. 22, n. 4, p. 147–156, 2019.

MARTINS, L. F. et al. Valor nutricional do capim-elefante colhido em diferentes idades de rebrota. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 72, n. 5, p. 1881–1890, 2020.

MCDONALD, P. The biochemistry of silage. New York: John Wiley & Sons, 1981.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. The biochemistry of silage. 2. ed. Marlow: Cambridge University Press, 1991.

MONÇÃO, F. P. et al. Yield and nutritional value of BRS Capiáçu grass at different regrowth ages. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, p. 2045–2056, 2019a.

MONÇÃO, F. P. et al. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass managed at four regrowth ages. *Tropical Animal Health and Production*, v. 52, p. 235–241, 2019b.

MONÇÃO, F. P. et al. Impact of mixed forage silage with BRS Capiáçu grass, ground corn and forage palm. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 53, e20240122, 2024.

MONTEIRO, I. J. G. et al. Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 33, n. 4, p. 347–352, 2011.

MUCK, R. E. Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal of Dairy Science*, v. 71, p. 2992–3002, 1988.

MUCK, R. Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science*, v. 22, p. 3–15, 2013.

MUCK, R. E. et al. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.

NAGALAKSHMI, D. et al. Cottonseed meal in poultry diets: A review. *The Journal of Poultry Science*, v. 44, p. 119–134, 2007.

NEUMANN, M. et al. Aditivos químicos utilizados em silagens. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 3, n. 2, p. 187–208, 2010.

PAULA, P. R. P. et al. Composição bromatológica da silagem de capim-elefante BRS Capiáçu com inclusão de fubá de milho. *Pubvet*, v. 14, n. 10, 2020.

PEREIRA, A. V. et al. BRS Kurumi and BRS Capiáçu – New elephant grass cultivars. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 1, p. 59–62, 2017.

PLAYNE, M. J.; MCDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 17, p. 264–268, 1966.

RIBAS, W. F. G. et al. Effect of wilting time and inoculant on BRS Capiáçu silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200207, 2021.

ROGERS, G. M.; POORE, M. H.; PASCHAL, J. C. Feeding cotton products to cattle. *Veterinary Clinics of North America*, v. 18, n. 2, p. 267–294, 2002.

ROSA, J. R. P. et al. Avaliação da qualidade de silagens com diferentes aditivos absorventes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, p. 1860–1867, 2004.

SANTOS, A. P. M. D. et al. Effects of urea addition on sorghum silage fermentation. *African Journal of Range and Forage Science*, v. 35, n. 1, p. 55–62, 2018.

SILVA, R. V. M. M. et al. Cottonseed cake in substitution of soybean meal. *Small Ruminant Research*, v. 137, p. 183–188, 2016.

TAVARES, V. B. et al. Efeitos da compactação e aditivos na silagem de capim-tanzânia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 1, p. 40–49, 2009.

TOMICH, T. R. et al. Características para avaliação do processo fermentativo de silagens. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

VIANA, P. T. et al. Losses and nutritional value of elephant grass silage with cottonseed meal. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 35, n. 2, p. 139–144, 2013.

WHITTENBURY, R.; MCDONALD, P.; BRYAN JONES, D. G. Biochemical and microbiological aspects of ensilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 18, p. 441–444, 1967.

WILKINSON, J. M.; DAVIES, D. R. The aerobic stability of silage. *Grass and Forage Science*, v. 68, n. 1, p. 1–19, 2013.

YANG, H. Y. et al. Effects of water-soluble carbohydrate content on silage fermentation of wheat straw. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 101, n. 3, p. 232–237, 2006.

CAPÍTULO 1: Torta de algodão como aditivo na ensilagem do capim-BRS capiaçu: impactos nas características fermentativas, bromatológicas e digestibilidade

Caio Martins Marques¹, Ignacio Aspiazu¹, Vicente Ribeiro Rocha Júnior ^{1,2}, Flávio Pinto Monção^{1*}

***Corresponding Author:** Flávio Pinto Monção

Tel: +55-38-99983-8240, Fax: +55- 38-3821-2756, E-mail: flavio.moncao@unimontes.br

¹ Department of Animal Science and Technology, State University of Montes Claros, Avenue Reinaldo Viana, 2630, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

² INCT- Animal science member, Brazil.

³Department of Animal Science, Federal University of Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

RESUMO

Um dos grandes desafios da produção pecuária na região semiárida do Brasil é a escassez de água e alimento para os animais. Nesse contexto, a valorização de subprodutos gerados na agroindústria pode contribuir para a agricultura circular, reduz o desperdício e promove o uso mais eficiente de recursos naturais, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Este estudo avaliou a utilização da torta de algodão como aditivo na ensilagem do capim-BRS Capiáçu, com foco nas características fermentativas, composição bromatológica, perdas de matéria seca e digestibilidade dos nutrientes. Foram testados cinco níveis de inclusão (0%, 6%, 12%, 18% e 24% da matéria natural) de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS Capiáçu (*Cenchrus purpureum*). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e oito repetições. Os valores de pH ($P<0,01$), nitrogênio amoniacal ($P<0,01$) e temperatura ($P<0,01$) no momento da abertura dos silos aumentaram linearmente. As perdas por gases ($P<0,01$) e efluentes ($P<0,01$) reduziram linearmente. Não houve diferença entre os níveis de inclusão da torta de algodão sobre a recuperação da matéria seca ($p=0,96$), média de 98,65%. À medida que aumentou a inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim, houve incremento linear no teor de matéria seca ($P<0,01$), proteína bruta ($P<0,01$), extrato

33 etéreo ($P<0,01$), nutrientes digestíveis totais ($P<0,01$), digestibilidade da matéria seca
34 ($P<0,01$) e digestibilidade da proteína bruta ($P<0,01$). Para cada unidade percentual de
35 inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu, houve aumento de
36 0,6479% no teor de matéria seca, 0,4982% no teor de proteína bruta, 0,4130% no teor
37 de nutrientes digestíveis totais, 0,5149% na digestibilidade da matéria seca e 1,2911%
38 na digestibilidade da proteína bruta. Com base nos resultados, recomenda-se um nível
39 de inclusão de torta de algodão de 12% para a produção de silagens de qualidade e com
40 boa relação custo-benefício.

41

42 Palavras-chave: perdas matéria seca, proteína bruta, coprodutos, digestibilidade,
43 *Pennisetum purpureum*.

44

45 **Introdução**

46 Um dos principais desafios enfrentados pela pecuária em regiões tropicais é
47 garantir a produção de alimentos e água para ruminantes durante os períodos de
48 escassez de forragens (Monção et al., 2019). Diante desse cenário, a técnica de
49 ensilagem destacou-se como uma ferramenta essencial para conservar alimentos,
50 assegurando a disponibilidade de nutrientes nos períodos de seca (Fluck et al., 2018;
51 Alencar et al., 2023). Nas últimas décadas, a ensilagem de capins tropicais foi foco de
52 diversos estudos devido às limitações naturais dessas forragens, como alta umidade,
53 reduzida concentração de carboidratos solúveis e, em alguns casos, compostos
54 nitrogenados. Essas características têm sido apontadas como fatores que pode interferir
55 na adequada fermentação no silo. Valores acima de 75% de umidade na massa ensilada,
56 por exemplo, favorece a perdas de matéria seca na forma de efluentes. Para superar
57 esses desafios, o uso de aditivos sequestrante de umidade na massa ensilada tem sido
58 amplamente estudado, principalmente as fontes energéticas tradicionais como milho e
59 sorgo (Borges et al., 2018; Ribas et al., 2021).

60 Dentre as forrageiras tropicais amplamente utilizada para produção de silagens
61 destaca-se o capim-BRS Capiáçu (*Cenchrus purpureus* Schum.) pela sua elevada
62 produtividade de massa. Além disso, essa forragem apresenta elevado porte,
63 perfilhamento denso, floração tardia, boa resistência ao acamamento e ausência de
64 joçal (Pereira et al., 2017). No entanto, o alto teor de umidade (70-85%) e o baixo teor

65 de carboidratos solúveis (<5% da MS) quando colhido na altura de 2,5 a 3 metros de
66 altura tem comprometido a fermentação e perdas nutricionais têm sido observadas nas
67 fazendas de bovinos. A colheita tardia (acima de 3,5 metros) favorece o aumento no
68 teor de matéria seca e produção de massa, contudo, reduz os compostos nitrogenados
69 e a digestibilidade dos nutrientes e dificulta o processo de compactação da massa na
70 ensilagem (Pereira et al., 2017; Ribas et al., 2021). Muito produtores têm cometido erros
71 de manejo de corte dessa forrageira ou até mesmo o excesso de chuvas no período das
72 águas tem favorecido a colheita tardia do capim-BRS capiaçu. Neste contexto, a proteína
73 bruta tem sido um dos nutrientes que reduz substancialmente, limitando o uso exclusivo
74 dessa forragem conservada ou não para animais ruminantes.

75 Nesse cenário, a utilização de aditivos na ensilagem do capim-BRS capiaçu como
76 a torta de algodão (*Gossypium hirsutum*) pode contribuir para o ajuste no teor de
77 matéria seca e compostos nitrogenados, uma vez que, esse coproduto é rico em
78 proteína bruta. Além disso, a fração lipídica (2–6%) da torta de algodão, composta
79 majoritariamente por ácidos graxos insaturados, pode atuar com propriedades
80 antimicrobianas e antioxidantes, o que auxilia na preservação da silagem (Dias et al.,
81 2019). Apesar dessas vantagens, há lacunas no conhecimento sobre a inclusão da torta
82 de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu sobre o perfil fermentativo, composição
83 química e a digestibilidade da silagem. Estudos anteriores indicaram que a adição de
84 torta de algodão em silagens de capim-elefante, a partir de 7%, promoveu aumento do
85 teor de proteína bruta e da matéria seca, enquanto níveis superiores a 24%
86 comprometeram a textura e prejudicaram o processo fermentativo da silagem.
87 Considerando essa evidência e há ausência de estudos sobre a inclusão de torta de
88 algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu, investigou-se a hipótese desse aditivo
89 melhorar o perfil fermentativo e o valor nutricional das silagens produzidas.

90 Dessa forma, este estudo objetivou avaliar os efeitos da inclusão diferentes
91 níveis de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu sobre as características
92 fermentativas, recuperação da matéria seca, estabilidade aeróbia, composição química
93 e digestibilidade dos nutrientes das silagens.

94

95 **Material e Métodos**

96 *Declaração de ética*

97 Os procedimentos de cuidado e manejo dos animais utilizados no experimento
98 estavam de acordo com diretrizes da Comissão de Ética em Experimentação e Bem-Estar
99 Animal (CEEBEA) da Universidade Estadual de Montes Claros, (protocolo nº 018/2020).

100 *Local do experimento*

101 O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UNIMONTES, no
102 município de Janaúba (coordenadas geográficas: 15 ° 52'38 "S, 43 ° 20'05" W), Minas
103 Gerais. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw, com
104 chuvas de verão e períodos de seca bem definidos no inverno. A precipitação média
105 anual é inferior a 800 mm, com temperatura média anual de 27 °C. O clima é tropical
106 mesotérmico, quase megatérmico, devido à altitude, subúmido e semiárido, com chuvas
107 irregulares.

108 *Tratamentos e delineamento experimental*

109 Foram avaliados cinco tratamentos caracterizados pela inclusão crescente de
110 torta de algodão (0, 6, 12, 18 e 24% com base na matéria natural) na ensilagem do
111 capim-BRS capiaçu. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento
112 inteiramente casualizado com oito repetições totalizando 40 silos experimentais.

113 *Culturas e obtenção dos tratamentos*

114 O capim-BRS capiaçu foi cultivado na Fazenda Experimental da UNIMONTES. O
115 capim-BRS capiaçu (*Cenchrus purpureus* Schum) foi estabelecido em 2016 em uma área
116 plana de 50 m x 100m. Após o corte de uniformização do capim-BRS capiaçu, 10 cm
117 acima do solo, utilizando podão manual, foi feita adubação de manutenção com 2.500
118 kg/ha de esterco bovino. A altura do capim-BRS capiaçu na colheita era de
119 aproximadamente 3,8 m, com aproximadamente 135 dias de rebrotação (Monção et al.,
120 2019). O capim-BRS capiaçu foi triturados em ensiladora mecanizada (Model JF C90, JF
121 Máquinas, São Paulo, Brasil) com facas ajustadas para corte e obtenção de partícula de
122 2 cm. A torta de algodão foi obtida no comércio local de Janaúba.

123

124 *Processo de ensilagem*

125 Para ensilagem, foram utilizados baldes plásticos de polyvinyl chloride (PVC)
126 como silos experimentais. O fundo dos silos continha areia seca que foi separada da

forragem por espuma para quantificar o efluente produzido. A mistura de capim-BRS Capiçu picado e torta de algodão, proporcional a cada tratamento, foi depositada nos silos e compactada com êmbolo de madeir. Para cada tratamento, quantificou-se a densidade da silagem (550 kg de material natural m⁻³), conforme recomendado por Ruppel et al., (1995). Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC equipadas com válvulas tipo *Bunsen*, seladas com fita adesiva e pesadas. Os silos foram armazenados à temperatura ambiente e abertos 32 dias após a ensilagem.

Estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia foi determinada utilizando-se uma amostra de silagem de aproximadamente 2 kg de cada unidade experimental, totalizando 40 minisilos de PVC. Os minisilos foram mantidos em sala com temperatura ambiente controlada (24,5–25,5 °C). Cada minisilo recebeu um *data logger* (AK172 Mini; <https://loja.akso.com.br/>) posicionado no centro da massa de silagem, programado para registrar a temperatura a cada 30 minutos durante nove dias consecutivos. A temperatura ambiente foi mensurada simultaneamente por um coletor de dados instalado próximo aos minisilos. A estabilidade aeróbia foi definida como o número de horas em que a temperatura da silagem permaneceu estável antes de registrar aumento superior a 2 °C em relação à temperatura ambiente (Moran et al., 1996).

Perdas fermentativas

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por diferença de peso de acordo com Jobim et al. (2007). A perda de matéria seca na forma de gases foi calculada pela diferença entre o peso bruto da matéria seca ensilada inicial e final, em relação à quantidade de MS ensilada, descontados o peso do conjunto silo e areia seca. A recuperação da MS para cada silo foi calculada com base no peso inicial e final nos teores de MS das forragens e silagens conforme Jobim et al. (2007).

Avaliação do pH, nitrogênio amoniacal e ácidos orgânicos

O suco das silagens foi inicialmente obtido por meio de prensa mecânica com capacidade de 16 toneladas. A partir desse extrato, foram realizadas as determinações de pH, nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e ácidos orgânicos (Pryce, 1969). A quantificação do N-NH₃ seguiu a metodologia descrita por Detmann et al. (2021).

159 *Composição químico bromatológica e digestibilidade*

160 Imediatamente após a abertura dos silos, todo o conteúdo de cada unidade
 161 experimental foi homogeneizado, e uma amostra representativa de aproximadamente
 162 500 g foi coletada. As amostras individuais de cada tratamento foram utilizadas para a
 163 formação de uma amostra composta por repetição, totalizando 40 amostras, que foram
 164 processadas separadamente. Imediatamente após a coleta, as amostras foram pré-
 165 secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas, ou até massa constante.
 166 Posteriormente, todas as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de
 167 malha com crivos de 2 mm de diâmetro. Parte do material foi novamente moída em
 168 peneira de 1 mm para as análises laboratoriais, enquanto a porção com partículas de 2
 169 mm foi destinada à incubação in situ.

170 As amostras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (INCT-CA G-
 171 001/1 e G-003/1), proteína bruta (INCT-CA N-001/2), extrato etéreo (INCT-CA G-004/1),
 172 cinzas (INCT-CA M-001/2), fibra em detergente neutro (FDN; INCT-CA F-001/2), fibra em
 173 detergente ácido (INCT-CA F-003/2), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi;
 174 INCT-CA F-008/2), lignina (INCT-CA F-005/2), proteína insolúvel em detergente neutro
 175 (INCT-CA N-004/2), proteína insolúvel em detergente ácido (INCT-CA M-002/2) e
 176 carboidratos não fibrosos, conforme as recomendações descritas em Detmann et al.
 177 (2021). O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com o NRC
 178 (2001). A composição química das forragens utilizadas para produção de silagem pode
 179 ser verificada na Tabela 1.

180

181 Tabela 1. Composição químico-bromatológica dos ingredientes utilizados na produção
 182 de silagem.

Item (g/kg MS)	BRS capiaçu	Torta de algodão
Matéria seca	319	932
Cinzas	85,6	48,8
Proteína bruta	38,4	313,0
Extrato etéreo	23,8	146
Fibra em detergente neutro	719	469
Fibra em detergente ácido	435	353

183

184 *Análises estatísticas*

185 Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando o programa Sisvar
186 5,03 (Ferreira, 2014). O teste de Bartlett e Levene foi utilizado para avaliar a
187 normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias, respectivamente. Foi
188 utilizado o seguinte modelo estatístico: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$,

189 Em que:

190 Y_{ij} = valor observado para variável i em relação ao tratamento na j repetição;

191 μ = média de todas unidades experimentais para variável em estudo;

192 t_i = efeito do tratamento i no valor da observação Y_{ij} ;

193 e_{ij} = erro associado a observação Y_{ij} independente, que por hipótese tem
194 distribuição normal com média zero e variância δ^2 .

195 As médias quando significativas pelo teste de F foram analisadas por meio de
196 regressão polinomial para efeitos lineares e quadráticos. As equações reduzidas foram
197 submetidas ao teste de t. Para todos os procedimentos foi utilizado $\alpha=0,05$. As médias
198 também foram avaliadas por meio de correlação simples, análises de componentes
199 principais e Cluster. A análise de componentes principais foi validada pelo comando
200 PERMANOVA e a análise de Cluster pelos coeficientes de correlação cofenético e
201 silhueta.

202

203 **Resultados**

204 *Perdas de matéria seca e perfil fermentativo*

205 A inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu alterou o
206 perfil fermentativo da silagem produzida. Os valores de pH ($P<0,01$), nitrogênio
207 amoniacal ($P<0,01$) e temperatura ($P<0,01$) no momento da abertura dos silos
208 aumentaram linearmente (Tabela 2). As perdas por gases ($P<0,01$) e efluentes ($P<0,01$)
209 reduziram linearmente. Não houve diferença entre os níveis de inclusão da torta de
210 algodão sobre a recuperação da matéria seca ($p=0,96$), média de 98,65%.

211

212

213

214

215 Tabela 2. Perfil fermentativo de silagens de capim-BRS capiaçu com diferentes
216 proporções de inclusão de torta de algodão na matéria natural

Item	Inclusão de torta de algodão (%)					EPM	P-valor		
	0	6	12	18	24		Silagens	Linear	Quadr
pH	4,61	4,89	5,21	5,44	5,54	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal, mg/dL	7,67	24,97	40,24	52,71	50,24	2,11	<0,01	<0,01	<0,01
Perdas por gases, %	5,51	5,16	5,26	4,99	4,45	0,16	<0,01	<0,01	0,23
Perdas por efluentes, kg t ⁻¹	9,93	3,75	0,00	0,00	0,00	0,63	<0,01	<0,01	<0,01
Temperatura inicial, °C	28,09	28,39	28,68	28,71	30,58	0,22	<0,01	<0,01	<0,01
Recuperação da MS, %	98,35	98,40	98,15	99,78	98,58	1,77	0,96	0,74	0,92

217 MS - matéria seca; MV - massa verde; EPM- erro padrão da média; P - probabilidade.

218

219 Houve aumento de 0,04 unidades no pH, 1,88 mg/dL de nitrogênio amoniacal e
220 0,08°C na temperatura à medida que aumentou 1% de inclusão de torta de algodão na
221 ensilagem (Tabela 3). Para cada 1% de inclusão de torta de algodão na ensilagem do
222 capim-BRS capiaçu, houve redução de 0,038% nas perdas por gases e 0,3936 kg t⁻¹ nas
223 perdas por efluentes.

224 Tabela 3. Equações de regressão do perfil fermentativo e perdas de matéria seca das
225 silagens de capim-BRS capiaçu com diferentes níveis de inclusão de torta de algodão.

Item	Inclusão de torta de algodão (%MN)					R ²
	0	6	12	18	24	
pH				$y = 0,0402 \cdot X + 4,65$		0,97
Nitrogênio amoniacal, mg/dL				$y = 1,8816 \cdot X + 12,58$		0,90
Perdas por gases, %				$y = -0,038 \cdot X + 5,53$		0,84
Perdas por efluentes, kg t ⁻¹				$y = -0,3936 \cdot X + 7,46$		0,74
Temperatura inicial, °C				$y = 0,0882 \cdot X + 27,83$		0,74

226 MN – matéria natural; R² - coeficiente de determinação. * significativo pelo teste de t a
227 5% de probabilidade.

228

229 *Composição química*

230 Houve diferença na composição química da silagem quando comparados os
231 diferentes níveis de inclusão da torta de algodão (Tabela 4). À medida que aumentou a

inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim, houve incremento linear no teor de matéria seca ($P<0,01$), proteína bruta ($P<0,01$), extrato etéreo ($P<0,01$), nutrientes digestíveis totais ($P<0,01$), digestibilidade da matéria seca ($P<0,01$) e digestibilidade da proteína bruta ($P<0,01$).

Tabela 4. Composição química e digestibilidade de silagens de capim-BRS capiaçu com diferentes proporções de inclusão de torta de algodão na matéria natural

Item (% MS)	Inclusão de torta de algodão (%MN)					EPM	P-valor		
	0	6	12	18	24		Silagens	Linear	Quadr
Matéria seca	32,36	35,03	38,70	46,69	46,27	1,78	<0,01	<0,01	0,78
Cinzas	9,94	9,51	8,82	8,83	8,31	0,38	0,04	<0,01	0,71
Proteína bruta	3,13	5,93	10,32	11,93	15,08	0,59	<0,01	<0,01	0,36
Extrato etéreo	2,04	3,61	4,76	5,79	6,73	0,24	<0,01	<0,01	0,14
Fibra em detergente neutro	75,59	69,79	69,85	69,51	67,45	0,99	<0,01	<0,01	0,06
Fibra em detergente ácido	38,46	42,51	44,42	42,04	39,89	1,50	0,06	0,62	<0,01
Carboidratos Totais	84,89	80,96	76,10	73,45	69,88	0,76	<0,01	<0,01	0,31
Carboidratos não fibrosos	9,30	11,16	6,26	3,94	2,43	1,01	1,01	<0,01	0,27
Nutrientes digestíveis totais	53,78	58,96	59,45	62,58	64,34	1,08	<0,01	<0,01	0,31
DIVMS	54,07	60,53	61,14	65,04	67,26	1,35	<0,01	<0,01	0,31
DIVPB	63,08	63,33	82,42	87,87	89,55	0,9	<0,01	<0,01	<0,01
DIVFDN	51,52	53,77	48,47	45,96	34,01	0,68	<0,01	<0,01	<0,01

DIVMS – Digestibilidade n vitro da matéria seca; DIVPB - Digestibilidade n vitro da proteína bruta; DIVFDN - Digestibilidade in vitro da fibra em detergente neutro; MS - Matéria seca; MN - Matéria natural; EPM - erro padrão da média; P –probabilidade.

A inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu aumentou o teor de matéria seca de 31,91% para 47,70%. Para cada unidade percentual de inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu, houve aumento de 0,64% no teor de matéria seca, 0,49% no teor de proteína bruta, 0,4130% no teor de nutrientes digestíveis totais, 0,51% na digestibilidade da matéria seca e 1,29% na digestibilidade da proteína bruta (Tabela 4).

Tabela 5. Equações de regressão das características químicas e digestibilidade das silagens de capim-BRS capiaçu com diferentes níveis de inclusão de torta de algodão.

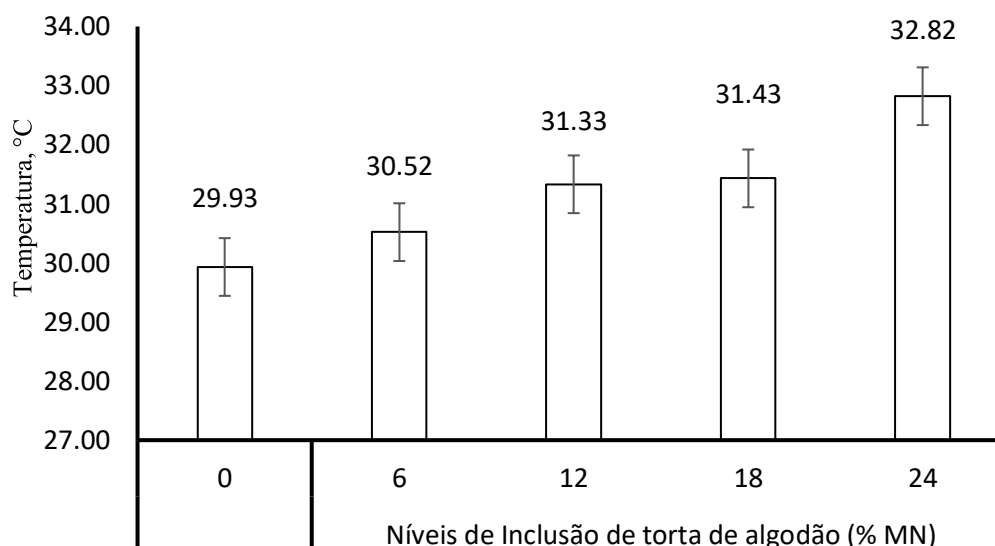
Item (% MS)	Inclusão de torta de algodão (%MN)					R ²
	0	6	12	18	24	
Matéria seca			$y = 0,6579 \cdot X + 31,914$			0,92
Cinzas			$y = -0,0655 \cdot X + 9,8645$			0,94
Proteína bruta			$y = 0,4982 \cdot X + 3,2988$			0,98
Extrato etéreo			$y = 0,1925 \cdot X + 2,276$			0,99
Fibra em detergente neutro			$y = 0,2759 \cdot X + 73,75$			0,74
Carboidratos Totais			$y = -0,6253 \cdot X + 84,56$			0,99
Carboidratos não fibrosos			$y = -0,3494 \cdot X + 10,81$			0,83
Nutrientes digestíveis totais			$y = 0,4130 \cdot X + 54,87$			0,94
DIVMS			$y = 0,5149 \cdot X + 55,42$			0,94
DIVPB			$y = 1,2911 \cdot X + 61,75$			0,88
DIVFDN			$y = -0,3176 \cdot X + 55,31$			0,77

251 MS - matéria seca; MN - matéria natural, DIVMS - digestibilidade in vitro da matéria
 252 seca; DIVPB - digestibilidade in vitro da proteína bruta; DIVFDN - digestibilidade in vitro
 253 da fibra em detergente neutro. R² - coeficiente de determinação. * significativo pelo
 254 teste de t a 5% de probabilidade.

255

256 *Estabilidade aeróbia*

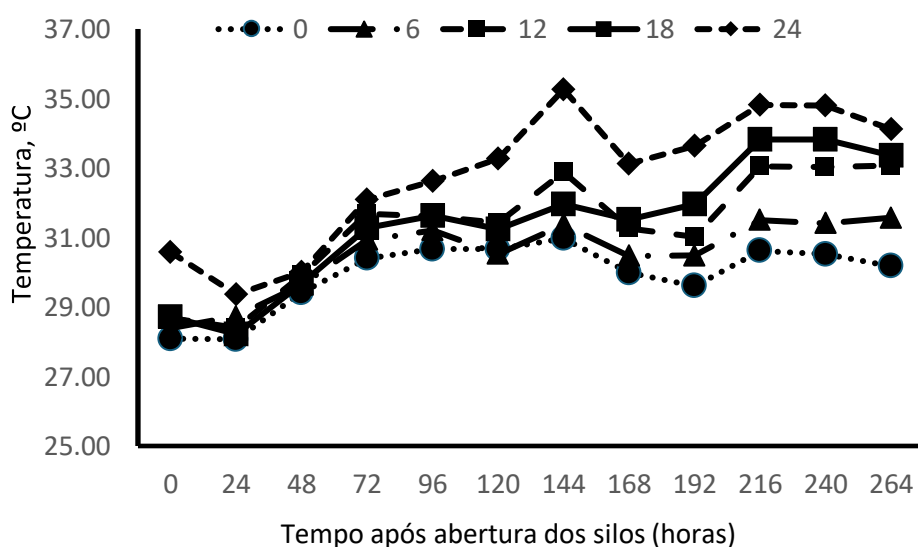
257 Houve interação (P<0,01) entre as silagens e os tempos após a abertura do silo
 258 sobre a temperatura. As temperaturas foram registradas a cada 24 horas, durante nove
 259 dias consecutivos (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 e 216 horas após a abertura). O
 260 maior valor de temperatura foi verificado na silagem com 24% de inclusão de torta de
 261 algodão. Para cada 1% de inclusão de torta de algodão, houve aumento de 0,11 °C na
 262 temperatura da silagem (Figura 1).



263

264 **Figure 1.** Valores médios da temperatura durante a estabilidade aeróbia de das silagens
 265 de capim-BRS capiaçu com diferentes níveis de inclusão de torta de algodão.

266 Em todos os tempos avaliados, as silagens com 24% de inclusão de torta de
 267 algodão apresentaram os maiores valores de temperatura, enquanto os menores
 268 valores foram registrados na silagem controle, sem adição de torta de algodão (Figura
 269 2).

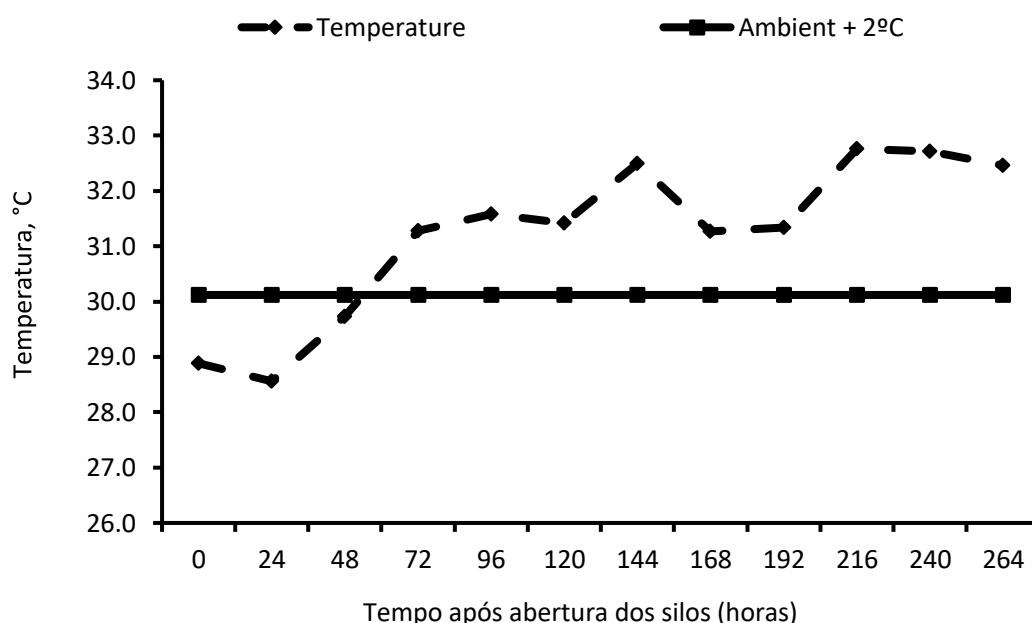


270

271 **Figure 2.** Valores médios de temperatura após 264 horas de exposição aeróbia das
 272 silagens de capim-BRS capiaçu com diferentes níveis de inclusão de torta de algodão.

273

274 Independente dos níveis de inclusão da torta de algodão foi verificado que a
 275 temperatura das silagens aumentou após abertura dos silos (Figura 4). Observou-se que
 276 a quebra da estabilidade aeróbia das silagens ocorreu, em média, 72 horas após
 277 abertura dos silos.



278
 279 **Figure 3.** Perfil da temperatura média registrada das silagens de capim-BRS capiaçu com
 280 diferentes níveis de inclusão de torta de algodão após diferentes tempos após a
 281 abertura ao longo do ensaio de estabilidade aeróbia durante 264 horas.

282
 283 Na Figura 4 pode ser observada a correlação simples de Pearson entre as
 284 variáveis dependentes analisadas nas silagens. Verificou-se que à medida que aumentou
 285 a torta de algodão na silagem, houve aumento no teor de extrato etéreo que
 286 correlacionou positivamente com a temperatura ($r=0,6358$) e pH ($r=0,8839$). O teor de
 287 extrato etéreo correlacionou negativamente com a digestibilidade da fibra em
 288 detergente neutro($r=-0,7599$). O teor de matéria seca das silagens correlacionou
 289 negativamente com as perdas por efluentes ($r=-0,5747$).

290

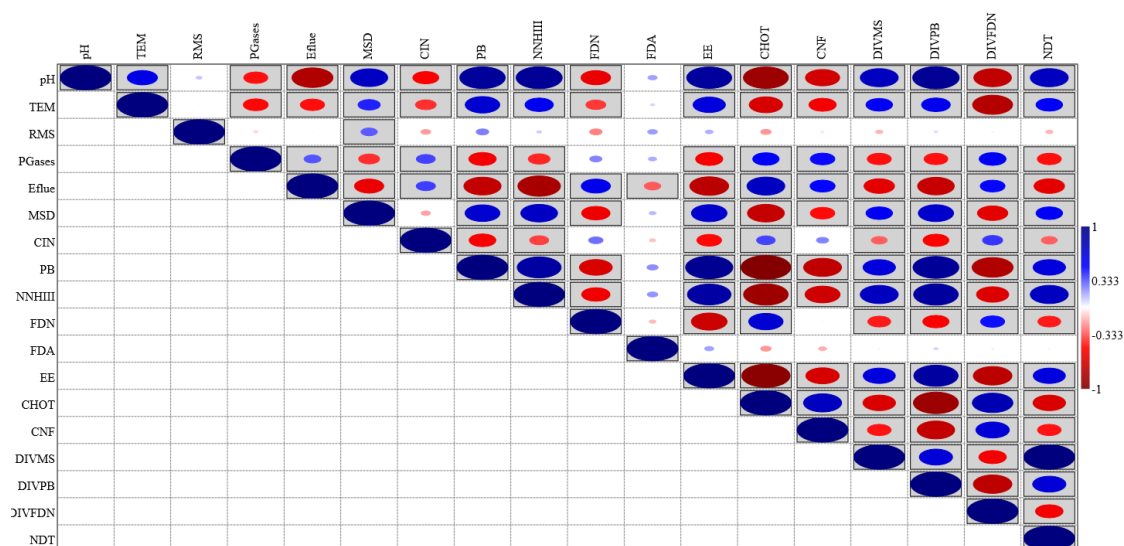


Figure 4. Correlação simples entre as variáveis dependentes analisadas nas silagens de capim-BRS capiaçu com níveis crescentes de inclusão de torta de algodão.

Discussão

No conjunto das gramíneas tropicais cultivadas para fins forrageiros, o capim-BRS Capiáçu sobressai pelo elevado potencial de acúmulo de matéria seca, sendo amplamente reconhecido por seu desempenho produtivo em sistemas intensificados de produção animal (Pereira et al., 2017). Essa elevada capacidade produtiva confere versatilidade ao seu manejo, possibilitando tanto a utilização sob regime de cortes frequentes para fornecimento *in natura* aos animais, quanto a adoção de intervalos mais longos de rebrotação, entre 90 e 120 dias, visando à produção de silagem. Um dos principais entraves à ensilagem de gramíneas tropicais consiste no baixo teor de matéria seca no momento do corte, condição que também pode ser observada no capim-BRS Capiáçu quando colhido em estádios mais precoces de desenvolvimento. Entretanto, no presente estudo, o capim foi colhido aos 130 dias de rebrotação, com presença de folhas senescentes, resultando em teor de matéria seca superior a 30%, valor considerado adequado para a adequada fermentação e conservação da silagem (Kung Jr. et al., 2018; Ribas et al., 2021; Alencar et al., 2023). Isso ocorreu porque o capim foi colhido após o período chuvoso, cujas condições climáticas favoreceram o crescimento rápido da forragem que atingiu 3,8 metros de altura.

312 Neste contexto, a inclusão de torta de algodão com a finalidade de aumentar o
313 teor de matéria seca para ensilagem não foi necessária. Verificou-se que a inclusão de
314 24% de torta de algodão elevou o teor de matéria seca para 47,70%, sendo
315 recomendado por Kung Jr et al. (2018) não ultrapassar de 38%. Teores de matéria seca
316 acima de 38% dificulta o processo de compactação da massa ensilada e favorece a
317 retenção de oxigênio no interior do silo (Ribas et al., 2021). Neste contexto, a inclusão
318 de 12% de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS capiaçu favoreceu a produção
319 de silagem com 38% de matéria seca. Em relação ao perfil fermentativo, a inclusão de
320 torta de algodão reduziu as perdas de matéria seca na forma de gases e efluentes. Os
321 silos com mais de 12% de inclusão de torta de algodão possibilitaram perdas nulas na
322 de efluentes e menos de 5% de perdas por gases., o que é justificável devido ao aumento
323 no teor de matéria seca da silagem produzida. A inclusão de torta de algodão na
324 ensilagem do capim-BRS capiaçu aumentou os valores de pH e o teor de nitrogênio
325 amoniacal. Isso ocorreu devido ao elevado teor de proteína bruta presente nesse
326 coproduto (Tabela 1). A torta de algodão apresenta valores de fração prontamente
327 solúvel acima de 7,28% da proteína bruta (Valadares et al., 2016), o que favorece a
328 formação de íons amônio após hidrólise. Além disso, os compostos nitrogenados agem
329 como componentes tamponantes durante a ensilagem, o que impede a redução do pH
330 para valores referência entre 3,8 a 4,2. Contudo, o pH não deve ser usado como
331 indicador definitivo da qualidade da silagem.

332 Uma das vantagens da utilização da torta de algodão na ensilagem do capim-BRS
333 capiaçu foi o incremento no teor de proteína bruta da silagem produzida. A silagem
334 controle apresentou 3,29% de proteína bruta, valor este inferior aos 7% recomendado
335 por Van Soest (1994) como mínimo na dieta de ruminantes para a reprodução e
336 crescimento microbiano, principalmente de bactérias fibrolíticas que usam amônia
337 como fonte de energia (Kozloski, 2019). A silagem com 18% de torta de algodão
338 apresentou teor de proteína bruta (média 12,27%) normalmente verificado na dieta de
339 ruminantes para atender exigências de manutenção e produção nas condições tropicais. A
340 torta de algodão é um subproduto do processamento da semente de algodão que é rico
341 em compostos nitrogenados. Dessa forma, o uso torta de algodão na ensilagem do
342 capim-BRS capiaçu elevou os teores de proteína bruta e a digestibilidade da proteína
343 bruta o que possibilita a redução do uso de insumos concentrados como a ureia e farelo

344 de soja, tradicionalmente utilizados para ajustar o teor proteico da dieta de ruminantes.
345 Além disso, a torta de algodão é obtida por meio da prensagem mecânica para extração
346 do óleo (ROGERS; POORE e PASCHAL, 2002), mesmo assim, apresentou elevado teor de
347 extrato etéreo nas silagens produzidas.

348 O aumento do teor de extrato etéreo para 6,90% da MS na silagem com 24% de
349 inclusão aproxima-se do limite superior de 7% recomendado para dietas de ruminantes,
350 valor a partir do qual o excesso de gordura pode interferir negativamente na
351 fermentação ruminal, especialmente na digestão da fibra. (NRC, 2001; Palmquist &
352 Jenkins, 1980). Assim, embora o incremento lipídico contribua para a elevação do teor
353 de nutrientes digestíveis totais, sua utilização deve ser considerada no contexto do
354 balanceamento global da dieta. Uma das vantagens desse aumento pode ser observada
355 pelo incremento no teor de nutrientes digestíveis totais das silagens produzidas. Essa
356 maior concentração de nutrientes com o incremento da torta de algodão justifica a
357 maior temperatura após abertura dos silos e melhor digestibilidade da matéria seca.

358 O maior teor de nutrientes digestíveis totais nas silagens, após abertura dos silos,
359 pode favorecer o crescimento de fungos e bolores, que fermentam a matéria orgânica
360 produzindo calor, o que foi observado nesta pesquisa. De acordo com Justino et al.
361 (2025), devido ao elevado teor de extrato etéreo nas silagens com maiores inclusões de
362 torta de algodão, há inibição do crescimento de microrganismos deterioradores como
363 fungos, bolores e leveduras. Ainda de acordo os mesmos autores, a presença de lipídios
364 nas silagens interrompe o desenvolvimento de leveduras, afetando a permeabilidade da
365 membrana e causando desorganização citoplasmática (Pohl et al., 2011; Clitherow et al.,
366 2020).

367 Contudo, nas silagens com 18 e 24% de inclusão de torta de algodão, apesar do
368 maior teor de extrato etéreo, foi verificada menor estabilidade aeróbica. As silagens com
369 até 12% de inclusão de torta de algodão apresentaram melhoria na estabilidade
370 aeróbica, o que é importante para reduzir a deterioração em silagens (Pahlow et al.,
371 2003; Wilkinson e Davies, 2013). Nesta pesquisa foi verificado redução nos teores de
372 fibra em detergente neutro com a inclusão da torta de algodão. Essa redução é
373 justificável pelo menor teor de fibra na torta de algodão, o que é desejável, pois essa
374 fração impacta negativamente na ingestão e a digestibilidade da matéria seca (Castro-
375 Montoya e Dickhoefer, 2018; Silva et al., 2016). Também foi observada redução na

376 digestibilidade da fibra em detergente neutro com a inclusão de torta de algodão. Esse
377 comportamento pode ser explicado pelo teor de extrato etéreo presente na silagem e
378 pela baixa qualidade da fração fibrosa da torta de algodão. O extrato etéreo é um
379 componente do alimento que encobre as partículas do alimento, o que dificulta a
380 adesão microbiana no ambiente ruminal e afeta a digestibilidade conforme correlação
381 negativa verificada. Na dieta de ruminantes, teores de extrato etéreo superiores a 6%
382 podem ser verificados e correlacionados com a menor digestibilidade da fibra.

383 De modo geral, a inclusão de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS
384 Capiçu demonstrou potencial como aditivo, promovendo a redução das perdas de
385 matéria seca, o incremento nos teores de proteína bruta e nutrientes digestíveis totais,
386 a melhoria da digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta, além da redução do
387 teor de fibra em detergente neutro. Na prática, por ser um ingrediente proteico
388 amplamente utilizado nas fazendas de pecuária no Brasil, sua incorporação à silagem
389 também contribui para a redução da mão de obra com manejos diários de fornecimento.

390 Diante do conjunto de resultados obtidos, a inclusão de 12% de torta de algodão
391 configura-se como o nível mais equilibrado para conciliar qualidade fermentativa, valor
392 nutricional e estabilidade aeróbia. Proporções superiores a esse patamar, embora
393 promovam incrementos adicionais de proteína bruta e nutrientes digestíveis totais,
394 resultaram em elevação do teor de matéria seca para valores acima de 38%, o que
395 dificulta a compactação e favorece a retenção de oxigênio no interior do silo. Além disso,
396 o aumento expressivo do pH e do nitrogênio amoniacal nas silagens com mais de 12%
397 de inclusão evidencia que o excesso de compostos nitrogenados, com seu efeito
398 tamponante, limita a acidificação necessária à conservação. Outro fator restritivo foi o
399 teor de extrato etéreo, que atingiu 6,90% da matéria seca no tratamento com 24% de
400 inclusão, aproximando-se do limite de 7% recomendado para dietas de ruminantes,
401 acima do qual pode haver prejuízos à digestão da fibra e à estabilidade aeróbia. Somam-
402 se a isso as evidências de que as silagens com até 12% de inclusão apresentaram
403 menores perdas por gases e efluentes e melhor estabilidade aeróbia, reduzindo os riscos
404 de deterioração após a abertura dos silos. Contudo, aspectos relacionados ao consumo
405 animal e aos fatores antinutricionais presentes na torta de algodão devem ser
406 considerados para respaldar de forma mais abrangente a recomendação desse nível de
407 inclusão. Dessa forma, a adoção de 12% de torta de algodão maximiza os benefícios do

aditivo, assegura a conservação da forragem sem comprometer a qualidade final da silagem e apresenta a melhor relação custo-benefício para os sistemas de produção no semiárido.

Conclusão

A adição de torta de algodão como aditivo na ensilagem de capim-BRS capiaçu leva a melhorias em seu valor nutritivo e perfil fermentativo. Com base nos resultados, recomenda-se um nível de inclusão de torta de algodão de 12% para a produção de silagens de qualidade e com boa relação custo-benefício.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT-Zootecnia) pelo auxílio com bolsas de estudo/pesquisa. FAPEMIG APQ-00813-25.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Os dados que embasam este estudo serão compartilhados mediante solicitação razoável ao autor correspondente.

Conflitos de interesse

O autor declara não haver conflitos de interesse.

Declaração de financiamento

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Financiamento

Este trabalho foi apoiado por bolsas e recursos da FAPEMIG e da Capes.

438 **Referências**

- 439 ALENCAR, A. M. S. et al. Quality of mixed silages of sorghum, BRS Capiçu grass, and
440 cactus pear in a semiarid region of Brazil. *Journal of Applied Animal Research*, v. 51, p.
441 719–728, 2023.
- 442 BORGES, L. D. A. et al. Nutritional and productive parameters of Holstein/Zebu cows fed
443 diets containing cactus pear. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 32, n. 9,
444 p. 1373–1380, 2019.
- 445 CASTRO-MONTOYA, J. M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume
446 forages fed to ruminants as affected by their growth habit and plant fraction: a review.
447 *Animal Feed Science and Technology*, v. 236, p. 42–56, 2018.
- 448 CLITHEROW, K. H. et al. Medium-chain fatty acids released from polymeric electrospun
449 patches inhibit *Candida albicans* growth and reduce biofilm viability. *ACS Biomaterials*
450 *Science & Engineering*, v. 6, n. 7, p. 4087–4095, 2020.
- 451 DETMANN, E. et al. *Métodos para análise de alimentos*. 2. ed. Visconde do Rio Branco:
452 Suprema, 2021.
- 453 DIAS, E. C. B. et al. Nutritive value of elephant grass silage added with cottonseed cake
454 in diet for sheep. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, 2019.
- 455 FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons.
456 *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.
- 457 FLUCK, A. C. et al. Composição química da forragem e do ensilado de azevém anual em
458 função de diferentes tempos de secagem e estádios fenológicos. *Arquivo Brasileiro de*
459 *Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, p. 1979–1987, 2018.
- 460 JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem
461 conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 101–119, 2007.
- 462 JUSTINO, E. S. et al. Cottonseed cake as nutritional additive for sorghum silages. *New*
463 *Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 68, n. 2, p. 379–389, 2025.
- 464 KOZLOSKI, G. V. *Bioquímica dos ruminantes*. 3. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2019.
- 465 KÖPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de
466 *Cultura Económica*, 1948.
- 467 KUNG JUNIOR, L. et al. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and
468 organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, p. 4020–4033,
469 2018.

470 MORAN, J. P. et al. Comparação de dois métodos para avaliação da estabilidade aeróbica
 471 da silagem de trigo integral. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 11., 1996,
 472 Aberystwyth. *Proceedings...* Aberystwyth: University of Wales, 1996. p. 162–163.

473 MONÇÃO, F. P. et al. Yield and nutritional value of BRS Capiacu grass at different
 474 regrowth ages. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, p. 2045–2056, 2019.

475 NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7. rev. ed.
 476 Washington, DC: National Academies Press, 2001.

477 PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T. C. Fat in lactation rations: review. *Journal of Dairy Science*,
 478 v. 63, n. 1, p. 1–14, 1980.

479 PEREIRA, A. V. et al. BRS Kurumi and BRS Capiacu: new elephant grass cultivars for
 480 grazing and cut-and-carry systems. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 1,
 481 p. 59–62, 2017.

482 POHL, C. H.; KOCK, J. L. F.; THIBANE, V. S. Antifungal free fatty acids: a review. In:
 483 MÉNDEZ-VILAS, A. (Ed.). *Science against microbial pathogens: current research and*
 484 *technological advances*. v. 3. 2011. p. 61–71.

485 PRYCE, J. D. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of
 486 lactic acid. *The Analyst*, v. 94, p. 1151–1152, 1969.

487 RIBAS, W. F. G. et al. Effect of wilting time and enzymatic-bacterial inoculant on the
 488 fermentative profile, aerobic stability, and nutritional value of BRS Capiacu grass silage.
 489 *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200207, 2021.

490 ROGERS, G. M.; POORE, M. H.; PASCHAL, J. C. Feeding cotton products to cattle.
 491 *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 18, n. 2, p. 267–294, 2002.

492 RUPPEL, K. M.; BOCCA, A. C.; HARTEN, D. M. Silage. In: BUCKMASTER, D. R. et al. (Eds.).
 493 *Forage preservation and silage production*. Gainesville: University of Florida, 1995.

494 SILVA, R. V. M. M. et al. Cottonseed cake in substitution of soybean meal in diets for
 495 finishing lambs. *Small Ruminant Research*, v. 137, p. 183–188, 2016.

496 VALADARES FILHO, S. C. et al. *CQBAL 4.0: tabelas brasileiras de composição de alimentos*
 497 *para ruminantes*. 2018. Disponível em: <http://www.cqbal.com.br>. Acesso em: 01 mar.
 498 2026.

499 VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University
 500 Press, 1994.

501 WILKINSON, J. M.; DAVIES, D. R. The aerobic stability of silage: key findings and recent
502 developments. *Grass and Forage Science*, v. 68, n. 1, p. 1–19, 2013.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicam que a inclusão de 12% de torta de algodão na matéria natural é a mais adequada, considerando critérios técnicos e econômicos. Este manejo promove uma silagem com teor de matéria seca adequado (38,70%), eliminação de perdas por efluentes, redução nas perdas por gases e boa digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta, aspectos que contribuem para um produto final de elevado valor nutricional.

A redução nas perdas por efluentes, que foram nulas a partir de 12% de inclusão, é um fator crucial, pois minimiza o impacto ambiental e preserva os nutrientes da silagem. Além disso, o aumento no teor de proteína bruta ao associar a torta de algodão (de 3,29% para 10,32% neste nível) contribui para a melhoria do valor nutricional do volumoso, reduzindo a necessidade de suplementação proteica nas dietas.

Portanto, recomenda-se a inclusão de 12% de torta de algodão na ensilagem do capim-BRS Capiacu (base na matéria natural) como estratégia eficiente para a produção de silagem de alta qualidade, capaz de atender às demandas nutricionais dos sistemas de produção animal e melhorar a sustentabilidade do uso de coprodutos agroindustriais em sistemas de alimentação conservada no semiárido.