

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ZOOTECNIA

ANA KARLA SILVA CUNHA

**PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DE SILAGENS DE
MILHETO SOB APLICAÇÃO DE SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM *Azospirillum*
*brasilense***

CHAPADINHA-MA

2025

ANA KARLA SILVA CUNHA

**PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DE SILAGENS DE
MILHETO SOB APLICAÇÃO DE SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM *Azospirillum
brasilense***

Projeto de Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao colegiado do curso de
Zootecnia do Centro de Ciências de
Chapadinha da Universidade Federal do
Maranhão, como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador (a): Profa. Dra. Daniele de Jesus
Ferreira

Coorientador (a): Ms. Francisca Claudia da
Silva de Sousa

CHAPADINHA-MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva Cunha, Ana Karla.

Perfil Fermentativo e Composição Bromatológica de Silagens de Milheto sob Aplicação de Silício e Inoculação com *Azospirillum brasilense* / Ana Karla Silva Cunha. - 2025.

41 f.

Coorientador(a) 1: Francisca Claudia da Silva de Sousa.

Orientador(a): Daniele de Jesus Ferreira.

Monografia (Graduação) - Curso de Zootecnia,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2025.

1. Pennisetum Glaucum (L.). 2. Silicato de Sódio. 3. *Azospirillum Brasilense*. 4. Silagem de Ração Total. I. da Silva de Sousa, Francisca Claudia. II. Ferreira, Daniele de Jesus. III. Título.

ANA KARLA SILVA CUNHA

**PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DE SILAGENS DE
MILHETO SOB APLICAÇÃO DE SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM *Azospirillum
brasilense***

Trabalho apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Federal do Maranhão
como requisito para obtenção do título de Zootecnista

BANCA EXAMINADORA

(Daniele de Jesus Ferreira (UFMA) - Orientadora)

(Francisca Claudia da Silva de Sousa (UFPB) - Coorientadora)

(Anderson de Moura Zanini (UFMA) - Examinador)

(Liliane Pereira Santana (UFRPE) - Examinadora)

CHAPADINHA-MA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que com sua mais infinita bondade e misericórdia me permitiu completar esse objetivo, depositando em mim as condições necessárias para a realização dessa etapa. Obrigado pai, pelo dom da vida e sempre me abençoar!

A minha orientadora, a professora Dra. Daniele Ferreira, por aceitar me orientar nessa última etapa da minha graduação, agradeço por todos os ensinamentos transmitidos na construção desse trabalho e durante o curso.

A minha coorientadora, Msc Cláudia Sousa, que não mediu esforços para me ajudar na construção desse trabalho, me ensinando e corrigindo.

A minha família, que sempre estiveram presentes durante toda minha trajetória acadêmica, acompanhando cada semana de prova, cada madrugada de estudos, cada aprovação, cada choro de saudades de casa. Em especial, as minhas duas mães, Lindalva e Cleide, por me criarem, me incentivarem desde criança aos estudos, por investir financeiramente no meu futuro, por cada puxão de orelha, abraço e piadas, obrigada por serem os meus principais suportes.

Ao meu namorado, Heitor, por ser meu apoio emocional nesses últimos dois anos de graduação. Agradeço por cada momento de distração que me ajudaram a não surtar, e por entender os momentos em que eu não estava 100% presente. Você é o melhor parceiro de estudos que alguém poderia ter.

Aos meus amigos, que mesmo nos momentos de correria acadêmica, estavam do meu lado. Em especial, gostaria agradecer a 2 pessoas, ao Victor Manoel, por cada meme, pelos jantares de providência duvidosa (mas saborosos), pelas noites de estudos (e as de nem tanto estudo assim), por ser um amigo tão especial na minha vida (um irmão que a UFMA me deu). Agradeço também ao meu amigo Manoel Gustavo, que apesar de tão pouco tempo de amizade, foi uma das mais participativas, obrigada pelos momentos de risada, reclamações compartilhadas e pela ajuda com o empréstimo do notebook para a realização do TCC.

A Universidade Federal do Maranhão, em especial ao Centro de Ciências de Chapadinha por proporcionar um curso que capacita profissionais que alimentam

o mundo. A todo corpo docente e demais funcionários por contribuírem diretamente e indiretamente para minha formação.

Ao professor Dr. Anderson Zanine e ao grupo GEPRUMA forragem, pelo carinho, apoio e confiança que me permitiu realizar essa etapa final.

RESUMO

Objetivou-se avaliar o perfil fermentativo e composição químico-bromatológica das silagens de ração total à base de milho sob os efeitos da aplicação de diferentes doses de silício via fertilização e da inoculação de *Azospirillum brasilense*. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados de arranjo fatorial 4 × 2 com cinco repetições, avaliando quatro doses de silício aplicadas via fertilização (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) em combinação com a inoculação ou não de *Azospirillum brasilense*. A cultivar utilizada foi o milho (*Pennisetum glaucum* (L.) BRS 1501. As silagens de ração total à base de milho foram produzidas para atender as exigências de bovinos de corte, após a abertura dos silos, as silagens foram analisadas quanto ao seu perfil fermentativo e composição químico-bromatológica. Avaliou-se o potencial hidrogênio-iônico (pH), perdas por gases (PG;% MS), efluentes (PE; Kg/ton de MN), capacidade tampão (CT) e a recuperação de nutrientes (RMS; %MS), teores de matéria seca (MS; g/kg), matéria mineral (CINZ; g/kg), matéria orgânica (MO; g/kg), proteína bruta (PB; g/kg), fibra em detergente ácido (FDA; g/kg) e fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp; g/kg), hemicelulose (HEM; g/kg) e lignina (LIG; g/kg). No perfil fermentativo, observou-se efeito isolado para a inoculação com *Azospirillum brasilense* (P<0,05) sobre a capacidade tampão das silagens avaliadas e as doses de Si apresentaram efeito isolado para o pH (P=0,028), favorecendo o processo fermentativo. Quanto à composição química, efeitos isolados foram observados para dose de silício (P<0,05) ocasionando diminuição dos teores de FDA com as maiores doses de Si (8 e 12 kg ha⁻¹), melhorando a qualidade da fibra. Os resultados indicam que a combinação de silício e *Azospirillum brasilense* pode melhorar o valor nutritivo das silagens, recomendando-se a silagem de dose 8 kg ha⁻¹, para mais eficiência em dietas de bovinos de corte, por demonstrar melhor equilíbrio entre padrão de qualidade fermentativa e composição química.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum* (L.), Silicato de sódio, *Azospirillum brasilense*, silagem de ração total.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the fermentation profile and chemical-bromatological composition of total ration silages based on millet under the effects of the application of different doses of silicon via fertilization and inoculation of *Azospirillum brasilense*. A randomized block experimental design with a 4 × 2 factorial arrangement and five replications was used, evaluating four silicon doses applied via fertilization (0, 4, 8 and 12 kg ha⁻¹) in combination with or without inoculation of *Azospirillum brasilense*. The cultivar used was millet (*Pennisetum glaucum* (L.) BRS 1501). Total ration silages based on millet were produced to meet the requirements of beef cattle. After opening the silos, the silages were analyzed for their fermentation profile and chemical-bromatological composition. The hydrogen-ionic potential (pH), gas losses (PG; %), effluents (PE; kg/ton of MN), buffer capacity (CT) and nutrient recovery (RMS; %DM), dry matter (DM; g/kg), mineral matter (CINZ; g/kg), organic matter (OM; g/kg), crude protein (CP; g/kg), acid detergent fiber (ADF; g/kg) and neutral detergent fiber corrected for ash and protein (NDFcp; g/kg), hemicellulose (HEM; g/kg) and lignin (LIG; g/kg) contents were evaluated. In the fermentation profile, an isolated effect was observed for inoculation with *Azospirillum brasilense* (P<0.05) on the buffering capacity of the evaluated silages and the Si doses showed an isolated effect for the pH (P=0.028), favoring the fermentation process. Regarding the chemical composition, isolated effects were observed for the silicon dose (P<0.05) causing a decrease in the ADF levels with the highest Si doses (8 and 12 kg ha⁻¹), improving the fiber quality. The results indicate that the combination of silicon and *Azospirillum brasilense* can improve the nutritional value of silages, recommending a silage dose of 8 kg ha⁻¹, for greater efficiency in beef cattle diets, as it demonstrates a better balance between fermentation quality standard and chemical composition.

Keywords: *Pennisetum glaucum* (L.), Sodium silicate, *Azospirillum brasilense*, total ration silage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proporção dos ingredientes usados para a formulação das SRT.....	25
Tabela 2. Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas.....	25
Tabela 3. Valores médios de pH, capacidade tampão (CT), perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS), em silagens de ração total para bovinos de corte com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i>	30
Tabela 4. Composição química de silagens ração total para bovinos de corte, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i>	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

cm = Centímetro

CT = Capacidade tampão

CINZ = Cinzas

DBC = Delineamento em blocos casualizados

EPM = Erro padrão da média

FDA = Fibra em detergente ácido

FDN = Fibra em detergente neutro

FDNcp = Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína

g = Grama

h = Hora

HEM = Hemicelulose

Kg = Quilograma

LIG = Lignina

MM = Matéria mineral

mm = Milímetro

MO = Matéria Orgânica

MS = Matéria Seca

N = Nitrogênio

NDT = Nutrientes Digestíveis Totais

PB = Proteína Bruta

PE = Perdas por Efluentes

PG = Perdas por Gases

pH = Potencial Hidrogênio-iônico

RMS = Recuperação de matéria seca

RT = Ração Total

Si = Silício

SRT = Silagem de Ração Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Milheto (<i>Pennisetum glaucum</i>)	15
2.2	Silício	16
2.3	Azospirillum brasilense	17
2.4	Silagem de milheto	18
2.5	Silagem de ração total	21
3	OBJETIVOS	23
3.1	Geral	23
3.2	Específico	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1	Localização e clima	24
4.2	Período, delineamento e condução do experimento	24
4.3	Perfil fermentativo	26
4.4	Composição bromatológica	28
4.5	Análise estatística	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Perfil fermentativo	30
5.2	Composição bromatológica	32
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A pecuária no Brasil tem destaque no cenário global (EMBRAPA, 2021), em virtude do grande aproveitamento das gramíneas tropicais na alimentação dos rebanhos. O acúmulo de biomassa no período de chuvas quando bem manejadas é notável, garantindo um desempenho animal de alta qualidade (Silva, 2024).

Contudo, as regiões semiáridas sofrem constantemente pela estacionalidade climática, um fator que limita a utilização das pastagens, acarretando redução drástica quanto ao desempenho animal, se fazendo necessário o uso de técnicas alternativas para suprir a demanda de pasto. Dentre essas técnicas se tem a conservação de forragem que garante a alimentação dos rebanhos, seja suplementando em sistemas de pastejo ou como fonte principal para animais confinados (Paula *et al.*, 2020; Zopollatto, 2020).

Existem diversos fatores que influenciam diretamente na produção de silagem, a escolha da espécie forrageira é um desses pontos. A cultura mais utilizada para sua produção é o milho, porém outras cultivares podem se adequar, como por exemplo o milheto (Pompeu *et al.*, 2014; Ramos *et al.*, 2016), um cultivar de origem africana (Goren, 2013), que pode alcançar 60 toneladas de massa verde e cerca de 20 toneladas de matéria seca por hectare (Guimarães *et al.*, 2009).

Ela apresenta boa resistência ao estresse hídrico e com grande capacidade de se adaptar aos solos ácidos, além de possuir um alto valor nutritivo, se apresentando como uma boa alternativa em relação às culturas mais tradicionais utilizadas (Jacovetti *et al.*, 2018). Em relação ao seu valor nutricional, destaca-se o seu teor proteico, que pode alcançar valores em torno dos 14%, além de uma boa digestibilidade de aminoácidos e ausência de substâncias consideradas tóxicas aos animais (Resende, 2019).

Entretanto, estresses bióticos e abióticos podem interferir e se tornar limitantes quanto a sua qualidade. Diante dessas características, estratégias que visem melhorar a produção de forragem também são buscadas, como a aplicação de silício que contribui na redução do estresse hídrico, além de outros problemas relacionados às propriedades mecânicas e fisiológicas das plantas (Wang *et al.*, 2017), e a inoculação de *Azospirillum brasilense* que traz diversas contribuições

quanto às características da planta devido a sua capacidade biológica de fixação de nitrogênio e produção de fitormônios, implicando diretamente na absorção de nutrientes e sua tolerância ao déficit hídrico de forma positiva (Rocha e Costa, 2016).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o perfil fermentativo e composição bromatológica de silagens de ração total à base de milho sob os efeitos da aplicação de diferentes doses de silício via fertilização e da inoculação com *Azospirillum brasilense*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Milheto (*Pennisetum glaucum*)

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é um cultivar de origem africana, no Deserto do Saara. A sua domesticação possivelmente ocorreu há mais de 4 mil anos e atualmente é uma das culturas mais cultivadas no continente africano. No Brasil sua implantação iniciou-se em 1929, no estado do Rio Grande do Sul e ganhando destaque pelo país, com o objetivo de uso em sistema de pastejo de rebanho, para o fornecimento como forragem conservada para bovinos de corte e leite e de cobertura do solo em sistema de plantio direto (Goren, 2013; Resende, 2019).

A sua utilização na alimentação, seja ela humana e/ou animal, se dá principalmente em países africanos e asiáticos, por se tratar de um alimento rico em energia, carboidratos, proteínas e micronutrientes como vitaminas e minerais, além de possuir aspectos químicos que o tornam um ótimo aliado para controle de peso e redução de risco de condições crônicas, a exemplo da diabetes (Nambiar *et al.*, 2011; Dias-Martins *et al.*, 2018).

Segundo Jacovetti *et al.*, (2018) quando comparado às culturas mais comumente utilizadas, sendo elas milho e sorgo, que além de possuírem um alto custo para suas implantações, apresentam baixa responsividade de produção a depender das condições climáticas e de solo, o milheto se torna uma cultura alternativa com uma boa resistência ao estresse hídrico e com grande capacidade de se adaptar aos solos ácidos, além de possuir um alto valor nutritivo.

Um estudo de Rostagno *et al.* (2005) destaca a diferença de valores na composição química entre o milheto e o milho, verificando-se valores de matéria seca (MS) 89,64 vs 87,11%, de proteína bruta (PB) 13,10 vs 8,26%, de gordura 4,22 vs 3,61% respectivamente, demonstrando como ele pode ser superior em relação ao milho.

De acordo com Kichel *et al.* (2000), a sua produtividade pode alcançar 60 toneladas de massa verde e cerca de 20 toneladas de matéria seca por hectare, a depender das condições de cultivo. Além das características já citadas, o milheto é caracterizado por ser uma gramínea anual de verão, com uma temperatura ideal de crescimento variando de 28 °C a 30 °C e de ciclo curto de 60 a 90 dias no caso de variedades mais precoces e entorno de 100 a 150 dias para as mais tardias, se

destacando por se desenvolver em regiões de baixa capacidade pluviométricas, tendo como fator limitante para a sua produção temperaturas inferiores a 10 °C (Guimarães *et al.*, 2009).

2.2 Silício

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois apenas do oxigênio, compreendendo cerca de 70% da massa do solo. Embora ele não seja reconhecido como um elemento essencial para as plantas, ele é reconhecido por trazer benefícios para o crescimento e produção das plantas (Wang *et al.*, 2017). Ele apresenta várias funções em processos das plantas, dependendo do acúmulo de Si que varia entre as espécies, principalmente no que diz respeito às plantas que possuem diferentes modos de absorção desse elemento devido às suas raízes quanto a sua expressão e função do transportador de Si (Wang *et al.*, 2021).

A escassez de água provoca sintomas de estresse nas plantas acarretando déficit hídrico reduzindo a produção das culturas de interesse (Kim *et al.*, 2019). Soluções para a redução do impacto negativo nas produções agrícolas quanto ao estresse ocasionado pela seca são requeridos. O uso de sistema de irrigação é uma das alternativas encontradas para contornar o problema relacionado a seca, porém os mesmos a depender da magnitude da produção, é necessário um alto investimento para sua utilização, além de aumentar o risco de conflitos quanto ao uso dos recursos hídricos, se tornando menos confiáveis com o passar dos tempos oferecendo capacidade limitada, principalmente no período seco (Thorne, Hartley e Maathuis, 2020).

Uma alternativa é a aplicação de Si que apresentou uma melhora na tolerância em plantas quanto a estresses bióticos e abióticos (Debona *et al.*, 2017 ; Luyckx *et al.*, 2017 ; Frew *et al.*, 2018). O seu uso aumenta a resistência a doenças causadas por fungos e entre outras pragas, além de contribuir com redução de estresse por seca, toxicidade de metais, desequilíbrio de nutrientes e outros problemas relacionados às propriedades mecânicas e fisiológicas das plantas (Wang *et al.*, 2017). O estresse causado pela seca pode interromper a absorção de nutrientes minerais e a homeostase de cultivares. A aplicação de Si, não melhora apenas o crescimento da planta, mas melhora a sua resistência, estudos observaram que houve melhora na absorção de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio

(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn) durante o processo de estresse (Kaya *et al.*, 2006; Gunes *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2005).

A aplicação de Si como forma de reduzir o estresse hídrico com a finalidade de manter o equilíbrio das cultivares é uma opção atrativa. Compreender as interações e as respostas que ocorrem devido a sua aplicação contribui positivamente nas produções, contribuindo para plantas forrageiras mais eficientes e de melhor tolerância a períodos secos prolongados (Wang *et al.*, 2021).

2.3 *Azospirillum brasilense*

O gênero *Azospirillum* corresponde a bactérias Gram-negativas uniflageladas em formato de bastão, de vida livre com capacidade de realizar movimentações no perfil do solo. No Brasil podemos destacar os estudos pioneiros obtidos por Johanna Döbereiner na década de 70 na qual associou bactérias diazotróficas com gramíneas (Filho, 2020). O *Azospirillum brasilense* contribui de forma positiva nas características da planta, como um aumento de raiz quanto a sua biomassa, ramificação, densidade de pelos radiculares, o que implica diretamente na sua tolerância de déficit hídrico (Lopes *et al.*, 2011; Marks *et al.*, 2015).

A adoção de bactérias diazotróficas, especialmente relacionado com gramíneas, exerce um papel de grande importância em sistemas de produção agrícolas que almejam a sustentabilidade, devido a sua capacidade biológica de incorporação de nitrogênio variando sua quantidade entre 25 a 50 kg ha⁻¹ ano, contudo, ela contém outras características que otimizam as plantas, como a produção de fitormônios vegetais (auxinas, giberelinas e citocininas) que permitem uma melhor absorção de nutrientes e aproveitamento de água (Rocha e Costa, 2016).

Em relação à composição químico-bromatológica, se tem poucos trabalhos relacionados ao seu uso. Porém podemos apresentar alguns resultados obtidos por Skonieski *et al.* (2017), o qual trabalharam silagem de milho com níveis crescentes de adubação nitrogenada sem e com inoculação de *Azospirillum brasilense*, eles observaram que houve diferença quanto a parede celular da cultura, os tratamentos que receberam inoculação resultaram em um menor teor da fibra em detergente

ácido (FDA) em relação aos tratamentos não inoculados, em consequência disso o teor dos nutrientes digestíveis totais (NDT) se destacou nos tratamentos inoculados.

Quanto à produtividade, Nakao *et al.*, (2018) observaram na cultura do sorgo que a inoculação de sementes com a *Azospirillum brasilense* provocou um aumento na produção de matéria seca para ensilagem. Resultado semelhante foi obtido por Andreotti (2016), utilizando a cultivar Rancheiro e de dupla aptidão A9902.

A Embrapa Soja e a Universidade Federal do Paraná têm realizado pesquisas desde 1996 a respeito da inoculação de *Azospirillum brasilense*. Com os resultados obtidos foi possível alcançar melhorias nas gramíneas por meio da seleção de bactérias que apresentam uma maior capacidade de sobrevivência em campo resultando em melhoria quanto a interação planta e microrganismos. Atualmente as empresas produzem as cepas Ab-V5 e Ab-V6, geralmente vendidas na forma líquida devido a sua praticidade, facilitando para os produtores a sua aplicação que pode ocorrer via semente, foliar ou solo (Filho, 2020).

2.4 Silagem de milho

Dentro da área de nutrição animal, as pastagens, sejam elas naturais ou cultivadas, se contextualizam como a principal fonte de alimento para os rebanhos brasileiros. Isso ocorre porque quando se compara os custos de produção da alimentação de rebanhos em pastagens, com sistemas que utilizam animais confinados e grãos na dieta, a pastagem aparece como a fonte mais econômica para alimentação de ruminantes (Pedreira e Pereira, 2019).

A época de estiagem é um fator limitante no uso de pastagens, acarretando um baixo desempenho animal, se fazendo necessário a utilização de técnicas de conservação forrageira para suprir a demanda de alimentos volumosos com a finalidade de garantir a alimentação dos ruminantes, seja como suplemento em sistemas de pastejo ou como fonte principal para animais confinados (Zopollatto, 2020).

Dentre as técnicas de conservação de forragem utilizadas, tem se a ensilagem. Segundo Paula *et al.* (2021), o processo de ensilagem possibilita a conservação do valor nutritivo, reduzindo consideravelmente as perdas, além de permitir o armazenamento e seu uso em momentos cruciais, a exemplo, no período em que ocorre a escassez de forragem. Essa técnica consiste em um processo de

confeção de um produto oriundo da fermentação anaeróbica de material volumoso em locais apropriados chamados de silos, objetivando a conservação da composição original dos nutrientes encontrados *in natura* na forragem, esse processo ocasiona em perdas inevitáveis, como processos bioquímicos e de fermentação, comprometendo a valor nutritivo e energético, porém, é possível controlar outros tipos de perdas quando a prática é realizada de forma adequada (Ramos *et al.*, 2016).

A escolha da espécie forrageira é um dos pontos que requer conhecimento, uma vez que ela influencia diretamente na silagem produzida. Para a região semiárida é necessário que as culturas tenham adaptabilidade às condições climáticas e resistência ao déficit hídrico. O milho é a cultura mais utilizada, porém existem outras opções que se adequam ao cenário em questão, como milheto, o sorgo forrageiro, gramíneas tropicais, o girassol forrageiro, leguminosas e palma forrageira (Pompeu *et al.*, 2014; Ramos *et al.*, 2016).

A partir de 1991, o milheto passou a ser utilizado como cobertura do solo em semeadura direta nas entressafras, principalmente para a produção de silagem ou ser usado como pastagem (Kollet, Diogo e Leite, 2006). As informações a respeito desta cultura na forma de silagem ainda são escassas em relação ao milho e sorgo, porém a sua utilização tem sido uma estratégia adotada no período de safrinha, resultando em ganhos positivos na produtividade (Guimarães *et al.*, 2009).

A silagem de milheto é uma alternativa alimentar para ruminantes e possui a vantagem de não apresentar fatores antinutricionais que possam impactar de forma negativa o desempenho animal, mesmo que não apresente um valor energético superior às culturas tradicionais usadas. Outra característica notável é o seu teor proteico é superior, o que a torna uma ótima opção de alimento volumoso para ser fornecido aos rebanhos (Resende, 2019).

Apesar de suas diferenças, da mesma forma que a silagem de capins, um fator limitante de sua produção é o teor de matéria seca para a produção de seu produto. A MS no momento de corte é um dos fatores que mais influenciam na qualidade da silagem, valores em torno ou acima de 40% de MS, prejudicam o processo de ensilagem no momento da compactação reduzindo a eliminação de ar o que favorece o crescimento dos microrganismos aeróbios e anaeróbios facultativos (Ohmomo *et al.*, 2002) reduzindo o valor nutricional final.

O teor de matéria seca adequado para a produção de silagem, deve estar dentro da faixa de 30% a no máximo de tolerância de 37% de MS, no momento da colheita, ou na linha de leite do grão que é entre 1/3 e 3/4, mantendo a qualidade da silagem, garantindo uma boa fermentação através da formação dos ácidos lácticos e orgânicos em quantidade ideal (Gomes, 2022).

O ponto de colheita do milho indicado para a produção de silagem é quando os seus grãos atingem um momento específico denominado pastoso-farináceo, no entanto os seus teores de MS se encontram abaixo do esperado com cerca de 20% a 23%, comprometendo a qualidade nutricional (Trevisoli *et al.*, 2017). O que pode ser contornado com a realização da pré-murcha ou pré-secagem, métodos que contribuem para o aumento do teor de MS do volumoso (Guimarães *et al.*, 2009).

Além disso, existem técnicas alternativas que possibilitam melhorar a produção da silagem. A utilização de *Azospirillum brasilense* como inoculante contribui na silagem, melhorando a produção da cultura (Peres *et al.*, 2020). As bactérias promotoras de crescimento favorecem de diversas formas, seja na fixação biológica de nitrogênio, como no desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento das plantas (Skonieski *et al.*, 2017; Morais *et al.*, 2017).

Uma outra alternativa é o uso do silício nas plantas, monocotiledôneas e dicotiledôneas, prejudicadas quanto ao seu crescimento e produtividade devido ao efeito do estresse oriundo da seca, em que o silício vai contribuir para um aumento de biomassa e produção de grãos de várias espécies em condições de estresse (Wang *et al.*, 2021), essas combinações contribuem beneficiando as plantas e consequentemente melhorando o valor nutricional do produto.

Segundo Guimarães *et al.* (2009), o fornecimento dessa forragem pode ser a todas as categorias de ruminantes, uma vez que além das já citadas, possui como vantagem a baixa competitividade alimentar, diferentemente do milho, o milho é uma cultura que não tem uma demanda alta quanto a alimentação de outros animais, tendo uma maior disponibilidade de alimentação para os ruminantes.

2.5 Silagem de ração total

Um único alimento não fornece todos os nutrientes necessários na quantidade e proporção que atendam às exigências nutricionais dos animais, devido a sua

variabilidade quanto à composição química, portanto se faz necessária a utilização de estratégias que se baseiam em uma mistura completa, objetivando maximizar a eficiência. A primeira vez que o termo ração total (Total Mixed Ration- TMR ou SRT) surgiu foi datado em 1971 por Owen, que utilizou para nomear uma ração composta por alimentos volumosos e concentrados misturados, fornecida como um único alimento com a finalidade de melhorar utilização digestiva e metabólica dos nutrientes (Pontes, 2023).

Ao realizar a mistura dos alimentos de forma correta, o produto permite aos animais um melhor aproveitamento dos nutrientes, uma vez que as proporções estão equilibradas entre volumoso e concentrado, ocorre a redução na variação de pH ruminal favorecendo uma boa digestão e utilização metabólica (Freitas, 2008). Também traz como vantagem a redução nos custos de energia e mão de obra relacionados a secagem e transporte diário dos produtos úmidos, além da redução da seletividade alimentar animal por componentes da ração e possibilidade de incorporar subprodutos desagradáveis ao paladar, devido a alteração que ocorre de odor durante o processo de fermentação da silagem (Barbosa, 2019).

Contudo, a SRT tem em sua composição alimentos de alta suscetibilidade à deterioração em ambientes aeróbicos, devido ao seu alto teor de nutrientes disponíveis, o que implica no tempo de realização de seu processamento que necessita ser feito próximo ao período de utilização do produto, exigindo misturas diárias, limitando o seu uso em propriedades que não dispõem de mão de obra e infraestrutura adequada para o seu preparo e fornecimento (Nishino *et al.*, 2004; Yuan *et al.*, 2015).

Por outro lado, tem se a silagem de ração total (SRT), um produto oriundo do processo de ensilagem, surgindo como uma alternativa para a substituição da RT. A SRT foi criada pela constante necessidade de buscar alternativas que reduzissem o custo de produção da RT e a disponibilidade de coprodutos na região utilizados na alimentação animal, ela pode ser armazenada em silos como tradicionalmente é feito com as silagens de volumosos, resultando em menos tempo de preparo e transporte a longas distâncias como pode ser visto em outros países (Kondo *et al.*, 2015). Silva (2024) destacou estudos a respeito da SRT quanto a sua estabilidade mesmo em regiões de climas quentes, após a abertura do silo, a SRT se mostrou estável.

Segundo Yuan *et al.* (2015), nos países asiáticos, a utilização de SRT tem se tornado comum nas propriedades. A junção de forragem, alimentos proteicos e energéticos, com a adição de minerais, vitaminas e outros aditivos de forma balanceada, são usadas para atender as exigências nutricionais dos animais de produção.

Quanto ao Brasil, ainda são necessárias mais pesquisas a seu respeito, todavia é notório o grande potencial que ela possui, principalmente relacionado a silagens úmidas (Gusmão *et al.*, 2018). A adoção desse método é vantajosa quando comparada a outros tipos de sistema de alimentação tradicional, de acordo com o já citado. Essa técnica quando aplicada a conservação de produtos com o teor de umidade elevados, promove um melhor aproveitamento, permitindo que forragens tropicais de alta produção no período de chuva sejam usadas no processamento, reduzindo o efeito negativo que seu acúmulo pode ter quanto ao manejo do pastejo (Barbosa, 2019; Brito, 2019).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar o perfil fermentativo e composição bromatológica das silagens de ração total à base de milho sob os efeitos da aplicação de diferentes doses de silício via fertilização e da inoculação de *Azospirillum brasilense*.

3.2 Específico

Avaliar o perfil fermentativo, quantificando os valores de pH, perdas por gases (PG) e efluentes (PE), capacidade tampão (CT) e a recuperação de nutrientes (RMS) das silagens de ração total.

Avaliar os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (CINZ), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e clima

O experimento foi realizado em área pertencente ao Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, Campus IV no Município de Chapadinha, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03o44'33" S de latitude, 43o21'21" W de longitude.

De acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013) a região apresenta clima predominante do tipo Aw (tropical úmido), com dois períodos de estações bem definidas, com as chuvas são concentradas entre os meses de janeiro a junho, e a seca de julho a dezembro, além disso, apresenta uma temperatura média anual de 26,9°C, com máxima média de 37°C e mínima de 22°C (INMET, 2018).

4.2 Período, delineamento e condução do experimento

Para o experimento a cultivar usada foi o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) BRS 1501). O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial 4x2 com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Foram utilizadas quatro doses de silício (Si) fornecidas via fertilização de 0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹ com e sem inoculação das semente com *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6, na proporção 50% de cada), distribuídos da seguinte forma: Si0 – silício dose zero; Si0Ab – silício dose zero + *Azospirillum brasilense*; Si4 – silício dose quatro; Si4Ab – silício dose quatro + *Azospirillum brasilense*; Si8 – silício dose oito; Si8Ab – silício dose oito + *Azospirillum brasilense*; Si12 – silício dose doze; Si12Ab – silício dose doze + *Azospirillum brasilense*.

Para a confecção das silagens foi adotado o delineamento DBC em esquema fatorial 4x2. Foram utilizadas quatro doses de silício (Si) fornecidas via fertilização: 0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹ com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6, na proporção 50% de cada). As silagens foram produzidas na forma de ração total (SRT).

Para o processo de ensilagem, o milheto foi cortado quando os grãos apresentaram aspecto pastoso-farináceo, 70 dias após o seu plantio, com aproximadamente 20 cm do solo, após o corte, o milheto foi processado em máquina picadeira estacionária e em seguida ensilado em silos experimentais confeccionados

em policloreto de vinila (PVC) com 96,8mm de diâmetro, 156,5mm de altura e 193,6mm, equipados com válvula Bunsen para permitir a saída dos gases. A picadeira foi ajustada de modo que fossem obtidas partículas com média de 2,0 cm. Posteriormente, a mistura dos ingredientes foi realizada manualmente. Nesse momento, amostras da mistura in natura foram coletadas para avaliação da composição química das dietas (Tabela 2).

A formulação das silagens SRT foi feita para atender as exigências de bovinos de corte com peso médio de 450 kg e foram compostas por 60% de volumoso e 40% de concentrado de acordo com o BR-corte 4.0 (2020) (Tabela 1). Os concentrados foram compostos por farelo de soja, milho moído, uréia, fosfato bicálcio e sal mineralizado.

Tabela 1. Proporção dos ingredientes usados para a formulação das SRT

Ingredientes (%)	Dietas
	SRT Bovino
Milheto	49,62
Milho triturado	43,89
Farelo de soja	1,72
Ureia	0,57
Sal mineral*	3,57
Fosfato Bicálcio	0,67

SRT: Silagem de ração completa. *Níveis de garantia (por kg do produto): Cálcio (mín) 79,00 g/kg; Cálcio (máx) 97,00 g/kg; Fósforo (mín) 65,00 g/kg; Enxofre (mín) 4.690,00 mg/kg; Sódio (mín) 145,00 g/kg; Cobalto (mín) 44,50 mg/kg; Cobre (mín) 1.200,00 mg/kg; Ferro (mín) 1.500,00 mg/kg; Iodo (mín) 60,00 mg/kg; Manganês (mín) 1.050,00 mg/kg; Selênio (mín) 10,00 mg/kg; Zinco (mín) 2.880,00 mg/kg; Flúor (máx) 650,00 mg/kg.

Tabela 2. Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas

Variáveis (%)	Milho	Soja	Milheto	SRT Bovino
Matéria seca	90,96	91,14	28,76	34,76
Cinzas	2,55	6,42	9,30	11,00
PB	10,66	38,77	8,28	12,00
FDN	20,98	14,78	56,41	46,94
FDA	1,60	8,71	32,53	23,49

SRT: Silagem de ração completa, PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido

Após a homogeneização dos ingredientes a mistura foi acondicionada nos silos experimentais com capacidade de 3,6L (altura:156,5mm e largura:193,6mm). Todos os silos experimentais foram adicionados 0,500kg de areia seca, protegida por um tecido de algodão, evitando que a forragem entrasse em contato com a areia e contaminação, permitindo assim o escoamento do efluente. O material foi compactado com soquetes de madeira, inserindo $\pm 3,5$ kg de forragem fresca por silo. Ao final do processo os silos foram fechados, lacrados com fita adesiva, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado.

4.3 Perfil fermentativo

Após 60 dias de fermentação foi realizada a abertura dos silos, em sequência eles foram pesados. O material resultante da fermentação (silagem) foi removido dos silos manualmente desprezando-se a parte superior, em seguida foi homogeneizado e feito a coleta de amostras para a realização das avaliações quanto ao perfil fermentativo e composição químico-bromatológica.

Para determinação do pH foram coletadas 25g de amostras das silagens, junto da amostra foram adicionados 100 ml de água destilada e após repouso de 1h foi efetuada a leitura do pH, a leitura foi realizada com o auxílio de um potenciômetro (Bolsen *et al.*, 1992).

Para a determinação da capacidade tampão (CT) foram coletadas aproximadamente 15g de amostra de silagem. A amostra foi posta em liquidificador industrial juntamente com 250 ml de água destilada e macerada. Em seguida, com ajuda de um potenciômetro, o material foi titulado primeiro até pH 3,0 com HCL 0,1 N para liberar os bicarbonatos como dióxido de carbono. Posteriormente foi feita a titulação até pH 6,0 com NaOH 0,1 N, nesse momento foi registrado o volume gasto de NaOH necessário para chegar pH 4,0 e 6,0 conforme descrito por (Playne e McDonald, 1966).

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram quantificadas por diferenças de peso conforme as equações descritas por Jobim *et al.* (2007). As equações são baseadas na pesagem

dos silos no fechamento e na abertura, em relação à massa de forragem armazenada.

$$\text{Perdas por gases: PG} = [(PSf - PSa)] / [(MFf \times MSf)] \times 100$$

Em que:

PG = perda de gases durante o armazenamento (% da MS inicial);

PSf = peso do silo na ensilagem;

PSa = peso do silo na abertura;

MFf = massa de forragem na ensilagem;

MSf = teor de MS da forragem na ensilagem;

$$\text{Perdas por Efluentes: PE} = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000$$

Em que:

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

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

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

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg);

A recuperação da matéria seca foi estimada através da equação abaixo:

$$\text{RMS} = (MFab \times MSab) / (MFfe \times MSfe) \times 100$$

Em que:

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

MFab= massa de forragem na abertura;

MSab= teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

4.4 Composição bromatológica

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) pertencente à UFMA/CCCh. Para isto foram coletadas amostras do material fresco antes da ensilagem e após o período de fermentação. As amostras foram submetidas à pré-secagem por 72 horas em estufa de ventilação forçada a 65°C, após a pré-secagem as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de malha 1mm. Seguiu-se para as análises bromatológicas.

Foram determinados os teores de matéria seca (MS), pelo método 934,01 (AOAC, 2016), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl 920,87 (AOAC, 2016), matéria mineral (MM) pelo método 930,05 (AOAC, 2016). Os teores de detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA) foram quantificados de acordo com Van Soest *et al.* (1991), com modificações de Senger *et al.* (2008) utilizando autoclave com temperatura de 110°C por 40 min.

A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) foi obtida conforme especificações descritas por Mertens (2002) e Licitra *et al.* (1996). A matéria orgânica (MO) foi determinada pela equação $MO = 100 - MM$. O teor de hemicelulose (HEM) foi obtido a partir da subtração do FDN pela FDA, a lignina foi calculada de acordo com Van Soest *et al.*, (1963).

4.5 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições DBC ($y_{ij} = \mu + T_i + B_{lj} + e_{ij}$). Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, quando o teste F foi significativo, as médias foram ajustadas ao modelo linear ou quadrático via análise de regressão.

Os dados da silagem foram submetidos à análise de variância e teste de média com auxílio do software estatístico (SAS, 2015), usando o procedimento de modelos mistos (PROC MIXED). Foram considerados como efeitos fixos os tratamentos e como efeitos aleatórios as repetições experimentais, com as médias dos tratamentos sendo estimadas pelo LSMEANS. Foi utilizado o seguinte modelo matemático para as variáveis em relação a silagem:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \alpha_k + \varepsilon_{ijk}$$

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijk}$$

onde:

Y_{ijt} representa a variável resposta;

μ é a média geral;

τ_i é o efeito fixo da dose de silício;

β_j é o efeito fixo da inoculação com *Azospirillum brasilense*;

$(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito de interação entre a dose de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense*;

B_k é o efeito aleatório das repetições; ($k = 5$ blocos).

ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Perfil fermentativo

O perfil fermentativo das silagens de ração total para bovinos de corte não apresentou efeitos de interação para as variáveis avaliadas ($P > 0,05$) pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca (Tabela 3). Foram observados efeitos isolados para a inoculação com *Azospirillum brasilense* e para as doses de silício ($P < 0,05$).

A capacidade tampão das silagens inoculadas com *Azospirillum brasilense* foram ligeiramente menores se comparado ao tratamento não inoculado ($P = 0,0081$), enquanto o pH exibiu valores maiores no tratamento controle ($\text{Si} 0 \text{ kg ha}^{-1}$), diminuindo gradativamente à medida que aumentou a dose de silício (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de pH, capacidade tampão (CT), perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS), em silagens de ração total para bovinos de corte com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Silagens de ração total para bovinos de corte					
Si	pH	CT	PG (%)	PE (kg/ton de MN)	RMS (%MS)
Sem <i>Azospirillum</i>					
0 ¹	4,80	0,069	13,63	11,58	90,30
4 ²	4,60	0,059	10,94	12,15	91,09
8 ³	4,40	0,054	8,26	13,90	92,33
12 ⁴	4,62	0,057	11,28	12,33	90,74
Com <i>Azospirillum</i>					
0	4,88	0,080	14,10	12,35	89,79
4	4,62	0,081	10,92	13,32	92,34
8	4,56	0,086	9,18	11,36	91,55
12	4,22	0,074	11,40	11,62	92,53
EPM	0,12	0,009	2,63	0,7613	1,6620
Efeito principal das doses de silício					
0	4,84 ^a	0,075	13,86	11,97	90,04
4	4,61 ^b	0,070	10,93	12,73	91,71
8	4,48 ^c	0,070	8,73	12,63	91,94
12	4,42 ^c	0,065	11,34	11,97	91,63
EPM	0,08	0,007	2,46	0,5383	1,5547
Efeito principal do <i>Azospirillum</i>					
SEM ⁵	4,57	0,080 ^a	11,03	12,49	91,12
COM ⁶	4,60	0,060 ^b	11,40	12,16	91,55
EPM	0,06	0,004	1,4584	0,4564	0,9213
P-Valor					
Dose de silício (Si)	0,028	0,839	0,475	0,715	0,7952
<i>Azospirillum</i> (AZ)	0,723	0,008	0,866	0,605	0,7520
Si × Az	0,183	0,753	0,998	0,140	0,8804

¹ Dose 0 de silício; ² Dose 4 de silício; ³ Dose 8 de silício; ⁴ Dose 12 de silício; ⁵ Sem a utilização de *Azospirillum*; ⁶ Com utilização de *Azospirillum*; Si - silício; EPM: erro padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Os dados mostraram que a capacidade tampão das silagens, teve efeito apenas para as inoculadas com *Azospirillum* ($P=0,0081$). Para Jobim *et al.* (2007), a CT é um indicativo sobre a resistência das silagens em relação às mudanças de pH. Quando comparado aos demais tratamentos, foi visto que capacidade tamponante das silagens inoculadas com *Azospirillum* foram ligeiramente menores, resultado contrário ao esperado. De acordo com McDonald *et al.*, (1991) os compostos nitrogenados, em especial as proteínas solúveis, estão associados ao aumento do poder tamponante das forragens.

Tendo em vista que, dentre as características do *Azospirillum* nas plantas, destaca-se a maior captação de N através de suas estruturas físicas, além de minerais e ácidos orgânicos (McDonald *et al.*, 1991; Playne e McDonald, 1966; Fukami *et al.*, 2018; Tilak e Rao, 1987). Além disso, houve uma maior elevação do pH, um percentual de 4,8, em relação aos demais tratamentos, que gradativamente foi diminuindo no decorrer do aumento das dosagens de Si variando os valores entre 4,6 a 4,4 (Tabela 3), indicando que os resultados possam ter recebido influências de fatores fisiológicos ou bioquímicos.

O *Azospirillum* pode metabolizar açúcares solúveis da planta (Rai *et al.*, 2025), diminuindo a disponibilidade de açúcares, influenciando em uma maior produção de ácido láctico e menos de outros ácidos orgânicos que ajudam na redução do pH e pela redução da CT. Um outro ponto que deve ser levado em consideração é o aproveitamento de N pela planta, diminuindo a quebra de proteínas, reduzindo a liberação de compostos que aumentam a CT, além do mais, em relação a elevação do Ph, pode ser associado a composição da dieta e às interações entre os ingredientes, uma vez que as SRT apresentam valores de pH elevados, o que pode ser justificado pelo maior teor de MS ocasionado pela utilização de concentrados em sua composição (Schmidt *et al.*, 2017).

Outro aspecto que deve ser observado quanto ao pH, é a aplicação de Si, que pode ter resultado em uma ação indireta quanto à diminuição do pH. Essa reação, pode ser explicada pela ação do silício na parede vegetal ajudando na conservação dos açúcares antes da ensilagem, com uma maior disponibilidade, a produção de ácido láctico aumenta influenciando na diminuição do pH. Em estudos de avaliação

da aplicação de silício sob condições de déficit hídrico no trigo em diferentes estádios fenológicos, Ning *et al.* (2023) constataram que plantas com Si possuem mais proteína solúvel e carboidratos solúveis em comparação a plantas sem aplicação de Si.

Além disso, por também reduzir a perda de água devido a resistência das células vegetais, a ação de microrganismos indesejáveis é baixa, o que contribui com um pH mais baixo e uma fermentação eficiente. Desse modo, a sua aplicação tem efeito positivo no processo fermentativo da silagem, por contribuir na disponibilidade dos principais substratos para a fermentação.

As taxas de recuperação de matéria seca, e de perdas por gases e efluentes encontrados não obtiveram efeito significativo ($P < 0,05$) que indicassem que os tratamentos os influenciaram. Todavia, em todos os tratamentos inoculados a RMS apresentou valores acima de 89%, e as PG e PE tiveram variação em seus valores, onde os valores de PG ficaram entre 8,26% e 14,10%, e os de PE variaram de 11,36% e 13,90%, evidenciando uma baixa em relação às perdas, indicando que os processos de produção e fermentação estavam adequados para promover silagens de boa qualidade (Pedroso *et al.*, 2000).

Os tratamentos obtiveram uma redução com a elevação da aplicação dos inoculantes, o que implica em dizer que o inoculante diminuiu as perdas e consequentemente aumentou a RMS, refletindo em um processo fermentativo favorável devido aos resultados estarem dentro do considerado adequado para uma boa conservação de forragem (Paziani, 2004).

5.2 Composição bromatológica

A composição bromatológica das silagens avaliadas não apresentou efeitos de interação entre a dose de Si x *Azospirillum* ($P > 0,05$) e nem efeitos isolados para a inoculação com *Azospirillum brasilense* ($P > 0,05$) nas variáveis analisadas (Tabela 4). Contudo, foi observado efeito isolado da dose de silício ($P < 0,05$) para o teor de FDA nas silagens de ração total para bovinos de corte, observando-se que a aplicação das doses 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício promoveram redução dos teores de FDA nas silagens (Tabela 4).

Tabela 4. Composição química de silagens ração total para bovinos de corte, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si (kg ha ⁻¹)	Silagens de ração total para bovinos de corte (g/kg)							
	MS	MO	CINZ	PB	FDNcp	FDA	LIG	HEM
Sem <i>Azospirillum</i>								
0 ¹	322,0	909,4	90,5	118,3	314,9	191,7	114,2	168,9
4 ²	319,6	908,3	91,6	121,3	385,7	198,2	106,6	196,7
8 ³	330,6	911,1	88,8	119,4	319,2	166,0	111,1	179,5
12 ⁴	325,0	905,0	94,1	117,8	300,1	174,5	115,1	162,2
Com <i>Azospirillum</i>								
0	320,6	907,7	92,2	117,3	358,8	192,6	106,4	183,5
4	317,1	903,7	96,2	117,3	344,2	232,1	108,5	185,0
8	335,2	908,8	91,1	120,1	265,7	174,9	106,3	144,6
12	330,3	908,7	91,2	125,6	311,1	177,0	109,9	132,0
EPM	0,9200	0,3913	0,3913	0,3536	3,0883	1,5270	0,2581	1,6061
Efeito principal da dose de silício								
0	326,3	908,5	91,4	117,8	336,8	192,1 ^{ab}	110,3	176,2
4	316,3	906,0	93,9	119,3	365,0	215,1 ^a	107,6	190,9
8	332,9	909,9	90,0	119,8	292,5	170,5 ^b	108,7	162,0
12	327,8	907,2	92,7	121,7	305,6	175,6 ^{ab}	112,5	147,1
EPM	0,6900	0,2935	0,2935	0,2652	1,5735	1,1453	0,1936	1,3114
Efeito principal de <i>Azospirillum</i>								
SEM ⁵	326,8	908,6	91,3	119,2	330,0	182,5	111,8	176,8
COM ⁶	325,9	907,2	92,7	120,1	320,0	194,2	107,8	161,3
EPM	0,5100	0,2017	0,217	0,1960	1,6378	0,7870	0,1330	0,9273
P-Valor								
Dose de silício (Si)	0,4449	0,7917	0,7917	0,7922	0,1735	0,0347	0,3091	0,1421
<i>Azospirillum</i> (Az)	0,8975	0,6298	0,6299	0,7586	0,6804	0,3232	0,0551	0,2435
Si × Az	0,8284	0,8253	0,8253	0,4643	0,4785	0,7054	0,3401	0,5291

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; CINZ: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDNcp: fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; HEM: hemicelulose; LIG: lignina; ¹ Dose 0 de silício; ² Dose 4 de silício; ³ Dose 8 de silício; ⁴ Dose 12 de silício; ⁵ Sem a utilização de Az; ⁶ Com utilização de Az; Si- silício; EPM: erro padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Os resultados obtidos apontam que as variáveis analisadas não apresentaram efeitos significativos ($P > 0,05$), contudo os teores de FDA das silagens de ração total para bovinos de corte (Tabela 4) tiveram efeito isolado quanto às doses 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício. Os valores encontrados podem ser justificados pelo Si ser um elemento com capacidade de influenciar na composição química das plantas,

principalmente quanto aos teores de fibra alterando a produção dos componentes constituintes da célula vegetal, que consequentemente afetará na digestibilidade das silagens (Basilio-apolinar *et al.*, 2021; Hassan *et al.*, 2021; Shrestha *et al.*, 2023). Embora justificado a variação nos teores de FDA, é provável ainda, que além da influência do silício, os nutrientes que compõem a SRT tenham contribuído com a alteração da fração fibrosa.

Com relação aos teores de FDNcp que está relacionado a fibra que de fato se encontra disponível para ser fermentada no rúmen, ou seja, o indicativo mais preciso relacionado a fibra que o animal pode aproveitar na dieta, se encontram abaixo de 60% em todos os seus valores correspondentes, o que de acordo com Costa, (2023) é visto como positivo, uma vez que os teores se encontram abaixo de 60% a taxa de passagem da fibra pelo trato digestivo é mais rápida, reduzindo problemas relacionados ao seu acúmulo que ocasiona o enchimento ruminal prejudicando o aproveitamento da MS (Kramer-schmid *et al.*, 2016; Van Soest, 1994).

Vale ressaltar também que os teores de MS e PB das SRT apresentaram valores dentro ou próximos dos recomendados para as dietas. O teor de MS é um dos fatores mais importantes no processo fermentativo da silagem, segundo especialistas, o teor ideal para as forrageiras se encontra dentro da faixa dos 30% a 35% de MS (Van Soest, 1994, McDonald *et al.*, 1991).

A PB é um dos componentes da dieta de maior custo, nas SRT os valores encontrados variaram de 11,94 a 12,84 g/kg na MS, isso demonstra que as SRT se encontram mais competitivas em relação aos concentrados tradicionais, milho e soja. Nesse contexto, a SRT se torna uma alternativa viável para manter o teor de PB, uma vez que além do seu alto custo, a deficiência da mesma pode acarretar a redução da digestibilidade da parede celular, afetando o consumo e o desempenho animal (Van Soest, 1994).

Além de todas já citadas, a CINZ e a MO também constituem a composição bromatológica, em relação ao material mineral, de acordo com McDonald *et al.*, (2011) a cinza bruta representa a parte inorgânica do alimento, no entanto o mesmo pode haver material orgânico em sua composição, como por exemplo proteína, ou algum material volátil na forma de sódio, cloreto e entre outros elementos, durante o processo de queima, portanto essa variável é um indicador indireto, pois depender do seu teor o mesmo pode indicar alta presença de minerais de forma não

verdadeiramente representativo em relação qualidade e quantidade presente no alimento.

No entanto, o alto teor de cinzas indica que há chances do material avaliado esteja contaminado pelo ambiente, seja devido ao manejo incorreto durante a colheita, armazenamento ou transporte, por contaminação do solo ou outro material que resulte em problemas para a qualidade da silagem (Hoffman *et al.*, 2005), os tratamentos apresentaram teores relativamente baixos, indicando a boa conservação da silagem.

Sendo assim, é perceptível que o milho combinado com silício e a inoculação de *Azospirillum brasiliense* apresentaram potencial para a produção de silagem, atendendo as exigências nutricionais dos ruminantes.

6 CONCLUSÃO

As silagens de ração total à base de milho, submetidas à aplicação de silício e inoculação com *Azospirillum brasilense*, apresentaram padrões fermentativos e bromatológicos adequados, demonstrando potencial como alternativa forrageira de qualidade. A dose de 8 kg ha⁻¹ de silício mostrou-se eficiente na melhoria das características da silagem.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDREOTTI, M. et al. Inoculação com *Azospirillum brasilense* no consórcio capim Paiguás e sorgo na safrinha: comportamento produtivo das culturas para silagem. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016.
- AOAC. In: LATIMER Jr., G. W. (ed.). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 20th ed. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists, 2016.
- BARBOSA, R. S. Silagem de Dieta Total na Alimentação de Ruminantes. 2019. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.
- BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E. et al. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, v. 75, n. 11, p. 3066–3083, 1992.
- BRITO, Vinícius Martins. Perfil fermentativo em silagem de ração total contendo capim-Mombaça. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2019.
- CHEN, W. et al. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, v. 142, p. 67–76, 2011.
- DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Annual Review of Phytopathology*, v. 55, p. 85–107, 2017. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080516-035312.
- DIAS-MARTINS, A. M. et al. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, v. 109, p. 175–186, jul. 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo. Brasília, DF: Embrapa, 2021.
- PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. H. Recentes avanços em forragicultura e pastagens na Embrapa Agrossilvipastoril. In: FARIAS NETO, A. L. de et al. (Ed.). *Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável*. Brasília, DF: Embrapa, pt. 6, cap. 8, p. 421–426, 2019.
- FREITAS, A. Sistema de alimentação UNIFEED: rações completas. *Notícias Limousine*, v. 17, p. 33–36, 2008.

FREW, A.; WESTON, L. A.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M. The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. *Annals of Botany*, v. 121, p. 1265–1273, 2018. DOI: 10.1093/aob/mcy009.

FUKAMI, J. et al. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, v. 6, p. 1–13, 2016.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, v. 8, n. 1, p. 73, 2018.

GAO, X. et al. Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 27, p. 1457–1470, 2005.

GOMES, Fredina Aline. Produção, armazenamento da silagem e estudo de caso no Assentamento Independência, Mossoró/RN. 2022.

GOREN, A. V. Produtividade e qualidade da forragem de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br) e de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*. Moench) cultivado no cerrado. 2013. 49 f. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GUIMARÃES JÚNIOR, R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S. et al. Matéria seca, proteína bruta, nitrogênio amoniacal e pH das silagens de três genótipos de milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] em diferentes períodos de fermentação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 2, p. 251-258, 2009.

GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 39, p. 1885–1903, 2008.

GUSMÃO, J. et al. Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. *Grass and Forage Science*, Chichester, v. 73, n. 3, p. 717–726, 2018.

HOFFMAN, P. C.; TAYSOM, D. Ash content of forages. University of Wisconsin–Madison, 2005.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, p.36 (Documentos / Embrapa Soja, n. 325), 2011

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Dados meteorológicos. Brasília, DF: INMET, 2018.

JACOVETTI, R. et al. Milheto como silagem comparado a gramíneas tradicionais: aspectos quantitativos, qualitativos e econômicos. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 19, p. 1–16, 2018.

KAYA, C.; TUNA, L.; HIGGS, D. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, v. 29, p. 1469–1480, 2006.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. Uso do Milheto como planta forrageira. Campo Grande-MS: Embrapa Gado de Corte, (Divulgação, n. 46), 2000.

KIM, W.; IIZUMI, T.; NISHIMORI, M. Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 58, p. 1233–1244, 2019.

KRÄMER-SCHMID, Monika; LUND, Peter; WEISBJERG, Martin Riis. Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, v. 219, p.68-76, 2016.

KLOPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, v. 7, p. 39–43, 1989.

KOLLET, J. L.; DIOGO, J. M. da S.; LEITE, G. G. Rendimento forrageiro e composição bromatológica de variedades de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 4, p. 1308–1315, 2006.

KONDO, M. et al. Changes in nutrient composition and in vitro ruminal fermentation of total mixed ration silage stored at different temperatures and periods. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 96, n. 4, p. 1175–1180, 2015.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, v. 57, n. 4, p. 347–358, 1996.

LUYCKX, M. et al. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 411, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00411.

MCDONALD P. et al. *Animal nutrition*. 7. ed. Harlow: Pearson Education, 2011.

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

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, v. 85, n. 6, p. 1217–1240, 2002.

MORAIS, G. P. et al. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 38, n. 3, p. 109–116, 2017.

NAMBIAR, V.; DHADUK, J. J.; SAREEN, N. ET AL. Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, n. Issue, p. 62-67, 2011.

NAKAO, A. H. et al. Intercropping *Urochloa brizantha* and sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* for silage. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 3, p. 501–511, 2018.

NISHINO, N. et al. Microbial counts, fermentation products, and aerobic stability of whole crop corn and a total mixed ration ensiled with and without inoculation of *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*. *Journal of Dairy Science*, v. 87, n. 8, p. 2563–2570, 2004.

OHMOMO, S. et al. Silage and microbial performance, old story but new problems. *JARQ*, v. 36, n. 32, p. 59–71, 2002.

PAZIANI, S. F.; Controle de perdas na ensilagem, desempenho e digestão de nutrientes em bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de capim tanzânia. 2004. 208 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PAULA, T. A. DE. Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas – revisão sistemática. *Arquivos do Mudi*, v. 25, n. 2, p. 127–154, 2021.

PEDROSO, A. F.; FREITAS, A. R.; SOUZA, G. B. Efeito de inoculante bacteriano sobre a qualidade da silagem e perda de matéria seca durante a ensilagem de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 48-52, 2000.

PERES, M. S. et al. Qualidade nutricional e bromatológica da silagem de milho inoculada com *Azospirillum* em cultivo solteiro e consorciado. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v. 11, p. 85974–85988, 2020.

POMPEU, R. C. F. F. et al. Produtividade e custos de produção de silagem para alimentação de ovinos a partir de sorgo, milho e girassol – safra 2013. *Circular Técnica*, n. 44. Sobral-CE: Embrapa, 2014.

PONTES, I. A. Silagens na forma de ração total a base de capim-elefante com adição de coprodutos da agroindústria. Areia: UFPB/CCA, 2023.

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.

RAI, S.; SINGH, V. S.; GUPTA, P.; TRIPATHI, A. K. Identification and functional characterization of a fructose-inducible phosphotransferase system in *Azospirillum brasilense* Sp7. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 91, n. 2, e00828-24, 2025.

RAMOS, J. P. F. et al. Ensiling of forage crops in semiarid regions. In: SILVA, T. C.; SANTOS, E. M. (ed.). *Advances in Silage Production and Utilization*. London: IntechOpen Limited, Cap. 4, p. 65–84, 2016.

RESENDE, Paulo Rhuan Pires de. Avaliação da silagem de milho como alternativa alimentar para ruminantes. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2019.

ROCHA, A. F. de S.; COSTA, R. R. G. F. Eficiência do *Azospirillum brasilense* em milho sob doses de adubação nitrogenada. Quirinópolis: Universidade Estadual de Goiás, 2016.

ROSTAGNO, H. S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.

SILVA, V. D. da. Valor nutritivo e perfil fermentativo de silagem de ração total para vacas em lactação. Ilha Solteira: [s.n.], 2024.

SILVA FILHO, W. S. da. Eficiência do *Azospirillum brasilense* associado à adubação nitrogenada sobre as características agrônômicas do milho e valor nutricional de sua silagem [manuscrito], 50 f., 2020.

SKONIESKI, F. R. et al. Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, n. 9, p. 722–730, 2017.

THORNE, S. J.; HARTLEY, S. E.; MAATHUIS, F. J. M. Is silicon a panacea for alleviating drought and salt stress in crops? *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 1221, 2020.

TILAK, K. V. B. R.; RAO, N. S. S. Association of *Azospirillum brasilense* with pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). *Biology and Fertility of Soils*, n. 4, p. 97–102, 1987.

TREVISOLI, F. C. A. et al. Composição bromatológica de silagens de cultivares de milho com inclusão de casca de soja. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 540–547, 2017.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca, NY: Cornell university press, 1994.

VAN SOEST, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the AOAC*, v. 46, n. 5, p. 829–835, 1963.

WANG, M. et al. Role of silicon on plant–pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 701, 2017.

WANG, M. et al. Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, v. 8, p. 254, 2021.

YUAN, X. et al. The effect of different additives on the fermentation quality, in vitro digestibility and aerobic stability of a total mixed ration silage. *Animal Feed Science and Technology*, v. 207, p. 41–50, 2015.

ZOPOLLATTO, M. Conservação de forragens. Curitiba: SENAR-PR, 108 p. ISBN 978-65-88733-10-3, 2020.