



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal  
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA  
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)  
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



**MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A  
FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO *Azospirillum  
brasilense* NA PRODUTIVIDADE E NO VALOR NUTRITIVO  
DO MILHETO NA FORMA DE SILAGEM NA ENTRESSAFRA  
AGRÍCOLA**

FRANCISCA CLAUDIA DA SILVA DE SOUSA

Chapadinha - MA

2023



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



FRANCISCA CLAUDIA DA SILVA DE SOUSA

**MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A  
FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO *Azospirillum  
brasilense* NA PRODUTIVIDADE E NO VALOR NUTRITIVO  
DO MILHETO NA FORMA DE SILAGEM NA ENTRESSAFRA  
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador(a): Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine

Coorientadores: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Daniele de Jesus Ferreira

Dr. Fleming Sena Campos

Chapadinha – MA

2023



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal  
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA  
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)  
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



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

de Sousa, Francisca Claudia da Silva.

Mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício e inoculação *Azospirillum brasilense* na produtividade e no valor nutritivo do milho na forma de silagem na entressafra agrícola / Francisca Claudia da Silva de Sousa. - 2023.

72 p.

Coorientador(a): Daniele de Jesus Ferreira.

Orientador(a): Anderson de Moura Zanine.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência Animal/ccch, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2023.

1. Déficit hídrico. 2. Fermentação. 3. *Pennisetum glaucum*. 4. Silicato de sódio. I. Ferreira, Daniele de Jesus. II. Zanine, Anderson de Moura. III. Título.



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal  
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA  
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)  
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



FRANCISCA CLAUDIA DA SILVA DE SOUSA

**MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO UTILIZANDO A  
FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO *Azospirillum  
brasiliense* NA PRODUTIVIDADE E NO VALOR NUTRITIVO  
DO MILHETO NA FORMA DE SILAGEM NA ENTRESSAFRA  
AGRÍCOLA**

Aprovada em \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniele de Jesus Ferreira (Coorientadora)

Universidade Federal do Maranhão

---

Dr. Fleming Sena Campos (Coorientador)

Universidade Federal do Maranhão

---

Dr. Dilier Oliveira Viciado

Universidad de O'Higgins-Chile

---

Dr. Rodolfo Lizcano Toledo

Universidad del Tolima-Colômbia



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



*“O ser humano é um conquistador insuperável,  
fadado às estrelas que lhe estão ao alcance, na  
medida em que se empenha por alcançá-las.”*

*Joanna de Ângelis*



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal  
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA  
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)  
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



Dedico este trabalho à minha família, em especial às  
minhas mães, Raimunda Cleide e Francisca Helena.



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal  
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA  
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: [ppgca@ufma.br](mailto:ppgca@ufma.br)  
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



### AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar o dom da vida. A Ele toda honra e toda glória!

Ao meu orientador Prof. Dr. Anderson Zanine, pela oportunidade e pela confiança no desenvolvimento desse trabalho. A você meu respeito e gratidão. Obrigada por tudo.

A professora Daniele Ferreira, pela primeira oportunidade de participar de um grupo de pesquisa, serei sempre grata.

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCCh), em especial ao Programa de Pós - Graduação em Ciência Animal (PPGCA) e a todos que o fazem, obrigada por colaborarem de forma significativa para minha formação.

A fundação de fomento CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio com bolsa de estudos durante o período do mestrado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento de projeto.

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória na UFMA/CCCh, obrigada pelos exemplos, incentivos e ensinamentos.

Aos doutores Francisco Naysson, Danillo Marte, Dillier Viciado, Flaming Sena e Hactus Souto, obrigada pelas experiencias trocadas e pelos momentos de descontração.

Ao meu avô, Adalberto Costa e ao meu pai José Alberto, em especial agradeço meu avô por fazer de tudo para que meus irmãos e eu tivéssemos acesso à educação.

Aos meus irmãos, Silvia, Cleidiana, Júnior e Nilson, obrigada por serem vocês, obrigada por fazerem parte da minha existência.

Aos meus filhos, Lorenzo Lemos, Letizia Lemos e Lorena Lemos, obrigada por compreenderem todos os momentos em que eu deixei de estar com vocês, obrigada por serem a minha luz.

Ao meu companheiro, amigo e meu amor Francinaldo Silva, obrigada pela paciência, compreensão, tolerância e pelo suporte nos momentos mais difíceis.

Aos amigos de laboratório e saidinhas, em especial, Renata Costa, Mayara Santos, Clotilde Morais e Carlos Rodolfo, obrigada por fazerem-me sorrir (mesmo querendo chorar ou matá-los, rrsrs), acreditar e apoiar durante esses mais de dois anos. Vocês foram fundamentais para a realização deste projeto.

Aos bolsistas PIBIC, Júlia Bianca, George Lima, Diego Henrique, Wilame Júnior, João Victor e Victória Maria e aos estagiários Leandro Costa e Gisele Thamires obrigada por toda ajuda durante o experimento em campo e realização das análises laboratoriais.

A professora Mariléia Furtado, por ceder seus instrumentos de trabalho para que pudéssemos realizar atividades em campo e laboratório.

A professora Izumy Doihara, por ceder o Laboratório de Microbiologia para que pudéssemos realizar as contagens das populações microbianas.

Ao grupo FOPAMA, obrigada pelos empréstimos (cadinhos, tubos digestores, suportes).

Ao grupo LANUMA, obrigada pelo suporte com materiais e equipamentos.

Aos funcionários responsáveis pela limpeza e segurança, obrigada pelo suporte durante o período de análises, principalmente nas vezes em que precisamos entrar pela noite.

**Gratidão!**



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 GERAL</b> .....	18
<b>2.2 ESPECÍFICOS</b> .....	18
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1 MILHETO .....	18
3.2 SILÍCIO .....	20
3.3 AZOSPIRILLUM BRASILENSE .....	21
3.4 SILAGEM DE MILHETO .....	22
3.5 SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL .....	23
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	24
4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	25
4.3 PLANTIO E ADUBAÇÃO .....	26
4.4 APLICAÇÃO DO SILÍCIO E IRRIGAÇÃO .....	28
4.5 TRATOS CULTURAIS .....	28
4.6 AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E GRÃOS .....	28
4.6 ENSILAGEM .....	31
4.7 QUALIDADE FERMENTATIVA .....	32
4.8 PERDAS E RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA SECA .....	33
4.9 MICROBIOLOGIA .....	34
4.10 ANÁLISES QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS .....	35
4.11 ESTATÍSTICA .....	36
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS .....	37
5.2 QUALIDADE FERMENTATIVA .....	41
5.3 MICROBIOLOGIA .....	44
5.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA .....	48
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS .....	51
6.2 SANIDADE DE FOLHAS E COLMOS .....	54
6.3 QUALIDADE FERMENTATIVA E MICROBIOLOGIA DAS SILAGENS .....	54
6.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA .....	57
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AC = Acúmulo de água (Kg ha<sup>-1</sup>)

ALFB = Altura da planta até a folha bandeira

AP = Altura da planta

BAL = Bactérias ácido lácticas

BDA = Batata dextrose ágar

BOD = Biochemical oxiger demand

BPCP = Bactérias promotoras de crescimento em plantas

BV = Biomassa verde

cm = Centímetro

CP = Comprimento de panícula

CT = Capacidade tampão

DBC = Delineamento em blocos casualizados

DC = Diâmetro de colmo

DP = Diâmetro de panícula

EPM = Erro padrão da média

EUA = Eficiência do uso de água (kg /MS/ mm/ ha)

FDA = Fibra em detergente ácido

FDN = Fibra em detergente neutro

g = Grama

h = Hora

HEM = Hemicelulose

Kg = Kilograma

LIG = Lignina

ML = Mofos e leveduras

MM = Matéria mineral

mm = Milímetro

MO = Matéria orgânica

MS = Matéria seca

MSC = Matéria seca de colmo

MSFV = Matéria seca de folhas vivas

MSP = Matéria seca de panícula

MSPI = Matéria seca de planta inteira.

NDT = Nutrientes digestíveis totais

NFV = Número de folhas vivas

NG = Número de grãos

NPR = Número de perfilhos reprodutivos

NPT = Número de perfilhos totais

NPV = Número de perfilhos vegetativos

PB = proteína bruta

PCOL = produção de colmo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PC = Peso de colmo

PE = Perdas por efluentes

PF = Produção de folhas ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PG = Perdas por gases

PGR = Peso dos grãos

pH = Potencial hidrogênio-iônico

PMS = Produção de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PMSC – Produção de matéria seca de colmo ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )

PMSF = Produção de matéria seca da folha ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PMSP = Produção de matéria seca de panícula ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )

PMV = Produção de matéria verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PP = Peso da panícula

PPH = Produção de panícula ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

PPI = Peso da planta inteira

PRNT = Poder relativo de neutralização

RFC = Relação folha colmo

RMS = Recuperação de matéria seca

Si = Silício

SRT = Silagem de ração total

UFC = Unidade formadora de colônia

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características químicas da análise de solo.....	26
<b>Tabela 2.</b> Proporção dos ingredientes usados para a formulação das SRT .....	32
<b>Tabela 3.</b> Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas .....	32
<b>Tabela 4.</b> Avaliação das características produtivas do milho com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> .....	37
<b>Tabela 5.</b> Efeito da interação entre os níveis de silício e a inclusão da bactéria <i>Azospirillum</i> sobre a matéria seca das folhas, matéria seca da panícula, constituinte folha, constituinte colmo e relação folha:colmo. ....	39
<b>Tabela 6.</b> Avaliação das características morfológicas do milho com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> . ....	40
<b>Tabela 7.</b> Efeito da interação entre os níveis de silício e a inclusão da bactéria <i>Azospirillum</i> sobre o número de perfilhos vegetativos, altura de planta até a folha bandeira e diâmetro de colmo. ....	40
<b>Tabela 8.</b> Sanidade de folhas e colmo. ....	41
<b>Tabela 9.</b> 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> . ....	42
<b>Tabela 10.</b> 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 cabras leiteiras com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> . ....	43
<b>Tabela 11.</b> Valores médios de pH, capacidade tampão (CT), perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS), em silagem de milho com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> .....	44
<b>Tabela 12.</b> Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para bovinos de corte, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> . ....	45
<b>Tabela 13.</b> Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para cabras leiteiras, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> . ....	46
<b>Tabela 14.</b> Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de milho, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> . ....	47
<b>Tabela 15.</b> 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> .....	49
<b>Tabela 16.</b> Composição química de silagens ração total para cabra leiteira, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> .....	50
<b>Tabela 17.</b> Composição química de silagens de milho, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de <i>Azospirillum</i> . ....	51

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Gráficos de temperatura (°C), umidade (%) e precipitação (mm) durante o período (meses) do experimento.....	25
<b>Figura 2.</b> Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos. ....	27
<b>Figura 3.</b> Distribuição das plantas na parcela e espaçamento. ....	27
<b>Figura 4.</b> Abertura de mini-silos contendo silagem de milho. ....	33
<b>Figura 5.</b> Processos para a quantificação da população microbiana nas silagens de milho. ....	35

## RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício e inoculação *Azospirillum brasilense* na produtividade e no valor nutritivo do milho na forma de silagem na entressafra agrícola. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial  $4 \times 2$  com cinco repetições, avaliando quatro doses de silício aplicadas via fertilização (0, 4, 8 e  $12 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em combinação com a inoculação ou não de *Azospirillum brasilense*. A cultivar utilizada foi o milho (*Pennisetum glaucum* (L.) BRS 1501). Avaliou-se o acúmulo de água (AC; kg/ha), altura da planta até a folha bandeira (ALFB), altura da planta (AP), comprimento de panícula (CP), diâmetro de colmo (DC), diâmetro de panícula (DP), eficiência do uso de água (EUA;  $\text{kg /MS/ mm/ ha}$ ), matéria seca de colmo (MSC), produção de matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de panícula (MSP), número de perfilhos reprodutivos (NPR), número de perfilhos vegetativos (NPV), produção de colmo (PCH; kg/ha), produção de matéria seca de colmo (PMSCOL), produção de matéria seca de folhas (PMSF; kg/ha), produção de grãos (PGHA), produção de matéria seca (PMS; kg/ha), Produção de matéria seca de colmo (PMSC; kg/ha), produção de matéria seca de folha (PMSF; kg/ha), produção de matéria seca de panícula (PMSP; kg/ha), produção de matéria verde (PMV; kg/ha), peso de panícula (PP), relação folha:colmo (RFC). Foram produzidas silagens de milho e silagens de ração total a base de milho para atender as exigências de bovinos de corte e cabras leiteiras. Após 120 dias os silos foram abertos e as silagens foram analisadas quanto a sua qualidade fermentativa, população microbiana, recuperação de matéria seca e composição química bromatológica das silagens. Para as características produtivas observou-se efeito de interação ( $P < 0,05$ ) Si x *Azospirillum* para as variáveis MSF, MSP, RFC, constituintes folha, colmo, NPV, APFB e DC. Foram observados efeitos isolados para a inoculação com *Azospirillum brasilense* ( $P < 0,05$ ) sobre a capacidade tampão de todas as silagens avaliadas. Para as silagens de ração total para bovinos de corte, as doses de Si apresentaram efeito isolado para o pH ( $P = 0,028$ ). As bactérias lácticas, mofo e leveduras apresentaram efeito de interação entre a inoculação com *Azospirillum brasilense* x doses de silício ( $P < 0,05$ ). As silagens produzidas com o material inoculado com *Azospirillum brasilense* apresentaram, de forma geral, maiores contagens de bactérias lácticas. A população de leveduras foi significativamente menor em ambas as silagens de ração total ( $P < 0,05$ ). A composição química das silagens apresentou efeitos isolados para a dose de silício ( $P < 0,05$ ) ocasionando diminuição dos teores de FDA com as maiores doses de Si ( $8$  e  $12 \text{ kg ha}^{-1}$ ) de inclusão nas silagens de ração total para bovinos de corte. A dose  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* quando associadas foram eficientes em melhorar as características produtivas e morfológicas do milho. A utilização de silagem de milho e ração total mostrou-se uma estratégia promissora e viável para alimentação de bovinos de corte e cabras leiteiras. Os resultados obtidos indicam padrões fermentativos, populações microbianas e composição químico-bromatológica adequadas mesmo com a utilização silício e *Azospirillum brasilense* na produção do milho, sugerindo assim, essa combinação nutricional em dietas de ração total para produção de carne bovina e de leite caprino.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico, Fermentação, *Pennisetum glaucum* (L.), Silicato de sódio.

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of mitigating water deficit using silicon fertilization and *Azospirillum brasilense* inoculation on the productivity and nutritional value of millet in the form of silage in the agricultural off-season. A randomized block design was used in a 4 × 2 factorial scheme with five replications, evaluating four doses of silicon applied via fertilization (0, 4, 8 and 12 kg ha<sup>-1</sup>) in combination with the inoculation or not of *Azospirillum brasilense*. The cultivar used was millet (*Pennisetum glaucum* (L.) BRS 1501). Regarding productivity and morphoagronomic characteristics, water accumulation (AC) (kg/ha), plant height to flag leaf (ALFB), height of plant (AP), panicle length (CP), stalk diameter (DC), panicle diameter (DP), water use efficiency (WE) (kg /DM/ mm/ ha), stalk dry matter (MSC), leaf dry matter production (MSF), panicle dry matter (MSP), number of reproductive tillers (NPR), number of vegetative tillers (NPV), stalk production (PCH) (kg/ha), production stalk dry matter production (PMSCOL), leaf dry matter production (PMSF) (kg/ha), grain production (PGHA), dry matter production (PMS) (kg/ha), stalk dry matter production (PMSC) (kg/ha), leaf dry matter production (PMSF) (kg/ha), panicle dry matter production (PMSP) (kg/ha), green matter production (PMV) (kg/ha), panicle weight (PP), leaf:stalk ratio (RFC). Millet silages and millet-based total feed silages were produced to meet the requirements of beef cattle and dairy goats. After 120 days, the silos were opened and the silages were analyzed for their fermentative quality, microbial population, dry matter recovery and bromatological chemical composition of the silages. For the productive characteristics, interaction effects (P<0.05) Si × *Azospirillum* were observed for the variables MSF, MSP, RFC, leaf, stem, NPV, APFB and DC constituents. Isolated effects were observed for inoculation with *Azospirillum brasilense* (P<0.05) on the buffer capacity of all silages evaluated. For total feed silages for beef cattle, Si doses (0, 4, 8 3 12 kg ha<sup>-1</sup>) showed an isolated effect on pH (P<0.05). Microbial populations, including lactic acid bacteria, molds and yeasts, showed interaction effects between inoculation with *Azospirillum brasilense* × silicon doses (P<0.05). Silages produced with material inoculated with *Azospirillum brasilense* showed, in general, higher counts of lactic acid bacteria. The yeast population was significantly lower in both total feed silages (P<0.05). The chemical composition of the silages showed isolated effects for the dose of silicon (P<0.05), causing a decrease in ADF levels with the highest doses of Si (8 and 12kg ha<sup>-1</sup>) included in the silages of total feed for cattle. The 12kg ha<sup>-1</sup> dose of silicon and inoculation with *Azospirillum brasilense* when combined were efficient in improving the productive and morphological characteristics of millet. The use of millet silage and total feed proved to be a promising and viable strategy for feeding beef cattle and dairy goats. The results obtained indicate adequate fermentation patterns, microbial populations and chemical-bromatological composition even with the use of silicon and *Azospirillum brasilense* in millet production, thus suggesting this nutritional combination in total feed diets for the production of beef and goat milk.

**Keywords:** Water deficit, Fermentation, *Pennisetum glaucum* (L.), Sodium silicate.



## INTRODUÇÃO

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma gramínea tropical anual utilizada principalmente para produção de grãos e forragem (HASSAN et al., 2021). A planta tem ciclo vegetativo de aproximadamente 60 a 90 dias nos cultivares precoce e de 100 a 150 dias nos cultivares tardios. As condições de temperatura variam de 25 a 35 °C para seu desenvolvimento ideal e torna-se susceptível a temperaturas abaixo de 10°C (GOMES et al., 2008). O milheto é conhecido pela sua tolerância ao déficit hídrico, responsividade ao nitrogênio e resistência a patógenos, sendo uma cultura tradicionalmente usada em regiões áridas e semiáridas sem que se adote a prática da adubação (SATYAVATHI et al., 2021; SHRESTHA et al., 2023).

Entre as diversas qualidades para o crescimento do cultivo dessa forrageira estão: adaptação a solos de baixa e média fertilidade; sistema radicular vigoroso e abundante; e produção de biomassa verde que chega até 70 t ha<sup>-1</sup> (PEREIRA FILHO et al., 2003; QUEIROZ et al., 2012). Ainda que a cultura apresente boa tolerância ao déficit hídrico é importante que as plantas recebam uma quantidade mínima de água para seu desenvolvimento e, se não houver restrições, o crescimento será mais acelerado (CROOKSTON et al., 2020; SHRESTHA et al., 2023). Quando comparado às culturas de milho e sorgo, o milheto mostra-se mais eficiente no uso de água, necessitando de 300 a 400g de água para produzir 1g de matéria seca (GUIMARÃES JR, et al., 2006).

Portanto, umas das vantagens no cultivo do milheto está diretamente relacionada ao uso racional da água, pois em função do regime sazonal de chuvas, em grande parte do País as gramíneas forrageiras apresentam cerca de 80% da sua produtividade durante seis meses do ano, o que caracteriza uma safra e uma entressafra na produção pecuária baseada em pastagens, causando reflexos econômicos negativos na exploração da atividade. Em função disso, em pelo menos metade do ano a produção animal em pastagens tropicais enfrenta limitações, devido à baixa disponibilidade de forragem e ao seu baixo valor nutritivo (SILVA et al., 2010). Assim, para que o milheto apresente bons índices produtivos em períodos críticos do ano é possível adotar a aplicação de fertilizantes nitrogenados para aumentar a produção, porém, apesar de se obter um retorno direto, os custos para aquisição têm aumentado de maneira significativa nos últimos anos (PINHO et al., 2014).

Desse modo, a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, baratas e eficientes tem impulsionado a exploração de alternativas que otimizem a produção de forragens utilizadas na alimentação animal. Nesse contexto, o uso de microrganismos promotores de crescimento

vegetal, como o *Azospirillum brasilense*, surge como estratégia promissora para maximizar o rendimento de culturas forrageiras (AGUIRRE et al., 2020). Este elemento trata-se de uma bactéria fixadora de nitrogênio atmosférico, conhecida por sua capacidade de promover o crescimento de plantas por meio da liberação de substâncias reguladoras de crescimento e de promover o aumento da absorção de nutrientes pelos vegetais, principalmente nitrogênio e fósforo (BASHAN; DE-BASHAN, 2010; FUKAMI et al., 2018).

A presença do *Azospirillum brasilense* no sistema radicular das plantas pode resultar em maior desenvolvimento das culturas forrageiras, contribuindo para o aumento da produtividade e diminuindo a necessidade de fertilizantes sintéticos nitrogenados (LEITE et al., 2019; MODESTO et al., 2021). A investigação desses aspectos permitirá compreender o potencial dessas práticas no manejo de culturas forrageiras visando à obtenção de silagens de qualidade, que atendam às necessidades nutricionais dos animais, contribuindo para a produção sustentável e eficiente na pecuária.

Paralelamente, o silício (Si) tem sido reconhecido como um elemento benéfico para o crescimento das plantas, mesmo não sendo um micronutriente (BISHNOI et al., 2023). Dentre as funções exercidas pelo silício pode-se citar o aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos como pragas e doenças (NING et al., 2023; JADHAO; ROUT, 2020), produção de compostos antioxidantes (BASILIO-APOLINAR et al., 2021), aumento das taxas fotossintéticas e da eficiência de uso da água (BUKHARI et al., 2021; WASAYA et al., 2022).

Além disso, estudos indicam que o Si pode influenciar a composição química das plantas, afetando a síntese da fração fibrosa e de compostos como lignina, que por sua vez, podem impactar a digestibilidade das forragens (AHMED et al., 2011). Com isso, a qualidade do material destinado à alimentação animal na forma de silagem pode ser afetada em função da dose de aplicação deste elemento, nesse sentido, faz-se necessária a busca por respostas e ou elementos que possam amenizar/anular os efeitos negativos que possam surgir com o uso de Si.

A combinação do uso de *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de silício pode representar uma estratégia sinérgica para otimizar o desenvolvimento das culturas forrageiras, atuando sobre as características produtivas e qualitativas das plantas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da fertilização com diferentes doses de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* na produtividade e valor nutritivo do milho na entressafra agrícola.

## OBJETIVOS

### 2.1 *Geral*

Avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de silício via fertilização e da inoculação com cepas de *Azospirillum brasilense* sobre os parâmetros agronômicos, produtivos e qualidade das silagens de milheto e em silagens de ração total à base de milheto formuladas para bovinos de corte e cabras leiteiras.

### 2.2 *Específicos*

Avaliar os efeitos de diferentes doses de Si via fertilização e da inoculação ou não com *A. brasiliense* sobre:

As características morfogênicas e estruturais, a dinâmica de crescimento, a produção e quantificação de biomassa aérea, o índice de colheita de grãos e a eficiência agrônômica do milheto;

Qualidade fermentativa, população microbiana e composição químico-bromatológica das silagens.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 *Milheto*

O *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br., conhecido por milheto comum ou milheto pérola, é uma planta forrageira pertencente à família Poaceae, ao grupo Paniceae e à subfamília Panicoideae. O milheto comum, assim como as mais de 140 espécies do gênero *Pennisetum* (Brunken, 1977), é proveniente originalmente do continente africano. A domesticação do milheto comum se deu provavelmente a partir da África ocidental (Oumar et al., 2008), há mais de 4.500 anos atrás (CLOTAULT et al., 2011).

Hoje, essa espécie se encontra amplamente distribuída nas regiões ao sul do Sahara, no Sahel semiárido, indo desde o Senegal até a Etiópia, sendo a principal cultura alimentar na África subsaariana assim como no noroeste indiano (NITHIYANANTHAM et al., 2019). O milheto também é amplamente cultivado fora do velho continente, em regiões não tradicionais como, por exemplo, no Brasil (DIAS-MARTINS et al., 2018). No geral, o milheto comum está bem adaptado nas latitudes entre 33,00°S e 36,91°N (UPADHYAYA et al., 2017).

O milheto comum, devido a sua enorme variabilidade fenotípica adquirida desde a sua domesticação (Stich et al., 2010; Manga, 2015), possui enormes vantagens em relação aos outros plantios de importância econômica, como o milho e o arroz. Características de sua

fisiologia, como resistência ao estresse hídrico, a solos de baixa fertilidade, alta salinidade e tolerância às altas temperaturas (De Assis et al., 2018; Shrestha et al., 2023), tornam o milheto comum uma alternativa promissora diante de novos cenários globais oriundos das mudanças climáticas que englobam a elevação de temperatura e o déficit hídrico (ULLAH et al., 2017).

Além de suas características fisiológicas, o milheto comum é dotado de qualidade nutricional (Rani et al., 2017; Hassan et al., 2021; Punia et al., 2021), sendo utilizado na alimentação humana e animal, principalmente em países africanos e asiáticos. O milheto é rico em energia, carboidratos, proteínas e micronutrientes como vitaminas e minerais (Nambiar et al., 2011; Dias-Martins et al., 2018). Além disso, o milheto possui também aspectos nutricionais relevantes (Dias-Martins et al., 2018) como o baixo índice glicêmico, importante para o controle do peso em certas enfermidades como a diabetes (PEI et al., 2022).

No Brasil, desde a sua introdução no país em 1929, o milheto está bem estabelecido e é profusamente utilizado nas práticas de forrageio, cobertura vegetal e no sistema de produção de grãos (DE ASSIS et al., 2018). O uso dos grãos de milheto na alimentação animal está ganhando espaço, como boa fonte de nutrientes para, por exemplo, aves e ruminantes (Hassan et al., 2021), mas a mais importante dessas práticas é a cobertura vegetal, principalmente nas áreas de cerrado e nas épocas mais secas do ano, em que a carga nutricional do solo é baixa e as condições edáficas são limitantes, sendo o milheto uma das poucas plantas que possuem os pré-requisitos necessários para uma boa proteção do solo e auxílio no cultivo de outras culturas, como a soja e o milho (DE ASSIS et al., 2018; DIAS-MARTINS et al., 2018).

A produtividade do milheto pode variar de 20 a 70 t/ha de massa verde e de 5 a 17,5 t/ha de massa seca a depender da época de semeadura, densidade, manejo utilizado e das condições do solo. De forma estratégica, a silagem de milheto tem sido usada como alternativa às tradicionais silagens de milho e sorgo no período de safrinha e tem apresentado bons ganhos em produtividade (GUIMARÃES et al., 2009).

Atualmente, o bioma Cerrado é o que tem o maior potencial de crescimento da área cultivada com milheto, pois a cultura apresenta grande diversidade de uso, o seu uso pode ser aplicado à Integração Lavoura-Pecuária, formação de cobertura morta e na implantação do Sistema Plantio Direto. No Sul do país, o milheto é semeado com a finalidade de produzir forragem e grãos, é sobretudo, útil para tornar mínimo o vazio forrageiro entre o verão e inverno (FONTANELLI et al., 2021)

Como planta forrageira, o milheto possui qualidade particulares, tendo alta concentração proteica e boa digestibilidade para o gado bovino e caprino. Porém, a produção de forragem de milheto depende de certas características ambientais para a obtenção de bons resultados.

### 3.2 *Silício*

O silício é o segundo elemento mais frequente na crosta terrestre (28%), depois do oxigênio (46%). É encontrado em uma diversidade de minerais e compostos químicos, geralmente formando complexos com o oxigênio (dióxido de silício –  $\text{SiO}_2$ ) (RIZWAN et al., 2015). No solo, o silício é encontrado sob a forma solúvel, na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), ácido polisilícico ou agregados de ácido monossilícico com compostos inorgânicos (fase líquida), forma precipitada (associado aos óxidos de alumínio e de ferro) e como material silicatado.

Na forma sólida, o silício compreende diferentes formas amorfas (não cristalina). No solo, em solução, a sílica se apresenta como monômeros (ácido monossilícico) e como uniões crescentes de unidades monoméricas, formando dímeros, trímeros, tetrâmeros (oligômeros) e polímeros, todos esses agregados constituindo os ácidos polisilícicos. As diferentes formas de polímeros tendem a formar géis e precipitados (CORNELIS et al., 2011; ROMERO et al., 2011; SCHALLER et al., 2021).

A qualidade do solo é um fator importante para as concentrações e biodisponibilidade de silício, importante para a absorção desse mineral pelas plantas (PONTIGO et al., 2015). Solos com maiores valores de pH tendem a disponibilizar silício para as plantas (PONTIGO et al., 2015). Os solos mais cultivados intensiva e continuamente apresentam concentrações mais baixas de silício (MEUNIER et al., 2008). Os solos com menor capacidade de retenção hídrica, mais intemperizados e com maior teor de matéria orgânica possuem menor concentração de silício (SAVANT et al., 1997). O silício no solo provém inúmeros benefícios às plantas, pois podem, por exemplo, aumentar a disponibilidade de certos nutrientes e reduzir os efeitos de estresse salino e da toxicidade (ferro, manganês) (ROMERO et al., 2011; PONTIGO et al., 2015).

O uso do silício pelas plantas superiores é extremamente benéfico, embora não o seja de forma essencial (GUNTZER et al., 2012). Muitas culturas, como o arroz, adquirem uma enorme variedade de doenças caso o suprimento de silício seja deficiente. Outras apresentam crescimento, desenvolvimento e reprodução anormais e estrutura mais fragilizada. Os teores de silício nas plantas auxiliam, por exemplo, no crescimento e desenvolvimento vegetal através do

aumento da estrutura tecidual, resistência à estresse abiótico, ao ataque de pragas, às doenças e à toxicidade pelo alumínio e manganês.

A quantidade de silício que é absorvida é dependente da espécie, variando entre 0,1 e 10% do peso seco, sendo maior em plantas acumuladoras, onde os teores de silício são maiores que 1% (ROMERO et al., 2011; GUNTZER et al., 2012). Destas, as espécies da família Poaceae são as que acumula mais silício, como as gramíneas (CORNELIS et al., 2011; ROMERO et al., 2011).

### 3.3 *Azospirillum brasilense*

*Azospirillum* é uma bactéria do gênero gram-negativo considerada uma das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) é a mais estudada desde sua descoberta por Martinus Beijerinck em 1925, enquanto o mais comercializado é o *Azospirillum brasilense* (Fukami et al., 2018). As BPCP constituem um grupo de bactérias capazes de oferecer benefícios às plantas, pois possuem capacidade de colonizar as raízes e tecidos das plantas (KLOEPPER et al., 1989). Segundo Huergo et al., (2008), as bactérias promotoras de crescimento estimulam as plantas de várias formas, um exemplo é a fixação biológica de nitrogênio.

O gênero *Azospirillum* pertence a um grupo de bactérias promotoras de crescimento que podem ser encontradas em quase todo o planeta, são bactérias que podem colonizar tanto as raízes das plantas como a rizosfera (HUERGO et al., 2008). Relatos literários confirmam que a bactéria *Azospirillum* produz fitormônios responsáveis pelo crescimento das raízes de várias espécies de plantas, impactando positivamente a produtividade (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2018). De acordo com Tien et al., (1979) o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e as citocininas são os elementos liberados por *Azospirillum brasilense* e estes são responsáveis pelo estímulo do crescimento das raízes.

A inoculação com *Azospirillum*, por aumentar o desenvolvimento das raízes também pode desencadear outros efeitos. Bashan et al., (2014) relataram aumento na absorção de água e minerais, melhora nos índices de tolerância a salinidade e seca, observou-se uma planta mais forte e produtiva. É possível que tais resultados tenham sido por conta da melhor nutrição das plantas, em virtude do alto crescimento radicular, também foi observado elevada resistência a patógenos (CORREA et al., (2008). Melhoria na condutância estomática, teor de clorofila,

potencial hídrico e maiores índices de elasticidade da parede celular, produção de biomassa e no crescimento foram parâmetros observados por (BARASSI et al., 2008).

No Brasil é destaque o uso da fixação biológica de N (FBN), sobretudo em lavouras de leguminosas, onde a inoculação das sementes com bactérias do gênero *Rhizobium* é capaz de prover inteiramente a demanda de N (HUNGRIA et al., 2016). Nas gramíneas também há grande potencial para diminuir a deposição Nr e Nfertilizante nos ecossistemas produtivos por meio da fixação biológica de N, através do uso de bactérias do gênero *Azospirillum*, pois essas bactérias possuem a capacidade de fixar N e estimular de forma positiva a produção, provendo as necessidades de N de plantas não-leguminosas (HUNGRIA et al., 2016).

Além de fixar N, as bactérias do gênero *Azospirillum* influenciam em outros mecanismos como a produção e liberação de fitormônios, liberação de aminoácidos, biossíntese, citocinas, giberelinas e poliamidas, que favorecem o crescimento das raízes e como consequência há maior absorção de água e nutrientes (BASHAN e DE-BASHAN, 2010).

Portanto, a utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal que aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e o fornecimento de nitrogênio por meio da fixação biológica é uma estratégia economicamente viável, além dos benefícios ambientais relacionados à redução do uso de fertilizantes.

### 3.4 *Silagem de milho*

O milho (*Pennisetum glaucum*) é uma opção para conservação de forragens na forma de silagem, principalmente em regiões ou períodos com baixos índices pluviométricos (CARVALHO et al., 2018; JACOVETTI et al., 2018; GUIMARAES JÚNIOR et al., 2010).

Um fator limitante e que pode prejudicar a produção de silagem de milho é a matéria seca, pois os teores são considerados baixos, assim como é constatado em outras gramíneas tropicais, como é o caso dos capins. A colheita do milho para produção de silagem é indicada quando seus grãos se encontram em estágio pastoso-farináceo, todavia, nesse período a planta oferece baixos teores de matéria seca (20% e 23%), nesse caso a qualidade nutricional do material fica comprometida (SILVA, 2013; TREVISOLI et al., 2017).

Existem, portanto técnicas que possibilitem melhorar a qualidade das silagens de milho, a exemplo das silagens mistas ou as SRT's, que permitem que o milho seja ensilado juntamente com outras plantas, subprodutos, coprodutos e outros. Pinho et al., (2013), ao avaliarem diferentes genótipos de milho constataram que a composição química das silagens

apresentou boa qualidade, no mesmo sentido, Brunette et al., (2014) ao avaliarem silagens usando milho em substituição à soja chegaram à conclusão de que o uso do farelo de soja foi 55% menor quando comparadas às silagens com milho, dado aos valores proteicos que foram 36% maiores em silagens contendo milho.

A silagem de milho é bastante consumida por ruminantes, pois não apresenta fatores antinutricionais que possam prejudicar o desempenho do animal. Apesar de apresentar teores energéticos inferiores às silagens de milho e sorgo, a silagem de milho apresenta teor proteico que pode chegar a 12%, o que é considerado um diferencial, logo, o milho pode ser indicado como uma opção de volumoso para alimentação de ruminantes produtores de leite, carne e lã (GUIMARÃES JUNIOR, 2003). Com base nos resultados obtidos em suas pesquisas os autores Pinho et al., (2013) e Brunette et al., (2014) afirmaram que a silagem de milho é uma opção para a suplementação forrageira, sobretudo em períodos de estacionalidade climática.

### ***3.5 Silagem de ração total***

Baseada na fermentação anaeróbica, a conservação da forragem por meio da silagem envolve um processo único, em que os carboidratos solúveis são convertidos em ácidos orgânicos, sobretudo o ácido lático produzido pelas bactérias ácido lácticas que irão viabilizar a redução do pH, promovendo a conservação do material em meio úmido (SANTOS e ZANINE, 2006). Portanto, o objetivo no processo de ensilagem é manter a forragem conservada, de forma que as perdas sejam reduzidas e que o produto seja semelhante ao material de origem (KUNG JUNIOR et al., 2018).

A silagem de ração total (SRT), por apresentar grande versatilidade, permite uma série de combinações, pois além do uso dos volumosos, a mistura pode ser composta por concentrados, subprodutos, minerais, vitaminas e aditivos, todos acrescidos de forma balanceada. Desta forma, atendendo as exigências nutricionais dos animais, além disso, as SRT's também conferem ao produtor diminuição nos custos com misturas diárias para preparação de rações, (YUAN et al., 2015; SCHINGOETHE, 2017). As silagens de ração total proporcionam amplo potencial de uso, pois apontam a possibilidade de variadas combinações de formulação, permitindo atender diferentes categorias animais e incluir variados ingredientes na dieta (WEINBERG et al., 2011).

A prática de ensilagem na forma de ração total não é recente (NISHIRO et al., 2003). Países orientais como Japão e China (Wang e Nishino, 2008<sup>a</sup>; Hu et al., 2015), fazem uso da



silagem de ração total, o que lhe permite aproveitar os resíduos agroindustriais na alimentação animal, além do mais, os resíduos tendem a melhorar o perfil fermentativo e diminuir as perdas durante o processo de fermentação das silagens, o que resulta em redução com custos (NISHINO et al., 2004; WANG, HISHINO, 2008b). Irã, Israel, Finlândia e China são países que têm aprimorado as dietas para ruminantes com uso das SRT's (ABDOLLAHZADEH et al., 2010; WEINBERG et al., 2011; SEPPÄLÄ et al., 2012; HU et al., 2015).

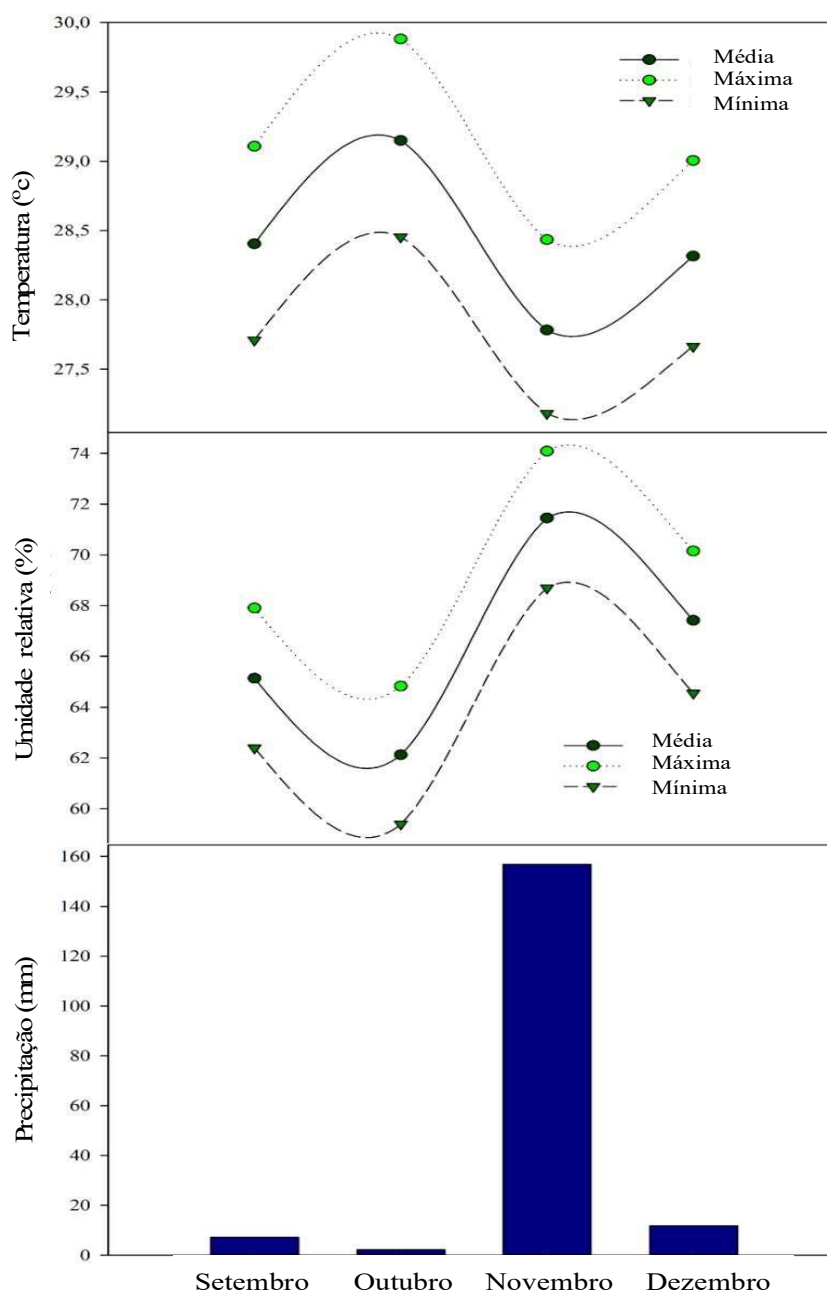
No Brasil os estudos com SRT têm crescido, sobretudo por ser vista como estratégia de manejo e uma forma de otimizar o manejo de capineiras, além de melhorar o perfil fermentativo da massa ensilada, possibilitando melhor qualidade das silagens de capins (Gusmão et al., 2018), viabilizando o corte do material no período apropriado e eliminando a utilização de mão-de-obra diária.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.1 *Localização do experimento*

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 03°44'33" S de latitude, 43°21'21" 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 duas estações bem definidas. As chuvas são concentradas no primeiro semestre do ano, com precipitação pluviométrica que chegam em média a 1.670mm e temperatura média anual de 26,9°C, com máxima média de 37°C e mínima de 22°C (INMET, 2018). Os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental estão descritos na figura 1.



**Figura 1.** Gráficos de temperatura (°C), umidade (%) e precipitação (mm) durante o período (meses) do experimento.

#### 4.2 *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial 4×2 com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Foram utilizadas quatro doses de silício (Si) fornecidas via fertilização: 0, 4, 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup> com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6, na proporção 50% de cada). Os

tratamentos foram *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*.

A cultivar utilizada foi o milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) BRS 1501). O experimento em campo teve duração de 70 dias.

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<sup>-1</sup> 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 tradicional (milho de forma exclusiva) e na forma de ração total (SRT). Os silos foram abertos 120 dias após a ensilagem.

#### 4.3 *Plantio e adubação*

O solo presente na área experimental é classificado como Argissolo vermelho-amarelo com textura franco-argilosa (SANTOS, H. G. dos., et al 2018). As características químicas do solo podem ser observadas na Tabela 1.

A correção do solo foi realizada conforme a necessidade, com base na análise de solo. O calcário usado foi o calcário dolomítico, com o PRNT de 115,10%, sendo indicado 2,3t/ha<sup>-1</sup>, quantidade recomendada para elevar a saturação de bases para 60%, de acordo com as recomendações para o cultivo do milho.

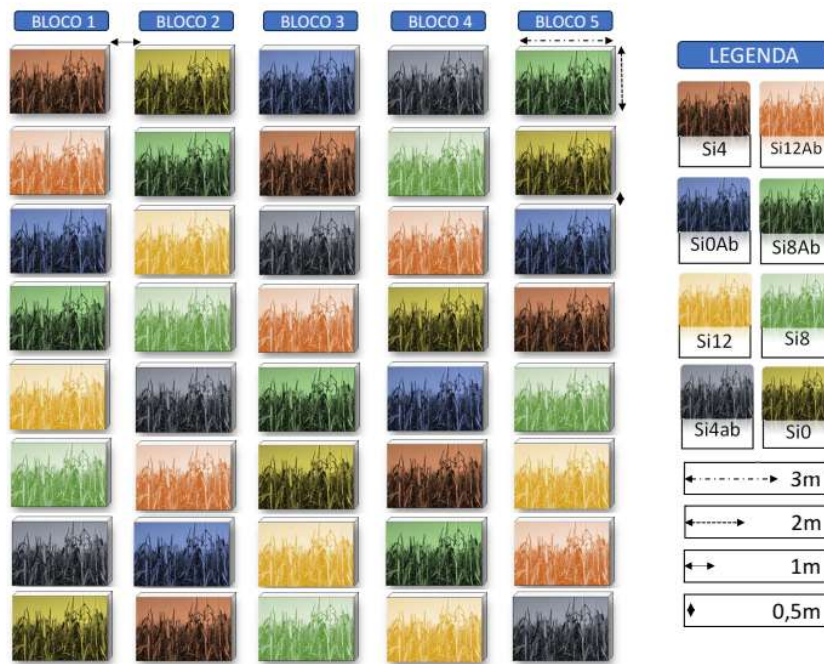
A adubação de plantio (NPK) foi realizada de forma manual, seguindo-se as necessidades dispostas na análise de solo (Tabela 1). As quantidades foram de 20kg de N/ha, 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e 30kg de K<sub>2</sub>O/ha. As características granulométricas registradas foram de 70% de areia, 21% de argila e 9% de silte.

**Tabela 1.** Características químicas da análise de solo.

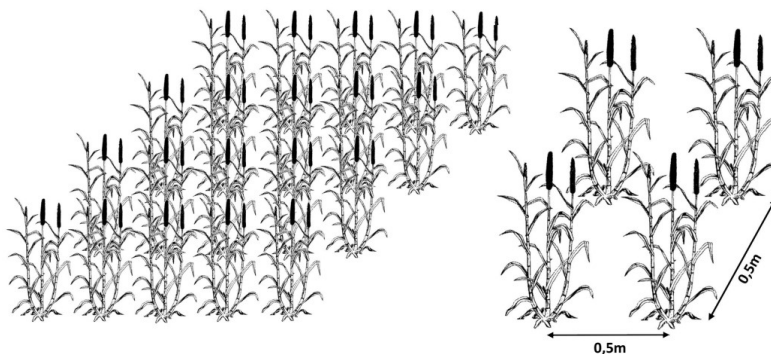
pH	P	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	V	MO
H <sub>2</sub> O		mg dm <sup>-3</sup>	————— cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —————					%	%	% g kg <sup>-1</sup>
4,7	4,0	0,5	24,0	1,7	9,0	5,0	14,5	39,0	37,0	17,0

Nota: pH: hidrogênio potencial; P: fósforo; K<sup>+</sup>: potássio; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: acidez potencial; Al<sup>3+</sup>: alumínio; Ca<sup>+2</sup>: cálcio; Mg<sup>+2</sup>: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátion; V %: saturação base; MO: matéria orgânica.

A área experimental totalizou 251m<sup>2</sup>, com 40 parcelas de 6m<sup>2</sup> (3x2m) cada, apresentando espaçamento 0,5m entre linhas e 0,5m entre covas, seguindo um espaçamento de 0,5m entre parcelas e 1m entre blocos (Figura 2). Cada parcela foi composta de 20 plantas, totalizando 800 plantas em toda a área experimental e 31.8723 plantas/ha<sup>-1</sup> (Figura 3). A semeadura ocorreu de forma manual, as covas foram abertas com o auxílio de enxada com profundidade de aproximadamente 3-5cm. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 ml do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum Brasilense* – Agroceite.



**Figura 2.** Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos.



**Figura 3.** Distribuição das plantas na parcela e espaçamento.

#### 4.4 *Aplicação do Silício e irrigação*

O fornecimento de Si foi realizado via fertilização, iniciando-se aos 20 dias após completa emergência das plantas até 30 dias após florescimento pleno. A aplicação de Si foi parcelada em 6 vezes: três durante o estágio vegetativo e três no reprodutivo da cultura do milho. Com o parcelamento, as doses usadas em cada aplicação foram 0; 0,67; 1,33 e 2,00kg ha<sup>-1</sup> de Si, correspondendo a 0; 0,96 e 2,85 mmol L<sup>-1</sup> de Si na solução em cada aplicação.

A fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g L<sup>-1</sup>, Na<sub>2</sub>O = 60,5 g L<sup>-1</sup>). Para a diluição do silício foi utilizada uma caixa d'água de 1000L, em que foram destinados 70L de diluição para cada um dos respectivos tratamentos (0; 4; 8 e 12 kg de silício). Cada planta recebeu 0,700ml da diluição.

Para manter a umidade do solo a área foi irrigada duas vezes ao dia (6:00 e 17:00h) de modo a receber uma lâmina de água de 2,5mm diários, totalizando 175mm durante o período experimental. Para a irrigação foram utilizadas 5 fitas de irrigação (28,5mm) microperfuradas com raio de alcance de 1,5m<sup>2</sup>, na área experimental as fitas foram distribuídas de maneira que permanecesse uma fita no centro de cada parcela.

#### 4.5 *Tratos culturais*

Foi realizado desbaste para que cada cova de modo que permanecesse somente com uma planta de milho. Durante o período experimental foram realizadas capinas manuais, aos 30 e 60 dias após a semeadura. O objetivo das capinas foi reduzir o crescimento de ervas daninhas que pudessem interferir no desenvolvimento da cultura principal e manter a segurança dos alunos durante a realização da coleta de dados.

#### 4.6 *Avaliação morfoagronômica, produção de biomassa e grãos*

Foram selecionadas duas plantas representativas, com altura e diâmetro médio de colmo semelhantes, localizadas nas linhas centrais de cada parcela, excluindo-se as bordaduras para que fossem realizadas as mensurações e coleta de dados das características morfoagronômicas, totalizando 80 plantas avaliadas. As seguintes variáveis foram analisadas:

**Altura da planta(cm):** foi determinada com fita milimetrada, tomando-se a medida da superfície do solo até a altura máxima da última folha.

**Altura da planta até a folha bandeira(cm):** foi determinada com fita milimetrada, tomando-se a medida da superfície do solo até a inserção da folha bandeira.

**Diâmetro do colmo(mm):** medido com auxílio de um paquímetro, no terceiro nó da planta a partir do solo.

**Comprimento de panícula(cm):** foi determinado com régua graduada em milímetros, mensurada da base até o ápice da panícula.

**Diâmetro de panícula(mm):** medido com um paquímetro, tomando-se a medida na parte central da panícula.

**Número de folhas por planta (Un):** para a quantificação das folhas vivas foram contabilizadas as folhas que apresentavam lígulas totalmente expandidas e fotossinteticamente ativas. As folhas mortas foram quantificadas a partir de 50% de senescência.

**Número de grãos por panícula (Un):** foi obtido por meio da contagem de todos os grãos e dividido pelo total de panículas avaliadas.

**Número de perfilhos reprodutivos:** foi determinado realizando a contagem de todos os perfilhos reprodutivos presentes em toda a parcela

**Número de perfilhos vegetativos:** foi determinado a partir da contagem de todos os perfilhos vegetativos presentes em toda a parcela.

**Número de perfilhos totais:** foi determinado a partir da soma total dos perfilhos reprodutivos e vegetativos.

**Produtividade de grãos:** foi obtida após a debulha das panículas colhidas dentro da área útil, os grãos foram pesados em balança de precisão de duas casas decimais e posteriormente os pesos foram convertidos em  $\text{kg ha}^{-1}$ . A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

**Peso de colmo:** os colmos foram pesados em balança digital com capacidade para 5kg.

**Peso de folhas vivas:** as folhas vivas foram retiradas da planta e pesadas utilizando uma balança digital de precisão.

**Peso dos grãos:** os grãos foram retirados das panículas e foram pesados utilizando uma balança digital de precisão.

**Peso da panícula:** as panículas foram pesadas separadamente utilizando uma balança digital de precisão.

**Peso de panícula com grãos:** as panículas foram pesadas com os grãos utilizando uma balança digital de precisão.

**Peso da planta inteira:** a planta inteira foi pesada com o auxílio de balança digital tolerante a 15kg.

**Produção de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi estimada a partir do produto do peso de matéria verde com a % de matéria seca.

**Produção de matéria seca de colmo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi estimada a partir do produto do peso do colmo com a % de matéria seca.

**Produção de matéria seca de folha ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi estimada a partir do produto do peso de folha com a % de matéria seca.

**Produção de matéria seca de panícula ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi estimada a partir do produto do peso de panícula com a % de matéria seca.

**Produção de matéria verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi estimada a partir do produto entre o peso fresco médio por planta e da densidade equivalente de plantas por hectare.

**Eficiência do uso de água ( $\text{kg /MS/ mm/ ha}$ ):** Foi calculada com a razão entre os valores de produção de matéria seca e a soma do total de lâminas de água recebidas no período experimental somado a precipitação durante o período experimental por cada tratamento segundo Silva et al. (2014).

**Produção de colmo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi calculada a partir da medida correspondente a 1 hectare ( $10.000\text{m}^2$ ) pelo peso do colmo dividido pelo tamanho da parcela.

**Produção de folhas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi calculada a partir da medida correspondente a 1 hectare ( $10.000\text{m}^2$ ) pelo peso das folhas dividido pelo tamanho da parcela.

**Produção de panícula ( $\text{kg ha}^{-1}$ ):** foi calculada a partir da medida correspondente a 1 hectare ( $10.000\text{m}^2$ ) pelo peso da panícula dividido pelo tamanho da parcela.

**Matéria seca de colmo:** foi calculada a partir da produção de colmo/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

**Matéria seca de folhas vivas:** foi calculada a partir da produção de folha/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

**Matéria seca de panícula:** foi calculada a partir da produção de panícula/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

**Matéria seca de planta inteira:** foi calculada a partir da produção da planta inteira/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

**Acúmulo de água ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ):** Pela diferença entre peso de matéria verde e peso de matéria seca, conforme Perazzo et al. (2013).

**Avaliação da sanidade do colmo:** foi realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 5 de acordo com o aspecto do colmo. Onde: 1 = excelente; 2 = bom; 3 = médio; 4 = pobre; 5 = ruim.

**Avaliação da sanidade de ataque da planta:** foi realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 9 de acordo com o aspecto das folhas.

Onde: nota 1 = altamente resistente (0%); nota 2 = resistente (1%); nota 3 = resistente (10%); nota 4 = medianamente (20%); nota 5 = medianamente susceptível (30%); nota 6 = medianamente susceptível (40%); nota 7 = susceptível (60%); nota 8 = susceptível (80%); nota 9 = altamente susceptível (>80%).

**Biomassa verde:** as plantas foram cortadas a cerca de 20cm do solo e pesadas em balança com capacidade de pesar até 15kg e posteriormente os pesos foram extrapolados para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

#### 4.6 *Ensilagem*

Para o processo de ensilagem o milho foi cortado aos 70 dias após o plantio com aproximadamente 20 cm do solo, quando os grãos apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Imediatamente após a colheita o milho 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 3).

A formulação das silagens SRT foi feita para atender as exigências de bovinos de corte com peso médio de 450 kg. As dietas para cabras leiteiras foram formuladas para atender as exigências, segundo o NRC (2007) de cabras pesando, em média 40 kg e produzindo 3,0 kg de leite por dia, com 4,0% de gordura, com uma relação volumoso: concentrado de 50:50 (Tabela 2). As silagens de ração total foram compostas por 60% de volumoso (milho puro) e 40% de concentrado de acordo com o BR-corte 4.0 (2020) (Tabela 2). Os concentrados foram compostos por farelo de soja, milho moído, uréia, fosfato bicálcio e sal mineralizado.



**Tabela 2.** Proporção dos ingredientes usados para a formulação das SRT

Ingredientes (%)	Milheto	Dietas	
		SRT Bovino	SRT Cabra
Milheto	100	49,62	46,55
Milho triturado	-	43,89	43,81
Farelo de soja	-	1,72	6,57
Ureia	-	0,57	0,33
Sal mineral*	-	3,57	2,74
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 3.** Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas

Variáveis (%)	Milho	Soja	Milheto	SRT Bovino	SRT Cabras
Matéria seca	90,96	91,14	28,76	34,76	33,30
Cinzas	2,55	6,42	9,30	11,00	9,41
PB	10,66	38,77	8,28	12,00	13,00
FDN	20,98	14,78	56,41	46,94	33,76
FDA	1,60	8,71	32,53	23,49	30,38

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 condicionada em silos experimentais com capacidade de 3,6L (altura:156,5mm e largura:193,6mm). Todos os silos experimentais foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para eliminação dos gases produzidos durante a fermentação. No fundo dos silos experimentais foi adicionado 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.

#### 4.7 Qualidade fermentativa

Após 120 dias de armazenamento os silos foram pesados e abertos. 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 (Figura 4).



**Figura 4.** Abertura de mini-silos contendo silagem de milho.

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 determinar da capacidade tampão (CT) foram coletadas aproximadamente 15g de amostra de silagem. A amostra foi posta em liquidificador 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; McDONALD, 1966).

#### **4.8 Perdas e recuperação de matéria seca**

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.

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;

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:

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

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;

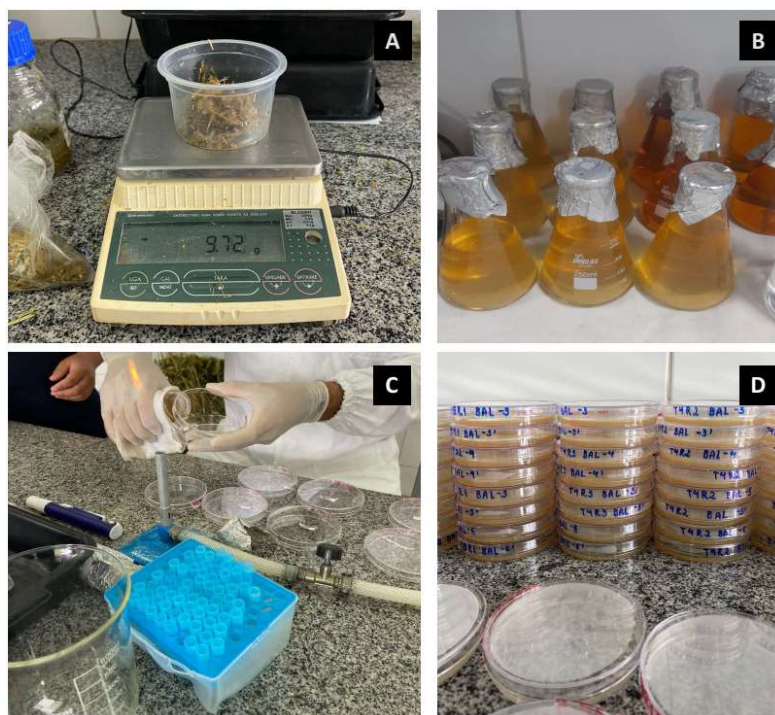
MSfe = teor de MS da forragem no fechamento.

#### 4.9 Microbiologia

As análises das populações microbianas aconteceram no Laboratório de Microbiologia da UFMA/CCCh.

Para a análise microbiológica foram coletadas e pesadas cerca de 10g (Figura 5 A) de silagem fresca, em seguida utilizou-se o meio de cultura ágar MRS (Difco, Detroit, Michigan, EUA), ao qual foi adicionado 0,1% de ácido acético, para a contagem das bactérias ácido lácticas (BAL). Mofos e leveduras foram quantificados usando a técnica de *pour-plating*, em meio BDA (batata dextrose ágar, KASVI®), o qual foi acidificado com 1,5% de ácido tartárico (Figura 5

B). As culturas de BAL e ML foram incubadas em uma estufa BOD a 35°C por 48 e 72 horas, respectivamente. Foram realizadas diluições em série e em duplicata, abrangendo concentrações que variaram de  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  para o plaqueamento de acordo com a metodologia proposta por González et al., (2003) (Figura 5 C). As placas foram consideradas suscetíveis à contagem quando apresentavam valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC) (Figura 5 D).



**Figura 5.** Processos para a quantificação da população microbiana nas silagens de milho.

#### 4.10 Análises químico-bromatológicas

As análises químico-bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) pertencente a UFMA/CCCh.

Para avaliação da composição química, 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 químicas e 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).

#### 4.11 Estatística

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições DBC ( $y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$ ). 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. Foi utilizado o PROC MIXED do software estatístico SAS (2015), para avaliar os dados da parte agrônômica e produtiva.

Para a silagem utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em um esquema fatorial 4x2 com oito tratamentos e cinco repetições. Os dados 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:

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

onde:

$Y_{ijt}$  representa a variável resposta,

$\mu$  é a média geral,

$\tau_i$  é o efeito fixo da dose de silício,

$\beta_j$  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*,

$a_k$  é o efeito aleatório das repetições,

$\varepsilon_{ijt}$  é o termo de erro experimental aleatório.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Características agronômicas

Foram observadas interações entre o Si x *Azospirillum* para as variáveis MS da folha (P=0,009), MS da panícula (P=0,005), relação folha:colmo (P=0,013) e para os constituintes folha (P=0,024) e colmo (P=0,005) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Avaliação das características produtivas do milho com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Item	Níveis de Silício (kg ha <sup>-1</sup> )				<i>Az. Brasilense</i>			Si	Az	Si x Az
	0	4	8	12	Sem	Com	EPM			
PMV	11995	13662	11726	11804	11094	13479	847,97	0,660	0,669	0,847
PF	1761,88	2137,61	1712,72	1755,09	1588,40b	2095,25 <sup>a</sup>	158,21	0,550	0,038	0,158
PCOL	5762,62	7087,62	5775,57	6091,94	5541,91	6816,96	447,01	0,458	0,063	0,503
PP	4393,73	4272,04	4195,45	3838,42	3854,23	4495,59	319,27	0,857	0,185	0,773
RFC	1,73	1,68	1,64	2,06	1,80	1,75	0,082	0,077	0,694	0,013
Produção de MS kg/ha <sup>-1</sup>										
PMS	4589	5071	4521	3899	4194	4846	423,38	0,627	0,307	0,993
PMSF	836,10	915,80	765,18	882,27	769,95	929,74	91,39	0,873	0,247	0,741
PMSC	1590,40	1812,84	1654,43	1632,17	1572,55	1772,38	157,96	0,914	0,399	0,981
PGHA	1445	1464	1436	1306	1386	1440	101,73	0,875	0,724	0,967
PMSP	2640,57	2265,81	2406,84	2105,32	2196,86	2512,26	180,26	0,547	0,246	0,449
ACA	7365,62	8590,61	7204,92	7905,72	6900,15	8633,29	634,36	0,724	0,074	0,567
EUA	10,675	10,809	9,636	8,310	9,387	10,328	850,48	0,481	0,460	0,825
g/kg MS										
PLANTA	399,1	370,4	389,2	329,1	379,1	364,9	21,112	0,415	0,653	0,916
FOLHA	482,5	442,1	448,9	541,2	504,9	442,5	19,193	0,032	0,037	0,009
COLMO	288,9	259,3	282,6	265,0	288,3	259,6	14,433	0,731	0,188	0,859
PANÍCULA	609,3	535,5	568,5	548,7	571,3	559,7	10,718	0,014	0,471	0,005
Constituintes da planta (g/kg MV)										
FOLHA	144,6	155,1	146,6	144,3	140,5	154,8	1,480	0,875	0,188	0,024
COLMO	481,6	519,7	491,7	524,5	503,5	505,2	1,950	0,092	0,902	0,005
PANÍCULA	369,4	313,7	357,9	322,8	347,7	334,2	9,597	0,024	0,350	0,067

PMV= Produção de matéria verde, PF= Produção de folhas, PMS= Produção de matéria seca, NG= Número de grãos, RFC= Relação folha:colmo, PCOL= Produção de colmo, PMSF= Produção de matéria seca de folha, PMSC= Produção de matéria seca de colmo, PGHA= Produção de grãos por hectare, PMSP= Produção de matéria seca de panícula, ACA= acúmulo de água (kg ha<sup>-1</sup>), EUA= eficiência do uso de água (kg MS ha<sup>-1</sup> mm).

A combinação das doses de Si x *Azospirillum* não apresentou efeito (P>0,05) para as características produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS), produção de folha (PF), produção de colmo (PCOL), produção de panícula (PP), produção de matéria seca da folha (PMSF), produção de matéria seca do colmo (PMSCOL), produção de grãos

hectare (PGHA), produção de matéria seca da panícula hectare (PMSPHA), matéria seca da planta (planta), matéria seca do colmo (MSCOL) e constituinte panícula do milho (Tabela 4).

Observou-se efeito isolado do *Azospirillum* para produção de folhas (PF;  $P=0,38$ ) com valores superiores quando se utilizou a bactéria (2095,25 kg/ha) em relação ao não uso (1588,40 kg/ha).

Observou-se interação Si x *Azospirillum* para a matéria seca das folhas ( $P<0,0001$ ) (g/kg/MS), apresentando maior média quando associada dose 12kg ha<sup>-1</sup> de Si sem a *Az*. Também houve interação para o componente matéria seca da panícula ( $P=0,0029$ ), melhor resultado observado na utilização da dose 12kg ha<sup>-1</sup> de Si com o inoculante *Az*.

Houve efeito de interação para a proporção dos constituintes folha ( $P=0,0029$ ) (g/kg/MV) (Tabela 5), quando observados os dados, o tratamento com *Az* apresentou a maior média (17,85 g/kg) com a dose 12kg ha<sup>-1</sup> de Si.

Foi observada interação para a relação folha/colmo ( $P=0,0007$ ) e constituinte do colmo ( $P=0,0022$ ) (Tabela 5) em que, na relação folha/colmo o tratamento com *Azospirillum* apresentou a maior média (0,39 g/kg), quando submetido ao uso da dose 12kg ha<sup>-1</sup> de Si. Enquanto o constituinte colmo apresentou melhor resultado sem o uso do *Azospirillum*.

**Tabela 5.** Efeito da interação entre os níveis de silício e a inclusão da bactéria *Azospirillum* sobre a matéria seca das folhas, matéria seca da panícula, constituinte folha, constituinte colmo e relação folha:colmo.

<i>Az. Brasilense</i>	Níveis de Silício (kg ha <sup>-1</sup> )				EPM	Efeito		R <sup>2</sup>
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Matéria seca das folhas (g/kg)								
Com <sup>1</sup>	45,89	38,33	49,16	43,63 <sup>b</sup>	3,33	0,788	0,764	-
Sem <sup>2</sup>	50,60	45,83	40,61	64,61 <sup>a</sup>		0,020	0,001	86,19
Média	48,25	42,08	44,89	54,12				
P-valor	0,3258	0,1229	0,0807	0,0001				0,0324
Matéria seca da panícula (g/kg)								
Com <sup>3</sup>	59,81	48,99 <sup>b</sup>	60,08 <sup>a</sup>	55,00	2,03	0,715	0,169	-
Sem <sup>4</sup>	62,04	58,12 <sup>a</sup>	53,6 <sup>b</sup>	54,75		0,007	0,223	80,60
Média	60,93	53,56	56,84	54,88				
P-valor	0,4458	0,0324	0,0036	0,9320				
Constituinte folha								
Com <sup>5</sup>	15,49	14,83	13,74	17,85 <sup>a</sup>	1,48	0,376	0,119	-
Sem <sup>6</sup>	13,43	16,19	15,58	11,02 <sup>b</sup>		0,246	0,020	99,90
Média	14,46	15,51	14,66	14,44				
P-valor	0,3330	0,5216	0,3868	0,0029				
Constituinte colmo								
Com <sup>7</sup>	50,44	54,62	49,26	47,78 <sup>b</sup>	1,95	0,139	0,159	-
Sem <sup>8</sup>	45,89	49,33	49,08	57,11 <sup>a</sup>		0,001	0,250	81,80
Média	48,17	51,98	49,17	52,45				
P-valor	0,1115	0,0660	0,9508	0,0022				
Relação folha:colmo								
Com <sup>9</sup>	0,30	0,27	0,27	0,39 <sup>a</sup>	0,03	0,135	0,049	96,93
Sem <sup>10</sup>	0,29	0,32	0,32	0,19 <sup>b</sup>		0,073	0,034	97,71
Média	0,30	0,30	0,30	0,29				
P-valor	0,7522	0,2984	0,4092	0,0007				

EPM = erro padrão da média; Lin = significância para efeito linear; Quad = significância para efeito quadrático; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação. Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. <sup>1</sup>Ŷ = 44,25; <sup>2</sup>Ŷ = 52,089200 - 4,473450x + 0,449438x<sup>2</sup>; <sup>3</sup>Ŷ = 55,97; <sup>4</sup>Ŷ = 61,090400 - 0,659900x; <sup>5</sup>Ŷ = 15,48; <sup>6</sup>Ŷ = 13,405200 + 1,177050x - 0,114438x<sup>2</sup>; <sup>7</sup>Ŷ = 50,53; <sup>8</sup>Ŷ = 45,346000 + 0,835500x; <sup>9</sup>Ŷ = 0,313632 - 0,021908x + 0,002351x<sup>2</sup>; <sup>10</sup>Ŷ = 0,289710 + 0,022962x - 0,002551x<sup>2</sup>.

Observou-se efeito isolado (P<0,05) para as variáveis comprimento da panícula (P=0,010) (CP) e diâmetro da panícula (DP) (p=0,041), em que as maiores médias (30,62 e 28,15 kg ha<sup>-1</sup>) foram observadas quando relacionadas ao uso da *Azospirillum brasilense* (Tabela 6).



**Tabela 6.** Avaliação das características morfológicas do milho com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Item	Níveis de Silício (kg ha <sup>-1</sup> )				<i>Az. brasilense</i>			Si	AB	Si x Ab
	0	4	8	12	Sem	Com	EPM			
NPR	4,90	7,10	6,90	7,10	6,7	6,30	0,459	0,079	0,560	0,854
NPV	1,50	2,00	1,42	1,30	1,21	1,90	0,107	0,715	0,140	0,007
CP	28,85	29,36	29,92	28,70	27,79 <sup>b</sup>	30,62 <sup>a</sup>	0,701	0,837	0,010	0,963
DP	28,84	27,44	26,37	24,56	25,45 <sup>b</sup>	28,15 <sup>a</sup>	0,547	0,128	0,041	0,084
APFB	112,00	105,30	114,72	113,70	112,36	110,50	3,504	0,579	0,722	0,001
DC	12,37	11,39	11,32	12,26	11,44	12,22	0,853	0,136	0,059	0,029
AP	133,30	138,80	133,37	137,86	132,83	139,13	3,412	0,829	0,222	0,396

NPR- números de perfilho reprodutivos, NPV- número de perfilho vegetativos, CP- Comprimento de panícula, DP- Diâmetro de panícula, ABFB- Altura da planta até a folha bandeira, DC- Diâmetro do colmo, AP- Altura da

Foi observado interação do Si x *Azospirillum brasilense* para as variáveis número de perfilhos vegetativos (NPV; P=0,0098) com melhor resultado observado quando usada a dose 4kg ha<sup>-1</sup> de Si associado ao *Azospirillum brasilense*, altura da planta até a folha bandeira (APFB; P=0,0002), dose 8kg ha<sup>-1</sup> de Si com o *Azospirillum brasilense* e diâmetro de colmo (DC) (P=0,0074), dose 0kg ha<sup>-1</sup> com o uso do *Azospirillum brasilense*.

**Tabela 7.** Efeito da interação entre os níveis de silício e a inclusão da bactéria *Azospirillum* sobre o número de perfilhos vegetativos, altura de planta até a folha bandeira e diâmetro de colmo.

<i>Az. brasilense</i>	Níveis de Silício (kg ha <sup>-1</sup> )				EPM	Efeito		R <sup>2</sup>
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Número de perfilhos vegetativos								
Com <sup>1</sup>	0,80	3,20 <sup>a</sup>	2,60	1,00	0,61	1,000	0,002	95,00
Sem <sup>2</sup>	2,20	0,80 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	1,60		0,398	0,032	97,52
Média	1,50	2,00	1,42	1,30				
P-valor	0,1171	0,0098	0,0112	0,4940				
Altura de planta até a folha bandeira (cm)								
Com <sup>3</sup>	98,40 <sup>b</sup>	109,80	138,20 <sup>a</sup>	95,60 <sup>b</sup>	7,66	0,564	0,001	65,92
Sem <sup>4</sup>	125,60 <sup>a</sup>	100,80	91,25 <sup>b</sup>	131,80 <sup>a</sup>		0,793	0,001	94,64
Média	112,00	105,30	114,73	113,70				
P-valor	0,0182	0,4137	0,0002	0,0024				
Diâmetro de colmo (mm)								
Com <sup>5</sup>	13,38 <sup>a</sup>	12,42 <sup>a</sup>	11,12	11,98	0,565	0,038	0,119	57,01
Sem <sup>6</sup>	11,24 <sup>b</sup>	10,70 <sup>b</sup>	11,18	12,66		0,071	0,084	-
Média	12,31	11,56	11,15	12,32				
P-valor	0,0074	0,0155	0,6155	0,4786				

EPM = erro padrão da média; Lin = significância para efeito linear; Quad = significância para efeito quadrático;  $R^2$  = coeficiente de determinação. Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.  $^1\hat{Y} = 0,900000 + 0,750000x - 0,062500x^2$ ;  $^2\hat{Y} = 2,252500 - 0,574375x + 0,042969x^2$ ;  $^3\hat{Y} = 94,000000 + 10,625000x - 0,843750x^2$ ;  $^4\hat{Y} = 127,342500 - 12,026875x + 1,021094x^2$ ;  $^5\hat{Y} = 13,050000 - 0,137500x$ ;  $^6\hat{Y} = 11,44$ .

Em relação a sanidade do colmo e das folhas não houve diferença entre os tratamentos avaliados, em que, de acordo com as notas atribuídas a cada variável, o colmo apresentou boa sanidade e as folhas apresentaram boa resistência.

**Tabela 8.** Sanidade de folhas e colmo.

Tratamentos	Sanidade de ataque	
	Colmo	Folhas
Si0	1	1
Si0Ab	1	2
Si4	1	2
Si4Ab	1	1
Si8	1	1
Si8Ab	1	1
Si12	1	1
Si12Ab	1	1

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*.

## 5.2 Qualidade fermentativa

A qualidade fermentativa das silagens de ração total para bovinos de corte não apresentou efeitos de interação para nenhuma das variáveis avaliadas ( $P > 0,05$ ) pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca (Tabela 9). Foram observados efeitos isolados apenas 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 apresentou valores maiores no tratamento controle (Si0 kg ha<sup>-1</sup>), diminuindo gradativamente à medida que se aumentou a dose de aplicação de silício (Tabela 9).

**Tabela 9.** 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*.

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

<sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Azospirillum*; <sup>6</sup> 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.

As silagens de ração total para cabras leiteiras não apresentaram efeitos de interação para ( $P > 0,05$ ) para o pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca (Tabela 10). Foi observado apenas efeito isolado para a inoculação com *Azospirillum* sobre a capacidade tampão ( $P < 0,05$ ), em que as silagens produzidas com o material inoculado apresentaram valores superiores aos não inoculados (Tabela 10).

**Tabela 10.** 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 cabras leiteiras com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si	Silagem de ração total para cabras leiteiras				
	pH	CT	PG (%)	PE (Kg/ton de MN)	RMS (%MS)
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>					
0 <sup>1</sup>	4,17	0,048	5,57	12,71	92,74
4 <sup>2</sup>	4,28	0,041	7,61	18,51	92,42
8 <sup>3</sup>	4,17	0,037	6,67	15,82	92,83
12 <sup>4</sup>	4,32	0,042	9,17	14,81	94,35
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>					
0	4,40	0,65	7,82	18,13	93,9
4	4,23	0,049	5,47	16,20	94,86
8	4,46	0,055	8,79	20,25	94,32
12	4,30	0,051	7,60	18,02	94,97
<b>EPM</b>	0,0808	0,0062	1,8702	4,5026	1,9019
<b>Efeito principal da dose de silício</b>					
0	4,28	0,057	6,70	15,42	93,33
4	4,25	0,045	6,54	17,35	93,64
8	4,31	0,046	7,73	18,04	93,58
12	4,31	0,047	8,39	16,42	94,65
<b>EPM</b>	0,0663	0,0050	1,3658	2,8770	1,2028
<b>Efeito principal do <i>Azospirillum</i></b>					
SEM <sup>5</sup>	4,23	0,042 <sup>b</sup>	7,26	15,46	93,08
COM <sup>6</sup>	4,34	0,055 <sup>a</sup>	7,42	18,15	94,51
<b>EPM</b>	0,0466	0,0046	0,9658	2,0136	0,8505
<b>P-Valor</b>					
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,9089	0,2898	0,7323	0,9054	0,8619
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,0921	0,0150	0,9000	0,3354	0,2264
<b>Si × Az</b>	0,1772	0,8494	0,5055	0,7639	0,9589

<sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Azospirillum*; <sup>6</sup> 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.

As silagens exclusivas de milho não apresentaram efeitos de interação para nenhuma das variáveis analisadas ( $P > 0,05$ ) pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca (Tabela 11). Foi observado apenas efeito isolado para a inoculação com *Azospirillum* sobre a capacidade tampão ( $P < 0,05$ ), em que a silagens produzidas com o material inoculado apresentaram valores superiores aos não inoculados (Tabela 11).

**Tabela 11.** Valores médios de pH, capacidade tampão (CT), perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS), em silagem de milho com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si	Silagem de milho				
	pH	CT	PG (%)	PE (Kg/ton de MN)	RMS (%MS)
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>					
0 <sup>1</sup>	4,52	0,038	13,00	62,82	78,33
4 <sup>2</sup>	4,70	0,036	12,14	53,10	85,36
8 <sup>3</sup>	4,46	0,035	10,22	58,42	80,20
12 <sup>4</sup>	4,78	0,038	11,00	58,29	80,87
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>					
0	4,63	0,057	12,36	39,54	78,65
4	4,55	0,040	8,16	60,24	84,71
8	4,45	0,044	7,18	43,29	81,91
12	4,92	0,045	13,18	66,98	73,14
<b>EPM</b>	0,3671	0,0054	2,9912	28,6438	5,5674
<b>Efeito principal da dose de silício</b>					
0	4,57	0,048	12,68	11,66	78,49
4	4,62	0,038	10,15	56,67	85,03
8	4,45	0,039	9,00	50,85	81,09
12	4,85	0,041	13,09	62,63	77,00
<b>EPM</b>	0,2428	0,0046	1,9785	0,2407	4,3439
<b>Afeito principal do <i>Azospirillum</i></b>					
SEM <sup>5</sup>	4,61	0,0337 <sup>b</sup>	10,37	32,74	81,21
COM <sup>6</sup>	4,63	0,0470 <sup>a</sup>	11,59	58,17	71,60
<b>EPM</b>	0,1654	0,0470	1,3481	14,9067	2,9599
<b>P-Valor</b>					
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,6200	0,3945	0,4692	0,3421	0,5517
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,9195	0,0207	0,5187	0,2288	0,6979
<b>Si × Az</b>	0,9694	0,6232	0,6677	0,2407	0,8289

<sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Azospirillum*; <sup>6</sup> 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.

### 5.3 Microbiologia

A microbiologia das silagens de ração total para bovinos de corte apresentou interação entre a dose de Si x *Azospirillum* ( $P < 0,05$ ) para a população de bactérias lácticas e de mofos (Tabela 12). As silagens produzidas com material inoculado com *Azospirillum* e com a dose de 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício apresentaram maiores contagens de bactérias lácticas ( $> 6 \log \text{UFC g}^{-1}$ ), entretanto, o material não inoculado não apresentou diferença entre si independentemente da dose de silício aplicada (Tabela 12).

Com relação à população de mofos, é possível observar que o material produzido no campo não inoculado e sem aplicação de silício apresentou as maiores contagens, enquanto os

demais valores mantiveram-se numa faixa de 2 a 2,5 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem (Tabela 12). A população de leveduras foi bastante reduzida nessas silagens, com média inferior à 1 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem, não diferindo entre tratamentos (P>0,05) (Tabela 12).

**Tabela 12.** Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para bovinos de corte, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si	Log UFC/g de forragem		
	BAL	Mofos	Leveduras
<b>BOVINO DE CORTE</b>			
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>			
0 <sup>1</sup>	5,27	4,00 <sup>a</sup>	N/D
4 <sup>2</sup>	4,94	2,19 <sup>b</sup>	N/D
8 <sup>3</sup>	5,52	2,26 <sup>b</sup>	1,22
12 <sup>4</sup>	5,40	2,56 <sup>b</sup>	N/D
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>			
0	5,16 <sup>a</sup>	2,30	N/D
4	5,67 <sup>ab</sup>	1,82	1,32
8	5,32 <sup>b</sup>	2,54	0,57
12	6,14 <sup>a</sup>	2,30	N/D
<b>EPM</b>	0,12	0,27	0,42
<b>Efeito principal da dose de silício</b>			
0	5,22 <sup>b</sup>	3,80 <sup>b</sup>	N/D
4	5,30 <sup>b</sup>	5,17 <sup>a</sup>	0,66
8	5,42 <sup>ab</sup>	3,82 <sup>b</sup>	0,90
12	5,77 <sup>a</sup>	3,96 <sup>b</sup>	N/D
<b>EPM</b>	0,09	0,05	0,30
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>			
Sem <sup>5</sup>	5,57 <sup>a</sup>	2,24 <sup>a</sup>	0,47
Com <sup>6</sup>	5,28 <sup>b</sup>	2,75 <sup>b</sup>	0,30
<b>EPM</b>	0,06	0,13	0,21
<b>P-Valor</b>			
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,0012	0,0030	0,0978
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,0037	0,0130	0,5806
<b>Si × Az</b>	0,0007	0,0094	0,1570

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

As silagens de ração total formuladas para cabras leiteiras apresentaram efeitos de interação entre a dose de Si x *Azospirillum* (P 0,05) para a população de bactérias lácticas, mofos e leveduras (Tabela 13). As silagens produzidas com material não inoculado com *Azospirillum brasilense* nas doses 0 e 4 kg ha<sup>-1</sup> de silício apresentaram maiores contagens de bactérias lácticas

(> 6 log UFC g<sup>-1</sup>), entretanto, ao aumentar a dose de aplicação (8 e 12 kg ha<sup>-1</sup>) os valores reduziram significativamente (Tabela 13).

**Tabela 13.** Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para cabras leiteiras, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si	Log UFC/g de forragem		
	BAL	Mofos	Leveduras
<b>CABRA LEITEIRA</b>			
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>			
0 <sup>1</sup>	6,22 <sup>ab</sup>	4,712 <sup>a</sup>	4,36 <sup>ab</sup>
4 <sup>2</sup>	7,08 <sup>a</sup>	N/D	4,84 <sup>a</sup>
8 <sup>3</sup>	4,15 <sup>c</sup>	N/D	3,84 <sup>b</sup>
12 <sup>4</sup>	5,61 <sup>b</sup>	N/D	4,21 <sup>ab</sup>
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>			
0	5,98 <sup>a</sup>	N/D	5,66 <sup>a</sup>
4	4,13 <sup>b</sup>	N/D	0,82 <sup>b</sup>
8	6,44 <sup>a</sup>	3,350 <sup>a</sup>	4,60 <sup>a</sup>
12	5,57 <sup>a</sup>	3,898 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>
<b>EPM</b>	0,23	0,21	0,37
<b>Efeito principal da dose de silício</b>			
0	6,10 <sup>a</sup>	2,135 <sup>a</sup>	5,01 <sup>a</sup>
4	5,60 <sup>ab</sup>	N/D	3,33 <sup>b</sup>
8	5,30 <sup>b</sup>	1,675 <sup>a</sup>	4,22 <sup>ab</sup>
12	5,59 <sup>ab</sup>	1,949 <sup>a</sup>	4,08 <sup>ab</sup>
<b>EPM</b>	0,16	0,15	0,26
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>			
Sem <sup>5</sup>	5,53	1,81 <sup>a</sup>	3,76 <sup>b</sup>
Com <sup>6</sup>	5,77	1,06 <sup>b</sup>	4,56 <sup>a</sup>
<b>EPM</b>	0,23	0,10	0,38
<b>P-Valor</b>			
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,0184	<0,0001	0,0020
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,1671	<0,0001	0,0061
<b>Si × Az</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001

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

Quando se utilizou o material inoculado com *Azospirillum brasilense* com a dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de silício apresentou o menor valor, enquanto os demais não diferiram entre si (Tabela 13). A população dos mofos foi drasticamente afetada pela aplicação de silício no material não inoculado com *Azospirillum brasilense*, onde não se observou crescimento nas doses 4, 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 13). Por outro lado, ao utilizar o material inoculado com *Azospirillum brasilense*, observou-se um efeito contrário onde a aplicação do silício, particularmente nas doses 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup>, apresentaram contagens acima dos 3 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem (Tabela 13).

Com relação às leveduras observaram-se contagens de 3,8 a 4,8 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem, com o menor valor nas silagens produzidas com material sem inoculação e com a dose de 8 kg ha<sup>-1</sup> de silício (Tabela 13). Já nas silagens produzidas com material inoculado com *Azospirillum brasilense*, observou-se o menor valor na silagem submetida à dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de silício, enquanto os demais não diferiram entre si (Tabela 13).

As silagens exclusivas de milho apresentaram efeitos de interação entre a dose de Si x *Az*. (P < 0,05) para a população de bactérias lácticas, mofo e leveduras (Tabela 14). As silagens produzidas com material não inoculado com *Az* com as doses 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício apresentaram maiores contagens de bactérias lácticas (> 7 log UFC g<sup>-1</sup>) e o menor valor com a dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de silício (Tabela 14).

**Tabela 14.** Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofo e leveduras em silagens de milho, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si	Log UFC/g de forragem		
	BAL	Mofos	Leveduras
<b>MILHETO</b>			
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>			
0 <sup>1</sup>	6,35 <sup>b</sup>	3,03 <sup>b</sup>	6,36 <sup>a</sup>
4 <sup>2</sup>	4,80 <sup>c</sup>	2,69 <sup>b</sup>	6,61 <sup>a</sup>
8 <sup>3</sup>	6,18 <sup>b</sup>	4,01 <sup>a</sup>	5,64 <sup>a</sup>
12 <sup>4</sup>	7,45 <sup>a</sup>	N/D	N/D
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>			
0	6,39 <sup>a</sup>	3,44 <sup>a</sup>	4,14 <sup>b</sup>
4	5,34 <sup>b</sup>	2,34 <sup>b</sup>	5,07 <sup>ab</sup>
8	5,26 <sup>b</sup>	2,98 <sup>ab</sup>	5,42 <sup>ab</sup>
12	5,76 <sup>ab</sup>	2,44 <sup>ab</sup>	5,64 <sup>a</sup>
<b>EPM</b>	0,17	0,14	0,27
<b>Efeito principal da dose de silício</b>			
0	6,37 <sup>a</sup>	3,24	5,25 <sup>a</sup>
4	5,07 <sup>c</sup>	2,51	5,34 <sup>a</sup>
8	5,72 <sup>b</sup>	3,50	5,53 <sup>a</sup>
12	6,60 <sup>a</sup>	3,50	2,82 <sup>b</sup>
<b>EPM</b>	0,12	0,09	0,19
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>			
Sem <sup>5</sup>	5,69 <sup>b</sup>	2,93 <sup>a</sup>	5,07 <sup>a</sup>
Com <sup>6</sup>	6,19 <sup>a</sup>	2,43 <sup>b</sup>	4,40 <sup>b</sup>
<b>EPM</b>	0,08	0,07	0,13
<b>P-Valor</b>			
<b>Dose de silício (Si)</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b><i>Azospirillum</i> (<i>Az</i>)</b>	0,0005	<0,0001	0,0025
<b>Si × <i>Az</i></b>	<0,0001	<0,0001	0,0001



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

Ao utilizar o material inoculado com *Azospirillum brasilense* para confeccionar as silagens observou-se que o tratamento sem aplicação de silício apresentou maior contagem de bactérias lácticas, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si (Tabela 14). A população de mofo foi a que apresentou maiores valores quando se utilizou o material inoculado com *Azospirillum brasilense* e com a dose de 8 kg ha<sup>-1</sup> de silício, porém, ao aplicar a dose de 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício não foram identificadas colônias de mofo. Já no material inoculado com *Azospirillum brasilense* as contagens de mofo foram similares, mas com o maior valor sendo observado no tratamento sem aplicação de silício (Tabela 14).

De maneira geral, as leveduras apresentaram altas contagens independentemente da inoculação com *Azospirillum*, observando-se contagens superiores à 5 log UFC g<sup>-1</sup> com exceção dos tratamentos inoculados com *Azospirillum brasilense* sem aplicação de silício e nos tratamentos não inoculados com *Azospirillum brasilense* com a dose de 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício, o qual não apresentou crescimento algum (Tabela 14).

### 5.5 Composição químico-bromatológica

A composição química de todas as 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 15, 16 e 17). Contudo, foi observado efeito isolado da dose de silício ( $P < 0,05$ ) para o teor de FDA apenas nas silagens de ração total para bovinos de corte, observando-se que a aplicação das doses 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício promoveram redução dos teores de FDA nessas silagens (Tabela 15).

**Tabela 15.** 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 <sup>-1</sup> )	Silagens de ração total para bovinos de corte (g/kg)							
	MS	MO	CINZ	PB	FDNcp	FDA	LIG	HEM
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>								
0 <sup>1</sup>	322,0	909,4	90,5	118,3	314,9	191,7	114,2	168,9
4 <sup>2</sup>	319,6	908,3	91,6	121,3	385,7	198,2	106,6	196,7
8 <sup>3</sup>	330,6	911,1	88,8	119,4	319,2	166,0	111,1	179,5
12 <sup>4</sup>	325,0	905,0	94,1	117,8	300,1	174,5	115,1	162,2
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>								
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
<b>EPM</b>	0,9200	0,3913	0,3913	0,3536	3,0883	1,5270	0,2581	1,6061
<b>Efeito principal da dose de silício</b>								
0	326,3	908,5	91,4	117,8	336,8	192,1 <sup>ab</sup>	110,3	176,2
4	316,3	906,0	93,9	119,3	365,0	215,1 <sup>a</sup>	107,6	190,9
8	332,9	909,9	90,0	119,8	292,5	170,5 <sup>b</sup>	108,7	162,0
12	327,8	907,2	92,7	121,7	305,6	175,6 <sup>ab</sup>	112,5	147,1
<b>EPM</b>	0,6900	0,2935	0,2935	0,2652	1,5735	1,1453	0,1936	1,3114
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>								
SEM <sup>5</sup>	326,8	908,6	91,3	119,2	330,0	182,5	111,8	176,8
COM <sup>6</sup>	325,9	907,2	92,7	120,1	320,0	194,2	107,8	161,3
<b>EPM</b>	0,5100	0,2017	0,217	0,1960	1,6378	0,7870	0,1330	0,9273
<b>P-Valor</b>								
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,4449	0,7917	0,7917	0,7922	0,1735	0,0347	0,3091	0,1421
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,8975	0,6298	0,6299	0,7586	0,6804	0,3232	0,0551	0,2435
<b>Si × Az</b>	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; <sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Az*; <sup>6</sup> 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.

**Tabela 16.** Composição química de silagens ração total para cabra leiteira, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Si (g/kg ha <sup>-1</sup> )	Silagens de ração total para cabras leiteiras (g/kg)							
	MS	MO	CINZ	PB	FDNcp	FDA	LIG	HEM
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>								
0 <sup>1</sup>	345,1	922,6	77,3	126,4	330,7	185,2	117,9	84,52
4 <sup>2</sup>	334,8	917,5	82,4	122,0	352,8	176,2	100,9	85,55
8 <sup>3</sup>	331,7	924,2	75,7	120,4	375,2	174,7	116,8	101,33
12 <sup>4</sup>	319,3	920,2	79,7	122,0	334,3	164,0	0,3704	90,25
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>								
0	338,3	928,7	71,2	124,1	317,8	159,5	107,6	89,64
4	334,9	923,2	76,7	118,1	372,2	170,2	107,9	126,49
8	330,9	919,5	80,4	121,2	316,5	173,1	113,3	92,8
12	329,8	922,9	77,0	128,4	308,8	171,2	115,1	85,66
<b>EPM</b>	0,9780	0,3730	0,3730	0,2994	3,0703	1,8128	0,3704	1,5976
<b>Efeito principal da dose de silício</b>								
0	341,7	925,7	74,2	125,2	324,2	167,0	112,8	87,08
4	334,9	920,3	79,6	120,0	362,5	170,9	109,4	106,02
8	331,3	921,8	78,1	120,8	345,8	171,2	115,0	97,61
12	324,5	921,5	78,4	125,2	315,5	159,8	103,1	87,95
<b>EPM</b>	0,5682	0,2798	0,2798	0,2020	2,4273	1,5289	0,2778	1,1986
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>								
SEM <sup>5</sup>	332,7	921,1	78,8	122,7	348,2	176,4	114,2	90,41
COM <sup>6</sup>	333,5	923,6	76,3	122,9	328,8	180,2	111,0	98,69
<b>EPM</b>	0,4199	0,1978	0,1978	0,1493	0,9646	1,7952	0,1964	0,9646
<b>P-Valor</b>								
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,2160	0,5876	0,5876	0,1659	0,6720	0,2491	0,6001	0,7816
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,9004	0,3973	0,3973	0,9081	0,4597	0,3719	0,2823	0,5693
<b>Si × Az</b>	0,7516	0,5163	0,5163	0,3277	0,7871	0,3203	0,3934	0,6623

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; <sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Az*; <sup>6</sup> 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.

**Tabela 17.** Composição química de silagens de milho, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum*.

Si (g/kg há <sup>-1</sup> )	Silagem de milho (g/kg)							
	MS	MO	CINZ	PB	FDNcp	FDA	LIG	HEM
<b>Sem <i>Azospirillum</i></b>								
0 <sup>1</sup>	206,0	893,5	106,4	69,4	575,7	265,0	216,5	256,6
4 <sup>2</sup>	235,1	903,5	96,4	68,5	578,3	309,2	249,1	168,4
8 <sup>3</sup>	228,5	915,3	84,6	79,7	563,0	312,6	251,9	241,4
12 <sup>4</sup>	221,2	906,3	93,6	74,3	536,6	426,3	267,4	180,7
<b>Com <i>Azospirillum</i></b>								
0	238,6	915,1	84,8	79,3	541,4	286,7	235,9	252,3
4	230,9	915,0	84,9	74,7	537,2	411,1	293,8	146,6
8	222,2	907,9	92,0	86,6	513,6	304,3	245,6	232,6
12	196,7	890,8	109,1	79,0	488,5	316,9	257,3	213,2
<b>EPM</b>	1,4685	0,7209	0,7209	0,6529	5,2087	5,5939	2,8641	6,5971
<b>Efeito principal da dose de silício</b>								
0	222,3	904,3	95,6	74,3	558,5	275,9	226,2	261,2
4	233,0	909,2	90,7	71,6	557,7	360,1	271,4	200,0
8	225,3	911,6	88,3	83,1	538,3	308,4	248,7	250,2
12	209,0	898,6	101,3	76,7	512,5	371,6	262,4	148,2
<b>EPM</b>	1,1216	0,5506	0,5506	0,4380		4,2724	2,1875	5,7133
<b>Efeito principal de <i>Azospirillum</i></b>								
SEM <sup>5</sup>	222,7	904,6	95,0	73,0	563,4	328,3	246,2	214,9
COM <sup>6</sup>	222,1	907,2	92,7	79,9	520,2	329,8	258,2	208,7
<b>EPM</b>	0,7281	0,3752	0,3752	0,3237	2,4935	2,7735	1,4905	3,2361
<b>P-Valor</b>								
<b>Dose de silício (Si)</b>	0,4359	0,2730	0,2730	0,3550	0,7176	0,3238	0,4895	0,8391
<b><i>Azospirillum</i> (Az)</b>	0,9539	0,6244	0,6244	0,1515	0,2229	0,9710	0,5676	0,4000
<b>Si × Az</b>	0,3144	0,0684	0,0684	0,9837	0,9983	0,3310	0,7706	0,2830

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; <sup>1</sup> Dose 0 de silício; <sup>2</sup> Dose 4 de silício; <sup>3</sup> Dose 8 de silício; <sup>4</sup> Dose 12 de silício; <sup>5</sup> Sem a utilização de *Az*; <sup>6</sup> 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.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 Características agronômicas

As investigações sobre os benefícios de bactérias promotoras de crescimento de plantas junto às culturas são justificadas por serem práticas sustentáveis quando comparadas à aplicação de fertilizantes químicos (MALINICH BAUER, 2018; LEITE et al., 2019). Da mesma maneira o silício é um elemento capaz de oferecer benefícios às plantas (EPSTEIN, 2009). O uso de Si pode aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos e diminuir os efeitos provenientes da má nutrição nas plantas (HERNANDEZ-APAOLAZA, 2014).

Neste estudo as variáveis matéria seca da folha (g/kg/MS), matéria seca da panícula (g/kg/MS), relação folha:colmo (g/kg/MS) os constituintes folhas (g/kg/MV), colmo (g/kg/MV) e o número de perfilhos vivos (NPV), altura da planta até a folha bandeira (APFB) e diâmetro do colmo (DC) foram influenciados pela inoculação com *Azospirillum brasilense* e pelas doses de Si (efeito de interação). O comprimento de panícula (CP) e diâmetro de panícula (DP) foram influenciados pelo efeito isolado do *Azospirillum brasilense*.

O aumento na matéria seca nas variáveis folha e panícula pode estar diretamente relacionado a reduções na transpiração e aumentos na atividade fotossintética (EPSTEIN, 2009), ainda que não avaliados no presente trabalho, são fatores ligados aos efeitos da utilização de Si. Tendo em vista que a importância do Si para as plantas está ligada ao fato de que o elemento está envolvido na rigidez das paredes celulares o que permite melhora na resistência e na arquitetura foliar, tornando as folhas mais verticais melhorando a capacidade de absorção de luz (FENG et al., 2010). Deste modo, é possível observar efeito direto na redução da condutância estomática e da taxa transpiratória, favorecendo a eficiência fotossintética das plantas (BARRETO et al., 2017; KOCHANOVÁ et al., 2014).

Magalhães et al., (2009) ao trabalharem com linhagens de milho, sendo duas tolerante e uma sensível a seca, notou alterações nas trocas gasosas das plantas, sendo possível observar que as plantas tolerantes mantiveram seus níveis normais de produção, enquanto as plantas sensíveis evidenciaram decréscimo em função da queda na condutância estomática, o que levou ao fechamento dos estômatos e conseqüentemente a redução da transpiração.

Com base nos resultados do presente trabalho, também é possível associar a melhoria nas variáveis de produção do milheto às características de ação do Si quando submetido ao estresse hídrico, tendo em vista que o trabalho foi desenvolvido de modo que a cultura somente recebesse 60% da quantidade de água necessária ao seu desenvolvimento. Assim, o Si sob condições de estresse pode elevar a integridade física das células, resultados que foram observados por Kochanová et al., (2014) quando trabalhou com *Zea mays* e por Li et al., (2012) quando trabalhou com *Cucumis melo*.

Souza et al., (2015) quando trabalharam com aplicação de silício nas culturas de milho e sorgo, mostraram que o silício pode trazer benefícios em situação de déficit hídrico, pois o Si foi capaz de controlar a falta de água e estimular o crescimento e a produção vegetal através de ações indiretas, permitindo proteção contra fatores abióticos e bióticos. Ainda de acordo com Souza et al., (2015), os autores reportaram que a manutenção de água nos tecidos foliares

aumentaram, nas plantas com doses crescentes de Si, o que possivelmente tenha ocorrido pela acumulação do Si nos tecidos foliares, que provocaram redução nas taxas de transpiração.

O Si pode diminuir a peroxidação lipídica, levando à diminuição de espécies reativas de oxigênio e a conservação das estruturas dos cloroplastos (HERNANDEZ-APAOLAZA, 2014). Além do mais, é capaz de atenuar a deterioração da clorofila e manter a integridade da membrana (KOCHANOVÁ et al., 2014). Segundo os autores Maksimovic, Bogdanovic, Maksimovic, e Nikolic, (2007) estudos indicam que o Si pode se ligar a complexos monofenóis livres, formando Si-fenol impedindo a acumulação de espécies reativas de oxigênio nas organelas celulares.

O *Azospirillum brasilense* também pode influenciar a produção de matéria seca das plantas, além de auxiliar no desenvolvimento e nutrição, com efeitos observados na altura, no desenvolvimento de colmo, folhas e panículas. Estes são resultados que não podem ser atribuídos somente à capacidade do *Azospirillum* de fixar nitrogênio atmosférico, mas também à produção de fitormônios. Os fitormônios, por sua vez, são capazes de promover aumento no tamanho e na densidade de raízes, fazendo com que haja maior contato das raízes com solo, proporcionando melhora na absorção de nutrientes e de água, logo, por conseguinte a produção de biomassa é aumentada (HUNGRIA et al., 2010; ARDAKANI e MAFAKHERI, 2011).

Ao trabalhar com adubação nitrogenada associada ao *Azospirillum brasilense*, da Silva Filho, (2020) constatou que a produção de matéria seca e a altura de planta foram influenciadas pelo uso do *Azospirillum brasilense*, sendo possível observar um incremento de 5.940 kg ha<sup>-1</sup> na PMS e aumento na altura de planta quando usado a bactéria. De acordo com Fukami et al., (2017), as auxinas, giberelinas e seus percussores, produzidos pela bactéria, são capazes de aumentar o crescimento das plantas. O que ocorre pelo fato de tais substâncias fazerem parte de vários processos fisiológicos diretamente ligados ao desenvolvimento vegetal.

De tal modo, a ação das giberelinas e auxinas podem interferir na expansão das células vegetais, causando alongamento da parte aérea da planta (TAIZ e ZEIGER, 2013). Assim, é possível afirmar que o comprimento da panícula (CP) e diâmetro da panícula foram diretamente influenciados pela inoculação com *Azospirillum brasilense*, pois além das auxinas e giberelinas, a bactéria é capaz de fornecer parte do N exigido pela cultura impactando de maneira positiva a produtividade (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2018).

## 6.2 *Sanidade de folhas e colmos*

Em relação a sanidade do colmo e das folhas os tratamentos avaliados apresentaram excelentes resultados, em que foi possível observar que o colmo apresentou boa condição de sanidade e as folhas apresentaram boa resistência, levando em consideração os critérios de avaliação utilizados.

A podridão do caule causa danos diretos às plantas devido a alterações na consistência dos feixes vasculares das plantas, prejudicando o transporte de água e nutrientes do solo para a parte aérea da planta, reduzindo o rendimento potencial e qualidade do grão, isso contribui para a morte precoce das plantas. Além de interferir na sustentação do colmo, reduzir a resistência ao tombamento das plantas e dificultar a colheita mecânica (CASA et al., 2007).

As sanidades das folhas é um fator de grande importância para a planta, pois as folhas desempenham importante função na produção de fotoassimilados, fator com grande relevância, tendo em vista que os fotoassimilados serão realocados para o enchimento de grãos (LIMA et al., 2010). O milheto possui boa resistências ao ataque de patógenos, além disso o presente trabalho foi realizado com a utilização de Si, que tem como uma de suas vantagens melhorar a resistência das plantas contra pragas e doenças e o *Azospirillum brasilense*, que desenvolve papel importante no aporte nutricional da planta, resultando em uma planta mais vigorosa e menos susceptível a ataques.

## 6.3 *Qualidade fermentativa e Microbiologia das silagens*

De forma geral, pode-se notar que os tratamentos a nível de campo não exerceram muita influência sobre as características da silagem, independentemente de se ter utilizado a silagem exclusiva de milheto ou da formulação das dietas de ração completas. Observou-se o pH foi mais elevado na silagem de ração total para bovinos (4,8) em comparação com as outras silagens (4,6 a 4,4) (Tabela 9), o que pode estar relacionado à composição específica da dieta e às interações entre os ingredientes utilizados. As silagens de ração total, de maneira geral, têm valores de pH mais elevados que silagens exclusivas em função da menor intensidade de fermentação, resultado do maior teor de matéria seca causado pela inclusão dos concentrados (SCHMIDT et al., 2017).

Relacionado ao perfil fermentativo, observou-se um efeito do *Azospirillum brasilense* sobre a capacidade tampão nas silagens exclusivas de milheto e nas silagens de ração total para cabras leiteiras (Tabela 10 e 11). A capacidade tampão é uma variável importante, servindo como indicativo da resistência das silagens às mudanças de pH (JOBIM et al., 2007). As

principais substâncias relacionadas com este efeito são os ácidos orgânicos, o teor de minerais e os compostos nitrogenados (MCDONALD et al., 1991; PLAYNE; MCDONALD, 1966). Como o *Azospirillum brasilense* é uma bactéria fixadora de N atmosférico, pode-se observar um aumento de compostos nitrogenados na planta através de processos bioquímicos específicos, em que as plantas inoculadas com esta bactéria apresentam maior captação de N nos colmos, folhas e grãos, principalmente se houver disponibilidade de N no solo (FUKAMI et al., 2018; TILAK; RAO, 1987).

Os efeitos de interação observados na microbiologia das silagens demonstram que o uso do *Azospirillum brasilense* e as doses de silício promoveram mudanças no milho ainda no campo, pois as populações microbianas variaram de acordo com os tratamentos avaliados. Um dos principais fatores para isso pode estar relacionado à melhoria da nutrição vegetal, como a assimilação de N promovido pelo *Azospirillum brasilense*, relacionando-se diretamente com a maior tolerância ao déficit hídrico promovido pelo silício (BISHNOI et al., 2023; FASCIGLIONE et al., 2015). Esta tolerância do milho é bem estabelecida na literatura (SHRESTHA et al., 2023), mas é potencializado pelo uso do silício (BASILIO-APOLINAR et al., 2021). Com isso, o aumento das taxas fotossintéticas e da eficiência de uso da água causam alterações diretas no acúmulo de carboidratos na planta (BUKHARI et al., 2021; WASAYA et al., 2022).

Diante disso, observou-se que as bactérias lácticas apresentaram valores satisfatórios e típicos de silagens bem fermentadas, em que as médias variaram de 4 a 7 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem (KUNG et al., 2018). Em experimento avaliando a inclusão ou não de silício sob condições de déficit hídrico no trigo em diferentes estádios fenológicos, Ning et al. (2023) relataram que as plantas acumulam mais proteína solúvel e carboidratos solúveis quando se aplica silício nas plantas em comparação ao tratamento sem silício. Isso permite inferir que o teor de carboidratos solúveis no milho, no presente estudo, apresentou maiores valores em função da aplicação do silício e, como estes são o principal substrato para fermentação microbiana. Desse modo, ocorre a produção de ácido láctico e a concomitante redução do pH das silagens, conforme observado nas silagens avaliadas (MUCK et al., 2018; PAHLOW et al., 2003).

A população de leveduras tem uma relação direta com as bactérias lácticas, já que competem fortemente no interior do silo pelo mesmo substrato (MUCK et al., 2018). Além disso, muitas leveduras são ácido-tolerantes e mesmo com o abaixamento do pH e a condição de anaerobiose, as mesmas não são inibidas, produzindo de maneira ininterrupta etanol e CO<sub>2</sub>



durante a fermentação, aumentando significativamente as perdas de matéria seca (SANTANA et al., 2022).

Por conta desta dinâmica fermentativa entre os microrganismos, pode-se explicar a maior população de leveduras nas silagens exclusivas de milho (Tabela 14), já que possuem maior concentração de carboidratos solúveis do que as silagens de ração total, independentemente da dose de silício aplicada (Tabela 14). Disto isso, é possível observar que a recuperação de matéria seca em ambas as silagens de ração total foi maior que 90% (Tabela 9 e 10), enquanto as silagens exclusivas de milho apresentaram valores variando de 73 a 85% (Tabela 11), fato relacionado à dinâmica fermentativa e maior população de leveduras ao longo da fermentação.

Além disso, ao adicionar os concentrados na formulação da ração total, há aumento do teor de matéria seca, o que limita significativamente a proliferação de leveduras no meio, ao passo que as bactérias lácticas são mais tolerantes a esta condição (BUENO et al., 2020; PAHLOW et al., 2003). No presente trabalho, observou-se a completa inibição das leveduras nos tratamentos sem inoculação com *Azospirillum brasilense* com as doses de 0, 4 e 12 kg ha<sup>-1</sup> e nos tratamentos inoculados com *Azospirillum brasilense* com as doses de 0 e 12 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 12).

Apesar de as silagens com as demais doses de silício não terem zerado as contagens para leveduras, observa-se que a média não passou de 1,5 log UFC g<sup>-1</sup> de silagem, fato este muito expressivo. Contrariamente, nas silagens de ração total para caprinos leiteiros, observaram-se maiores contagens, provavelmente pelas diferentes nas proporções de concentrados incluídos na dieta, o que causa mudanças no perfil fermentativo e microbiano (Tabela 13).

Os mofos, por sua vez, apresentaram altas contagens em todas as silagens, com exceção das silagens de ração total para caprinos leiteiros (Tabela 13), provavelmente também devido à mudança na composição da dieta. Como os fungos filamentosos das silagens (mofos) são microrganismos estritamente aeróbios e mais tolerantes que as leveduras à redução na atividade de água (PAHLOW et al., 2003), é provável que o aumento nos teores de matéria seca das silagens tenha dificultado a compactação do material e deixado o ambiente em uma condição com traços de O<sub>2</sub>, favorecendo a proliferação desse grupo ao longo do processo fermentativo e com a possibilidade de produção de diversas micotoxinas (COGAN et al., 2017; DEL PALACIO et al., 2016).

#### 6.4 *Composição químico-bromatológica*

Com relação à composição química, observa-se que a dose de silício apresentou efeito isolado sobre os teores de FDA das silagens de ração total para bovinos de corte (Tabela 15). O silício é um elemento capaz de influenciar a composição química das plantas, especialmente a fração fibrosa, afetando a síntese de compostos como a lignina, o que afeta diretamente a digestibilidade do material ensilado (BASILIO-APOLINAR et al., 2021; HASSAN et al., 2021; SHRESTHA et al., 2023). Dessa forma, como apenas esta silagem apresentou efeito significativo para a FDA, é provável que, além da aplicação do silício, a combinação de nutrientes durante a formulação da ração tenha levado a alterações quanto ao teor fibroso da mesma.

Relacionado a outros parâmetros importantes na dieta animal, cabe ressaltar que as silagens de ração total apresentaram respostas positivas, com teores de PB e MS dentro ou próximo dos valores exigidos. Os teores de matéria seca das silagens de ração total apresentaram médias dentro de preconizado como ideal. Amaral et al., (2008) obtiveram teores de matéria seca entre 21 e 36% quando analisaram silagens de milho confeccionadas em diferentes idades de corte, já Costa et al., (2012) relataram teores de matéria seca com valores de 25,80 a 28,48%, em silagens de milho com corte aos 65 dias de crescimento vegetativo.

Os teores de matéria seca presentes nas silagens são fatores importantes durante o processo de fermentação e estão absolutamente associados ao estágio fenológico da planta no período da colheita (MCDONALD et al., 1991). Ainda de acordo com McDonald et al., (1991) teores de MS ideais encontram-se entre 30 e 35%, as silagens de ração total do presente estão dentro da faixa considerada pelo autor, o que mostra que a adição dos concentrados à forragem foi eficaz em reduzir a atividade de água durante o período fermentativo.

Segundo Zanine et al., (2010), as forrageiras apresentam naturalmente teores de MS baixos, principalmente quando são colhidas ainda jovens, essa característica pode atrapalhar o processo fermentativo da silagem, pois há alta umidade e a atividade da água acarreta o desenvolvimento de organismos maléficos. Para Van Soest (1994) o recomendado é que as forrageiras ao serem ensiladas estejam com teores de 30% MS.

Em relação aos valores de PB as SRT apresentaram valores entre 111,94 e 120,84 g/kg na MS (Tabelas 12 e 13) e se mostraram condizentes para o atendimento das exigências de cabras leiteiras. Tendo em vista que a proteína é um dos componentes mais onerosos da dieta, as silagens de ração total se mostram competitivas em relação aos concentrados padrões, milho

e soja. A deficiência de proteína na dieta vai limitar o crescimento microbiano e consequentemente irá reduzir a digestibilidade da parede celular, o consumo (Van Soest., 1994) e, por fim, o desempenho animal.

Nesse sentido, o uso do milho cultivado sobre o uso de Si e a inoculação com *Azospirillum* para produção de forragem conservada é uma opção viável, sobretudo para suprir as necessidades nutricionais dos animais em períodos de estacionalidade climática.

## **7 CONCLUSÃO**

A dose 12kg ha<sup>-1</sup> de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* quando associadas foram eficientes em melhorar as características produtivas e morfológicas do milho.

A utilização de silagem de milho e ração total mostrou-se uma estratégia promissora e viável para alimentação de bovinos de corte e cabras leiteiras. Os resultados obtidos indicam padrões fermentativos, populações microbianas e composição químico-bromatológica adequadas mesmos com a utilização silício e *Azospirillum brasilense* na produção do milho, sugerindo assim, essa combinação nutricional em dietas de ração total para produção de carne bovina e de leite caprino.

## REFERÊNCIAS

ABDOLLAHZADEH, F.; PIRMOHAMMADI, R.; FATEHIET, F. et al. Effect of feeding ensiled mixed tomato and apple pomace on performance of holstein dairy cows. **Slovak Journal Animal Science**, v.43, p.31-35, 2010.

AGUIRRE, P. F.; GIACOMINI, S. J.; OLIVO, C. J. et al. biological nitrogen fixation and urea-N recovery in “coastcross<sup>-1</sup>” pasture treated with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, 2020.

AHMED, M.; QADEER, U.; AQEEL ASLAM, M. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 3, p. 594–607, 2011.

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.

AOAC. In: Latimer Jr., G.W. (Ed.), Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington (D. C.) 2016.

ARDAKANI, M.; MAFAKHERI, S. Designing a sustainable agroecosystem for wheat (*Triticum aestivum* L.) production. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences** 1:401-403. 2011.

BARASSI, C.A.; SUELDO, R.J.; CREUS, C.M. et al. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizer el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**, p.49-59, 2008.

BARRETO, C. F. Silício e amônio na nutrição e no crescimento de brassicas. Master's thesis, São Paulo State Univ., São Paulo, Brazil. 2015.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L.E. *Azospirillum*-plant relations: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v.50, p.521-577, 2004.

BASILIO-APOLINAR, A.; GONZÁLEZ-DE LA VARA, L. E.; GABRIEL RAMÍREZ-PIMENTEL, J. et al. Silicon induces changes in the antioxidant system of millet cultivated in drought and salinity. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 81, n. 4, p. 655–663, 2021.

BHATTACHARJEE, Ranjana et al. Establishment of a pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] core collection based on geographical distribution and quantitative traits. **Euphytica**, v. 155, p. 35-45, 2007.

BISHNOI, A.; JANGIR, P.; SHEKHAWAT, P. K. et al. Silicon Supplementation as a Promising Approach to Induce Thermotolerance in Plants: Current Understanding and Future Perspectives, **Springer Science and Business Media Deutschland GmbH**, 2023.

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**, 75(11), 3066-3083, 1992.

BRUNKEN, Jere N. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Gramineae). **American journal of botany**, v. 64, n. 2, p. 161-176, 1977.

BUENO, A. V. I.; LAZZARI, G.; JOBIM, C. C. et al. Ensiling total mixed ration for ruminants: A review. **Agronomy**, v. 10, n. 6, 2020.

BUKHARI, M. A.; AHMAD, Z.; YASIN ASHRAF, M. et al. Silicon Mitigates Drought Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Through Improving Photosynthetic Pigments, Biochemical and Yield Characters. **Silicon**, v. 13 p.4757-4772, 2021.

CARVALHO, G. G. P., FREITAS, P. M. D., SANTOS, E. M., et al. Effect of pearl millet silage ammoniated with urea on lamb production and metabolic performance. **Grass and Forage Science**, 73(3), 685-693, (2018).

CASA, R. T., MOREIRA, E. N., BOGO, A., & SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, 33, 353-357, (2007).

Clotault, J., Thuillet, A. C., Buiron, M., De Mita, S., Couderc, M., Haussmann, B. I., ... & Vigouroux, Y. Evolutionary history of pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) and selection on flowering genes since its domestication. **Molecular biology and evolution**, 29(4), 1199-1212, (2012).

COGAN, T.; HAWKEY, R.; HIGGIE, E. et al. Silage and total mixed ration hygienic quality on commercial farms: implications for animal production. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 4, p. 601–613, 2017.

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A. et al. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**, p.87-95, 2008.

CROOKSTON, B.; BLASER, B.; DARAPUNENI, M. et al. Pearl millet forage water use efficiency. **Agronomy**, v. 10, n. 11, 2020.

SILVA FILHO, WALTER SOARES. Eficiência do *Azospirillum brasilense* associado à adubação nitrogenada sobre as características agronômicas do milheto e valor nutricional de sua silagem. 2020.

DE ASSIS, R. L.; DE FREITAS, R. S.; MASON, S. C. Pearl millet production practices in Brazil: a review. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 5, p. 699-718, 2018.

DEL PALACIO, A.; MIONETTO, A.; BETTUCCI, L. et al. Evolution of fungal population and mycotoxins in sorghum silage. **Food Additives and Contaminants - Part A**, v. 33, n. 12, p. 1864–1872, 2016.

DOS REIS, G. B.; MESQUITA, A. T.; TORRES, G. A. et al. Genomic homeology between *Pennisetum purpureum* and *Pennisetum glaucum* (*Poaceae*). **Comparative cytogenetics**, v. 8, n. 3, p. 199, 2014.

EPSTEIN, E.; Silício: Seus múltiplos papéis nas plantas. **Anais de Biologia Aplicada**, 155, 155–160. 2009.

FASCIGLIONE, G.; CASANOVAS, E. M.; QUILLEHAUQUY, V. et al. *Azospirillum* inoculation effects on growth, product quality and storage life of lettuce plants grown under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 154–162, 2015.

FENG, J.; SHI, Q.; WANG, X. et al. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, 123, 521–530. 2010.

FONTANELLI, R. S.; BONDAN, C.; dos SANTOS, H.P. et al. Utilização estratégica de gramíneas anuais de verão para vazio forrageiro outonal e cobertura de solo. **Plantio Direto**, n. 179, p. 42-48, jan./fev. 2021.

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

FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M. et al. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **Amb Express**, v 7, p 1-14, 2017.

GOMES, P.C.; RODRIGUES, M.P.; ALBINO, L.F.T; et al. Determinação da composição química e energética do milho e sua utilização em rações para frango de corte de 1 a 21 dias de idade, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.9, p.1617-1621, 2008.

GONZÁLEZ, G.; RODRÍGUEZ, A.A. Effect of Storage Method on Fermentation Characteristics, Aerobic Stability, and Forage Intake of Tropical Grasses Ensiled in Round Bales. **Journal Dairy Science**, v. 86, p. 926–933, 2003.

GUIMARÃES JÚNIOR, R. Avaliação nutricional de silagem de milho [*Pennisetum* (L). R. Br.]. 90p. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2006.

GUIMARÃES JÚNIOR, R.; GONÇALVES L. C.; JAYME, D. G. et al. In situ degradability's of pearl millet silages in sheep. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.2, p.334 343, 2010.

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 milho [*Pennisetum glaucum* (L). R. Br.] em diferentes períodos de fermentação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 251-258, 2009.

GUSMÃO, J. O.; DANES, M. A. C.; CASAGRANDE, D. R. et al. Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 3, p. 717–726, 2018.

HASSAN, Z. M.; SEBOLA, N. A.; MABELEBELE, M. The nutritional use of millet grain for food and feed: a review. **Agriculture & food security**, v. 10, p. 1-14, 2021.

HERNANDEZ-APAOLAZA, L. Can silicon partially alleviate micro nutrient deficiency in plants? A review. **Plants**, 240(3), 447–458. 2014.

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; et al. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum*



sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. **Asociación Argentina de Microbiología**, Argentina, 2008.

HUNGRIA M.; NOGUEIRA M.; ARAUJO R. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agric Ecosyst Environ** 221:125–131, 2016.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M., et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil** 331:413-425. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. 2018.

JACOVETTI, R. et al. Millet silage compared to traditional grasses: quantitative, qualitative, and economic characteristics. **Ciência Animal Brasileira**, v.19, p.e-26539, 2018.

JADHAO, K. R.; ROUT, G. R. Silicon (Si) enhances the resistance in finger millet genotypes against blast disease. **Journal of Plant Pathology**, n. 102, p.985-1006, 2020.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A.; et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101–119, 2007.

KLOEPPER, J.W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R.M. Free-living Bacterial Inocula for Enhancing Crop Productivity. **Trends In Biotechnology**. V.7, P.39-43, 1989.

KOCHANOVÁ, Z.; JAŠKOVÁ, K.; SEDLÁKOVÁ, B. et al. Silicon improves salinity tolerance and affects ammonia assimilation in maize roots. **Biologia**, 69, 1164–1171. 2014.

KUNG JR, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J. et al. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p.4020 – 4033, 2018.

LEITE, R. C.; SANTOS, A. C.; SANTOS, J. G. D. et al. Mitigation of mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum* Brasilense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

LI, W.; BI, Y.; GE, Y. et al. Effects of postharvest sodium silicate treatment on pinkroot disease and oxidative stress-antioxidative system in musk melon fruit. **European Food Research and Technology**, 234(1), 137–145. 2012.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminants feeds, *Animal Feed Science and Technology*, 57(4), 347-358. 1996.

MAGALHÃES, P. C., DE SOUZA, T. C., DE ALBUQUERQUE, P. E. P. et al. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 8(03), (2009).

MAKSIMOVIC, J. D.; BOGDANOVIC, J.; MAKSIMOVIC, V. et al. Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 170(6), 739–744. 2007.

MALINICH, E. A.; BAUER, C. E. The plant growth promoting bacterium *Azospirillum brasilense* is vertically transmitted in *Phaseolus vulgaris* (common bean). **Symbiosis** 76:97-108. 2018.

MANGA, V. K. Diversity in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] and its management. **Indian J Plant Sci**, v. 4, n. 1, p. 38-51, 2015.

MCDONALD, P. J.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. The Biochemistry of Silage. 2nd. 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**, 85(6), 1217-1240, 2002.

MODESTO, V. C.; ANDREOTTI, M.; NAKAO, A. H. et al. Yield and Production Components of Corn Under Straw of Marandu Palisade Grass Inoculated With *Azospirillum brasilense* in the Low-Land Cerrado. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2021.

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

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.

NING, D.; ZHANG, Y.; LI, X. et al. The Effects of Foliar Supplementation of Silicon on Physiological and Biochemical Responses of Winter Wheat to Drought Stress during Different Growth Stages. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2386, 2023.

NISHINO, N.; WADA, H.; YOSHIDA, M. 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, p.2563- 2570, 2004.

NISHINO, N.; HARADA, H.; SAKAGUCHI, E. Evaluation of fermentation and aerobic stability of wet brewers' grains ensiled alone or in combination with various feeds as a total mixed ration. **Journal of Science**. v. 83, p.557-563, 2003.

NITHIYANANTHAM, S.; KALAISELVI, P.; MAHOMOODALLY, M. F. et al. Nutritional and functional roles of millets—A review. **Journal of food biochemistry**, v. 43, n. 7, p. e12859, 2019.

NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. **National Academy Press**, 2007.

PAHLOW, G.; MUCK, R. E.; DRIEHUIS, F. et al. Microbiology of Ensiling. In: Silage Science and Technology. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, **Soil Science Society of America**, v. 42p. 31–94, 2003.

PEI, J; UMAPATHY, V. R.; VENGADASSALAPATHY, S. et al. A review of the potential consequences of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) for diabetes mellitus and other biomedical applications. **Nutrients**, v. 14, n. 14, p. 2932, 2022.

PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. S.; COELHO, A. M.; et al. Manejo da cultura do milheto. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 29), 2003.

PINHO, R. M. A., SANTOS, E. M., CAMPOS, F. S. et al. Silages of pearl millet submitted to nitrogen fertilization. **Ciência Rural**, 44, 918-924, 2014.

PINHO, R. M. A.; SANTOS, E. M.; RODRIGUES, J. A. S. et al. Avaliação de genótipos de milheto para silagem no semiárido. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**.v. 14, n. 3, p. 426-436, 2013.

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.

PUNIA, S.; KUMAR, M.; SIROHA, A. K. et al. Pearl millet grain as an emerging source of starch: A review on its structure, physicochemical properties, functionalization, and industrial applications. **Carbohydrate polymers**, v. 260, p. 117776, 2021.

QUEIROZ, D. S.; SANTANA, S. S.; MURÇA, T. B. et al. Cultivares e épocas de semeadura de milho para produção de forragem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 2, p. 318-329, abr./jun. 2012.

SANTANA, L. P.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. et al. Microbial inoculant and cottonseed cake as additives for millet silage at different fermentation times. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1–17, 2022.

SANTOS, E. M.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R. et al. Effect of regrowth interval and a microbial inoculant on the fermentation profile and dry matter recovery of guinea grass silages. **Journal of Dairy Science**, 97(7), 4423-4432, 2014.

SANTOS, E.M; ZANINE, A.M. Silagem de gramíneas tropicais. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n.1, p. 32-45, 2006.

Santos, H. D., Jacomine, P., Anjos, L. D., Oliveira, V. D., Lumberras, J. F., Coelho, M., ... & Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 2018. 356p. Revista e ampliada, 2018.

SAS, Sas/Stat University User Guide. Sas Institute Inc, Cary (NC) 2015.

SATYAVATHI, C. T.; AMBAWAT, S.; KHANDELWAL, V. et al. Pearl Millet: A Climate-Resilient Nutricereal for Mitigating Hidden Hunger and Provide Nutritional Security, **Frontiers Media S.A.**, 2021.

SCHINGOETHE, D. J. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 10143–10150, p. 12, 2017.

SCHMIDT, P. RESTELATTO, R. ZOPOLLATTO, M. Ensiling total mixed rations—An innovative procedure. In: **Proceedings of the V International Symposium on Forage Quality and Conservation, Piracicaba, Brazil**. p. 16-17. 2017.

SENGER, C. C. D.; KOSLOZKI, G. V.; SANCHES, L. M. B. et al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal feed science and technology**, v. 146, n. 1-2, p. 169-174, 2008.

SEPPÄLÄ, A.; HEIKKILÄ, T.; MÄKI, M. et al. Controlling aerobic stability of grass silage-based total mixed rations. **Animal Feed Science and Technology**, v.179, p 54-60, 2012.

SHRESTHA, N.; HU, H.; SHRESTHA, K. et al. Pearl millet response to drought: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1059574, 2023.

SILVA, J. J.; CARVALHO, D. M. G.; GOMES, R. A. B. et al. Produção de leite de animais criados em pastos no Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 26-36, 2010.

SILVA, N. R. Biomassa, eficiência de conversão, recuperação aparente de nitrogênio e composição bromatológica da silagem de cultivares de milho submetidos à adubação nitrogenada. 88 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) -Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (EVZ) -Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SOUZA, L.C.; MELO, N.C.; SIQUEIRA, J.A.M. et al. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Revista Agrarian**, v.8, n.29, p.260-267, 2015.

STICH, B.; HAUSSMANN, B. I. G.; PASAM, R. et al. Patterns of molecular and phenotypic diversity in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] from West and Central Africa and their relation to geographical and environmental parameters. **BMC Plant Biology**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology= Fisiologia Vegetal. **Editora Artemed: Porto Alegre, Brazil**, 2013.

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p.1016-1024, 1979.

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

TREVISOLI, F. C. A.; FRANÇA, A. F. S.; CORRÊA, D. S. et al. Composição bromatológica de silagens de cultivares de milho com inclusão de casca de soja. **Revista Ciência Agronômica**, 48(3), 540-547 (2017).

ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T. et al. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762-773, 2017.

UPADHYAYA, H. D.; REDDY, K. N.; AHMED, M. I. et al. Geographical distribution of traits and diversity in the world collection of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., synonym: *Cenchrus americanus* (L.) Morrone] landraces conserved at the ICRISAT genebank. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, p. 1365-1381, 2017.

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

WANG, F., NISHINO, N., Resistance to aerobic deterioration of total mixed ration silage: effect of ration formulation, air infiltration and storage period on fermentation characteristics and aerobic stability. **Journal of Science Food Agriculture**. v.88, p.133-140, 2008a.

WASAYA, A.; HASSAN, J.; YASIR, T. A. et al. Foliar Application of Silicon Improved Physiological Indicators, Yield Attributes, and Yield of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) Under Terminal Drought Stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 4, p. 4458-4472, 2022.

WEINBERG, Z. G.; CHEN, Y.; MIRON, D. et al., Preservation of total mixed rations for dairy cows in bales wrapped with polyethylene stretch film – A commercial scale experiment. **Animal Feed Science and Technology** v.164, p. 125-129, 2011.

YUAN, X., GUO, G., WEN, A. 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**, 207, 41-50. 2015.