



Universidade Federal do Maranhão-UFMA
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
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



**BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA VIABILIDADE DE PLANTIO DO SORGO
FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM EM DIETAS DE
RUMINANTES NA MODULAÇÃO DO DÉFICT HÍDRICO NO PERÍODO DA SECA**

RENATA SOUSA COSTA

Chapadinha-MA
2023



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



RENATA SOUSA COSTA

**BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA VIABILIDADE DE PLANTIO DO SORGO
FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM EM DIETAS DE
RUMINANTES NA MODULAÇÃO DO DÉFICT HÍDRICO NO PERÍODO DA SECA**

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

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Anderson de Moura Zanine

Coorientador: Dra. Daniele de Jesus Ferreira e Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos

Chapadinho-MA

2023



Universidade Federal do Maranhão-UFMA
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
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



RENATA SOUSA COSTA

**BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA VIABILIDADE DE PLANTIO DO SORGO
FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM EM DIETAS DE
RUMINANTES NA MODULAÇÃO DO DÉFICT HÍDRICO NO PERÍODO DA SECA**

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Profa. Dra. Daniele de Jesus Ferreira (Coorientador)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos (Coorientador)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Dr. Rodolfo Lizcano Toledo (Avaliador externo)
Universidad del Tolima-Colômbia

Dr. Dilier Olivera Vicedo (Avaliador externo)
Universidad de O'Higgins-Chile



Universidade Federal do Maranhão-UFMA
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
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



EPÍGRAFE

“Quando tiver que escolher entre estar certo e ser gentil, escolha ser gentil”
Dr. Wayne W. Dyer



Universidade Federal do Maranhão-UFMA
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
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



SOUSA COSTA, RENATA.

BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA VIABILIDADE DE PLANTIO DO SORGO FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM EM DIETAS DE RUMINANTES NA MODULAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NO PERÍODO DA SECA / RENATA SOUSA COSTA. - 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, 2023.

1. Água. 2. Ensilagem. 3. Produtividade. 4. Sorghum bicolor. I. de Jesus Ferreira, Daniele. II. De Moura Zanine, Anderson. 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
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



DEDICATÓRIA

Ao meu pai Jucelino de Assis Costa (*In memoriam*) por todo apoio, carinho e amor que um pai pode oferecer. Te amarei eternamente.



Universidade Federal do Maranhão
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à Deus, por ter me protegido e guiado meus passos até aqui.

A minha família, que sempre será a minha base, nas pessoas da minha avó Maria das Dores, do meu tio José de Ribamar, das minhas tias Maura e Maurilene, e da minha irmã Ana Maria. Quero deixar o meu muito obrigada, pois me ajudaram de forma inexplicável a me tornar a pessoa que sou hoje.

Ao querido e amado marido, Rodrigo Alves, por sempre estar ao meu lado, dando-me forças para continuar e sendo um grande apoio. À minha sogra Elaneide e ao meu sogro Raimundo Pereira, por serem pessoas maravilhosas. Aos meus mais que cunhados, verdadeiros irmãos Rosana e Diego Henrique.

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA), em especial o programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA), por colaborar de forma significativa para a minha formação profissional até aqui.

Ao Grupo de Pesquisa em Ruminantes no Maranhão (GEPRUMA), nas pessoas dos professores Dr. Henrique Nunes Parente e Dr^a. Michelle Parente, por toda a colaboração durante a realização deste trabalho.

Aos grupos de pesquisa LANUMA e FOPAMA, por toda a ajuda durante a realização deste trabalho e pela grande disponibilidade.

Aos amigos que ganhei ao longo destes dois anos, em especial Francisca Claudia, Mayara de Sousa, Clotilde Moraes e Carlos Rodolfo. Vocês foram muito mais do que amigos. Obrigada por todo o apoio, companheirismo e por todos os momentos que compartilhamos juntos.

Aos alunos do PIBIC que me auxiliaram em toda a execução deste trabalho, desde o trabalho de campo até as análises laboratoriais: Júlia Bianca, George, Victorya, Gisele, Leandro, Wilami e João Lucas.

Aos pós-doutores Danilo, Fleming e Hactus, por toda a assistência prestada e pelos conhecimentos compartilhados, o meu mais sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Anderson Zanine, pela confiança no desenvolvimento deste trabalho, pela paciência, ajuda, opiniões e valiosos ensinamentos. Também aos meu co-

orientadores, Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos e Profa. Dr^a. Daniele de Jesus Ferreira, por todo o apoio e ensinamentos. A todos vocês, meu respeito e gratidão. Muito obrigada por tudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento do projeto e pela bolsa de mestrado concedida, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

A todos que me ajudaram de forma direta ou indiretamente, deixo expresso o meu profundo agradecimento.

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos individuais ou de interação da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sob as características morfoagronômicas, produtivas e valor nutricional das silagens de sorgo. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com 5 repetições, em um esquema fatorial 4×2 no qual consistiam na aplicação de 4 doses de Si (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}) com e sem a utilização de *A. brasilense*. Com relação a produtividade e características morfoagronômicas foram avaliados, acúmulo de água- AC (Kg/ha), altura da planta até a folha bandeira- ALFB, altura da planta-ALT, comprimento de panícula- CPA, diâmetro de colmo- DC, diâmetro de panícula- DPA, eficiência do uso de água - EUA (kg /MS/ mm/ ha), matéria seca de colmo- MSC, matéria seca de folhas vivas- MSFV, matéria seca de panícula- MSP, matéria seca de planta inteira- MSPI, número de folhas mortas- NFM, número de folhas vivas- NFV, número de grãos- NGR, número de perfilhos reprodutivos- NPR, número de perfilhos totais- NPT, número de perfilhos vegetativos- NPV, produção de colmo- PCH (kg/ha), peso de colmo- PCOL, produção de folhas- PFH (kg/ha), peso de folhas mortas- PFM, peso de folhas vivas- PFV, peso dos grãos- PGR, 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 da panícula- PPA, produção de panícula - PPH (kg/ha). Após 105 dias as plantas foram cortadas a 20 cm do solo foram produzidas silagens de ração total para atender as exigências de bovinos de corte e cabras leiteiras, como também silagem somente do sorgo. Após 120 dias os silos foram abertos e as silagens foram analisadas quanto a sua qualidade fermentativa avaliando-se, pH, capacidade tampão (CT), perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE), e recuperação de matéria seca (RMS), população microbiana avaliando-se a contagem de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras, estabilidade aeróbia e composição química analisando os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (CINZ), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro(FDN) fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG). Com relação ao uso do *A. brasilense* houve efeito significativo ($p < 0,05$) para % de panícula, ALT (cm). Para a utilização das diferentes doses de SI observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) para peso de planta inteira (kg), NFV , PFV (kg), PCOL (kg), PPA, DPA, DC (mm), NGR, PGR , PPA , PCOL. A utilização das diferentes doses de silício e a combinação ou não da inoculação com *A. brasilense* não foi significativo ($P > 0,05$) quanto a qualidade fermentativa. Para as variáveis relacionadas a composição química os tratamentos avaliados não foram significativos ($P > 0,05$). Com relação a estabilidade aeróbia observou-se que as silagens de ração total para bovinos de corte e cabras leiteiras apresentaram maior estabilidade em relação a silagem de sorgo. A utilização das diferentes doses de silício associado a inoculação com *A. brasilense* proporcionou resultados satisfatórios em relação as características morfoagronômicas, produtivas e relacionadas a qualidade das silagens. Recomendando-se a dose 8 kg ha^{-1} de Si associado com *A. brasilense*.

Palavras-chave: água, ensilagem, produtividade, *Sorghum bicolor*

GENERAL ABSTRACT

The objective was to evaluate the individual or interaction effects of fertilization with different doses of silicon associated with inoculation with *Azospirillum brasilense* on the morphoagronomic and productive characteristics and nutritional value of sorghum silages. A randomized block experimental design was used, with 5 replications, in a 4×2 factorial scheme, which consisted of the application of 4 doses of Si (0, 4, 8 and 12 kg ha^{-1}) with and without the use of *A. brasilense*. In relation Regarding productivity and morphoagronomic characteristics were evaluated, water accumulation- AC (Kg/ha), plant height to the flag leaf- ALFB, plant height-ALT, panicle length- CPA, stem diameter- DC, diameter of panicle- DPA, water use efficiency - USA (kg /DM/ mm/ ha), stalk dry matter- MSC, live leaf dry matter- MSFV, panicle dry matter- MSP, whole plant dry matter- MSPI, number of dead leaves- NFM, number of living leaves- NFV, number of grains- NGR, number of reproductive tillers- NPR, number of total tillers- NPT, number of vegetative tillers- NPV, stalk production- PCH (kg /ha), stalk weight- PCOL, leaf production- PFH (kg/ha), dead leaf weight- PFM, live leaf weight- PFV, grain weight- PGR, 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 - PPA, panicle production - PPH (kg/ha). After 105 days the plants were cut at 20 cm from the ground, total feed silage was produced to meet the requirements of beef cattle and dairy goats, as well as sorghum-only silage. After 120 days, the silos were opened and the silages were analyzed for their fermentative quality, evaluating pH, buffer capacity (CT), gas losses (PG), effluent losses (PE), and dry matter recovery (RMS).), microbial population by evaluating the count of lactic acid bacteria (LAB), molds and yeasts, aerobic stability and chemical composition by analyzing the contents of dry matter (DM), organic matter (OM), mineral matter (GRAY), crude protein (PB), netro detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (FDA), hemicellulose (HEM) and lignin (LIG). Regarding the use of *A. brasilense*, there was a significant effect ($p < 0.05$) for % panicle, ALT (cm). For the use of different doses of SI, a significant effect ($p < 0.05$) was observed for whole plant weight (kg), NFV, PFV (kg), PCOL (kg), PPA, DPA, DC (mm), NGR, PGR, PPA, PCOL. The use of different doses of silicon and the combination or not of inoculation with *A. brasilense* were not significant ($P > 0.05$) regarding fermentative quality. For variables related to chemical composition, the treatments evaluated were not significant ($P > 0.05$). Regarding aerobic stability, it was observed that total ration silages for beef cattle and dairy goats presented greater stability compared to sorghum silage. The use of different doses of silicon associated with inoculation with *A. brasilense* provided satisfactory results in relation to the morpho-agronomic, productive and quality-related characteristics of the silages. Recommending a dose of 8 kg ha^{-1} of Si associated with *A. brasilense*

Keywords: water, silage, productivity, *Sorghum bicolor*.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AC = Acúmulo de água (Kg/ha)

ALFB = Altura da planta até a folha Bandeira

ALT = 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

CPA = Comprimento de panícula

CT = Capacidade tampão

DBC = Delineamento em blocos casualizados

DC = Diâmetro de colmo

DPA- 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 = Quilograma

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
NFM – Número de folhas mortas
NFV – Número de folhas vivas
NGR – Número de grãos
NPR – Número de perfilhos reprodutivos
NPT - Número de perfilhos totais
NPV – Número de perfilhos vegetativos
PB = proteína bruta
PCOL – Peso de colmo
PE = Perdas por efluentes
PFM – Peso de folhas mortas
PFV – Peso de folhas vivas
PG = Perdas por gases
PGR - Peso dos grãos
pH = Potencial hidrogênio-iônico
PMS - Produção de matéria seca (kg/ha)
PMV - Produção de matéria verde (kg/ha)
PPA - Peso da panícula
PPA – Peso de panícula
PPI – Peso da planta inteira
PRNT = Poder relativo de neutralização
RFC – Relação folha colmo
RMS = Recuperação de matéria seca
Si = Silício
SRC – Silagem de ração completa
UFC - Unidade formadora de colônia

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Características químicas da análise de solo. | 28 |
| Tabela 2. Proporção dos ingredientes utilizados na formulação das silagens de ração total para bovinos de corte e cabras leiteiras | 34 |
| Tabela 3. Composição química dos ingredientes e das dietas experimentais | 34 |
| Tabela 4. Avaliação das características produtivas do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 39 |
| Tabela 5. Avaliação das características morfológicas do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 41 |
| Tabela 6. Avaliação das características de produção de grãos do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 43 |
| Tabela 7. Avaliação das características de produção do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 44 |
| Tabela 8. Sanidade do colmo e das folhas e características dos grãos de sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 44 |
| Tabela 9. Relação C:N (%) das partes da planta do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 45 |
| Tabela 10. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 46 |
| Tabela 11. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 47 |
| Tabela 12. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens exclusivas de sorgo com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 48 |
| Tabela 13. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 49 |
| Tabela 14. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 50 |
| Tabela 15. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de sorgo com doses de silício (Si) e inoculação de <i>Azospirillum</i> (Az). | 51 |

| | |
|---|----|
| Tabela 16. Composição química (%) em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de Azospirillum (Az) | 54 |
| Tabela 17. Composição química em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de Azospirillum (Az) | 54 |
| Tabela 18. Composição química de silagens de sorgo, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de Azospirillum. | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental. | 27 |
| Figura 2. Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos. | 29 |
| Figura 3. Espaçamentos entre linha e entre plantas e distribuição das plantas de sorgo na parcela. | 30 |
| Figura 4. Avaliação morfoagronômica e produtiva das plantas de sorgo. | 33 |
| Figura 5. Processos para a quantificação dos microrganismos presentes na silagem de sorgo. | 37 |
| Figura 6. Regressões ajustadas para as variáveis peso da planta inteira (kg), número de folhas vivas (unidades), peso de folhas vivas (kg) e peso do colmo (kg) (Figuras A, B, C e D) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 40 |
| Figura 7. Gráficos das variáveis porcentagem de MS do colmo e % de colmo e panícula/planta (Figuras A e B) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 41 |
| Figura 8. Regressões ajustadas e gráfico de barra para as variáveis diâmetro de panícula (mm), altura da planta (altura máxima- cm) e diâmetro de colmo (mm) (Figuras A, B, C e D) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 42 |
| Figura 9. Regressões ajustadas para as variáveis número de grãos (unidades), peso de grãos (kg) e peso de panícula (kg) (Figuras A, B e C) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 43 |
| Figura 10. Valores das interações para as variáveis Carbono (C), Nitrôgenio (N) e relação C:N (%), (Figuras A, B) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de <i>Azospirillum brasilense</i> | 46 |
| Figura 11. Tempo médio de estabilidade aeróbia da silagem de sorgo forrageiro (A), da silagem de ração total para cabras leiteiras (B) e de bovinos de corte (C) expostas ao ar, utilizando-se diferentes doses de Si, com e sem inoculação com <i>A. brasilense</i> | 53 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 2. OBJETIVOS | 19 |
| 2.1. Geral | 19 |
| 2.2. Específico | 19 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 3.1. A cultura do sorgo | 19 |
| 3.2. Sorgo forrageiro | 20 |
| 3.3. Silício | 21 |
| 3.4. <i>Azospirillum brasilense</i> | 23 |
| 3.5. Silagem de sorgo | 24 |
| 3.6. Silagem de ração total | 25 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 4.1. Local do experimento | 27 |
| 4.2. Tratamentos e delineamento experimental | 28 |
| 4.3. Plantio e adubação | 28 |
| 4.4. Aplicação do silício e irrigação | 30 |
| 4.5. Tratos culturais | 30 |
| 4.6. Avaliação morfoagronômica, produção de biomassa e de grãos | 31 |
| 4.7. Processo de ensilagem | 33 |
| 4.8. Qualidade fermentativa | 35 |
| 4.9. Perdas durante o processo fermentativo e recuperação de matéria seca | 35 |
| 4.10. Estabilidade aeróbia | 36 |
| 4.12. Análises bromatológicas | 37 |
| 4.13. Análise estatística | 38 |
| 5. RESULTADOS | 39 |
| 6. DISCUSSÃO | 56 |
| 6.1. Características morfofisiológicas e produtivas das plantas de sorgo | 56 |
| 6.2. Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca | 58 |
| 6.3. Microbiologia e estabilidade aeróbia | 59 |
| 6.4. Composição química das silagens | 61 |
| 7. CONCLUSÃO | 62 |
| 8. REFERÊNCIAS | 62 |

1. INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) tem sido cada vez mais utilizada na alimentação animal. Isso ocorre porque o sorgo é uma planta de fácil adaptação às condições tropicais e requer uma menor quantidade de água durante o ciclo, quando comparado a outras culturas (PERAZZO et al., 2017). Suas principais características incluem maior tolerância ao déficit hídrico, regulação osmótica, presença de cera cuticular nas folhas, maior eficiência do uso da água e boa capacidade de rebrota, se comparado ao milho (*Zea mays* L.) (PERAZZO et al., 2013).

Para que a cultura tenha um desenvolvimento adequado, deve-se fornecer os nutrientes necessários, mas também oferecer a quantidade de água exigida pela cultura. Apesar de ser uma alternativa para produção em época de sequeiro, as variações climáticas contribuem para o estresse hídrico da planta, podendo resultar em perdas de biomassa e comprometer a produtividade, dependendo da intensidade (COSTA et al., 2016; PINHO et al., 2015).

Os danos causados pelo déficit hídrico em relação ao crescimento das plantas, se deve em decorrência da diminuição do conteúdo de água, que induz estresse oxidativo o que prejudica os processos fisiológicos da planta (Teixeira et al., 2020 A). Além disso, essa escassez hídrica também diminui a eficiência na absorção de nutrientes (Hoang et al., 2019). Seu crescimento dependerá da capacidade em se ajustar rapidamente à situação de estresse (BASNAYAKE et al., 2012).

Os impactos da deficiência hídrica são específicos de cada planta e variam dependendo do grau de estresse, podendo ocasionar alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas, afetando seu o crescimento e desenvolvimento (Ryan, 2011). Assim, essa limitação prejudica o ciclo de vida do vegetal, comprometendo a fotossíntese, respiração, metabolismo e absorção de íons (MARTINS et al., 2018).

Uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico em diversas culturas é o uso do silício (Si) (AHMED et al., 2011; BISHNOI et al., 2023). Embora o silício não seja considerado um nutriente essencial às plantas, os benefícios da aplicação de Si têm sido observado em diferentes culturas e, ou situações de estresses abióticos, como aqueles causados por seca, saiz (Coskun et al., 2016) e por desequilíbrio nutricional (Kostic et al., 2017; Minden et al. 2021; Neu et al. 2017; Souza Junior et al., 2021). A adubação adequada e a aplicação do silício podem atenuar esse estresse, uma vez que contribuem para a manutenção do potencial hídrico foliar (Pei et al., 2010) reduzem o estresse oxidativo ao diminuir a perda de eletrólitos (Gong et 3 al., 2005) e também na transpiração das plantas

(Farooq e Dietz, 2015), Com isso ocorre conseqüentemente o aumento da eficiência da fotossíntese.

Quando as plantas têm deficiência de Si, por exemplo, ficam mais vulneráveis a ataques de pragas e fungos, tornando-se propensas ao acamamento e têm menor tolerância à salinidade (ISLAM et al., 2020).

Como o sorgo é uma gramínea de ciclo fotossintético C₄, é comumente reportado na literatura uma alta exigência e resposta ao nitrogênio (PAULO et al., 2016). Devido ao aumento dos custos para aquisição de fertilizantes sintéticos nitrogenados, tem se buscado alternativas que aliem boa produtividade e diminuição dos custos. Uma destas alternativas são as bactérias promotoras de crescimento como o *Azospirillum brasilense* (LEITE et al., 2019).

Estas bactérias são fixadoras de nitrogênio e podem fornecer parte do nitrogênio necessário para a cultura, aumentando assim a produção e reduzindo a necessidade de grandes quantidades de fertilizantes assim como diminui a contaminação por nitrogênio reativo (AGUIRRE et al., 2020; MODESTO et al., 2021). Além disso, elas podem sintetizar fitormônios que auxiliam no crescimento e desenvolvimento, impactando positivamente na produtividade (FUKAMI et al., 2018; HUNGRIA et al., 2018).

Com o desenvolvimento agrônômico apropriado, a cultura do sorgo pode então ser utilizada em maiores quantidades nos sistemas de produção animal, onde o mesmo é usado principalmente para produção de silagem. Em sistemas intensivos, tem sido utilizadas silagens de ração total, devido à otimização dos processos operacionais e logísticos, desde a ensilagem, armazenamento e até o momento de fornecimento aos animais (SCHINGOETHE, 2017; SCHMIDT et al., 2017). Além disso, o uso desta tecnologia assegura maior recuperação de matéria seca e valor nutritivo das silagens (ABRÃO et al., 2017; SANTOS et al., 2018).

Portanto, para obter uma silagem de boa qualidade, a planta de sorgo deve apresentar um bom desenvolvimento em todas as fases de crescimento no campo. Todavia, pouco se conhece a respeito do sorgo cultivado com uma combinação de silício e bactérias fixadoras de nitrogênio quanto à produção, características agrônômicas e valor nutritivo das silagens, com foco na produção de rações completas para animais de grande expressão para a pecuária, como as cabras de leite e os bovinos de corte. Com isso objetivou-se avaliar os efeitos individuais ou de interação da fertilização com silício e inoculação com *Azospirillum brasilense* sob as características morfoagrônômicas, produtivas e valor nutricional das silagens de sorgo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar os efeitos individuais ou de interação da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sob as características morfoagronômicas, produtivas e valor nutricional das silagens de sorgo.

2.2. Específico

Quantificar a produção de biomassa aérea;

Avaliar as características morfoagronômicas, estruturais, dinâmica de crescimento, produção e sanidade dos grãos, índice de colheita de grãos e a eficiência agrônômica;

Avaliar o qualidade fermentativa, estabilidade aerobia, e a composição química das silagens exclusivas, das silagens de ração total para bovinos de corte e para cabras leiteiras.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta que pertence à família Poaceae, com mecanismo fotossintético C₄, o que lhe proporciona uma vantagem fotossintética significativa (ROSA, 2012). A cultura do sorgo possui três grupos de cultivares: granífero, de duplo propósito e forrageiro (PINHO et al., 2015). Cada grupo apresenta características distintas, tais como variação no ciclo, altura das plantas, potencial de produção de matéria seca e de grãos.

O sorgo forrageiro e de duplo propósito vem ganhando destaque no meio agropecuário brasileiro devido a seu teor energético (alta proporção de carboidratos), boa digestibilidade considerando ser uma gramínea tropical, alta produtividade e adaptação a diversos ambientes, sobressaindo-se em comparação a outras espécies. Isso faz com que o mesmo seja empregado para diversos fins (ANDRADE NETO et al., 2010; PINHO et al., 2015).

O sorgo é tolerante a altas temperaturas e à seca, no entanto, em caso de déficit hídrico, sua taxa de crescimento diminuirá, o que pode resultar na perda de seu potencial produtivo. Seu sistema radicular é fasciculado, porém, tem boa profundidade no perfil do solo, aumentando a eficiência na extração de água (PERAZZO et al., 2017). A cultura exige temperaturas médias diárias acima de 18°C na fase de florescimento, com melhores condições entre 26 e 30°C. A temperatura média anual de 18°C é considerada o limite inferior para o cultivo do sorgo (ROSA, 2012).

Na safra 2021/22, a produção brasileira de sorgo atingiu um recorde de 2,85 milhões de toneladas, um aumento de 36,9% em relação à safra anterior, em uma área plantada de 1,03 milhão de hectares (crescimento de 19,4%). A produtividade média é de 2.763 quilos por hectare, um aumento de 14,6% em relação à safra 2020/2021. Goiás é o maior produtor de sorgo no Brasil, respondendo por cerca de 41% de toda a produção. A produção de grãos pode superar 3,7 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023). O sorgo é de grande importância devido às suas diversas utilizações, incluindo produção de ração animal, forragem, alimentação humana, amido industrial e produção de farinha para panificação (QUEIROZ et al., 2014).

De acordo com Magalhães (2003), o sorgo requer menos água para suas funções fisiológicas em comparação com outros cereais. Enquanto culturas como milho e trigo necessitam de 370 a 500 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca, o sorgo requer apenas 330 kg de água. Essa adaptabilidade do sorgo pode ser atribuída a suas características agronômicas, como o desenvolvimento bem-sucedido de seu sistema radicular, sua tolerância a solos ácidos e principalmente aos ajustes osmóticos realizados para facilitar a absorção hídrica (TURNER, 2018).

O sorgo passa por dois períodos críticos em relação à disponibilidade de água no solo para seu estabelecimento. O primeiro ocorre logo após o plantio e dura de 20 a 25 dias após a germinação. O segundo período ocorre durante a fase de floração. O planejamento do plantio deve considerar temperaturas mais altas e intensidade de chuva para otimizar o enchimento dos grãos, fase de maior exigência para a planta (ROSA, 2012).

No Brasil, a cultura se desenvolve com plantios de verão no Sul e na região Central, enquanto no Nordeste ocorrem plantios de inverno a verão, em condições de semiárido e com temperaturas elevadas e precipitação inferior a 600 mm anuais (PERAZZO et al., 2017). O sorgo Sudão IPA 4202, em clima semiárido, suporta diferentes condições de salinidade, mantendo ainda uma boa produção de biomassa para alimentação animal (SANTOS et al., 2020b). Dentre as principais vantagens listadas na literatura, o sorgo tem menor custo de produção se comparado à culturas como o milho (CÂNDIDO et al., 2015; SILVA et al., 2016).

3.2. Sorgo forrageiro

O sorgo forrageiro BRS Ponta Negra caracteriza-se pela alta produção de matéria verde por hectare e pela menor proporção de grãos (em torno de 10% de grãos) (PARENTE et al., 2014). Conforme descrito anteriormente, o sorgo forrageiro apresenta boa digestibilidade,

produtividade, adaptação a ambientes secos e quentes, assim como um alto valor energético (ZHAO et al., 2019). Possui porte alto, com altura de planta superior a três metros, ciclo de médio a tardio, elevada produção de forragem e colmo com menor teor de açúcares em comparação ao sorgo sacarino (PERAZZO et al., 2017; SANTOS et al., 2018).

No experimento conduzido por Behling Neto et al. (2017), que avaliou diferentes genótipos de sorgo para ensilagem, os autores observaram que os cultivares sacarinos apresentaram teores maiores de matéria seca (286 vs. 255 g kg⁻¹) e proteína bruta em comparação aos forrageiros (102 vs. 66 g kg⁻¹). Adicionalmente, a média de carboidratos solúveis foi de 382 g kg⁻¹ no grupo sacarino, em comparação com 194 g kg⁻¹ no grupo forrageiro. Por essa razão, o sorgo é uma escolha apropriada para o processo de ensilagem, devido à sua facilidade de cultivo e alto rendimento. Além disso, não é necessário o uso de aditivos para aprimorar ou estimular o processo de fermentação. Contudo, é importante considerar o teor de carboidratos ao direcionar essa cultura para a produção de silagem.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é frequentemente proposto como uma alternativa resiliente ao milho (*Zea mays* L.) em condições de déficit hídrico (Roby et al., 2017) para produção de silagem. Isso ocorre devido à sua maior tolerância à seca, eficiência no uso da água, taxas fotossintéticas e de transpiração adaptáveis a condições climáticas mais limitantes (ROBY et al., 2017), quando o cultivo de milho é impraticável ou impossível. Segundo Neumann e Jobim (2014), o sorgo requer em média 30% menos água que o milho para produzir uma boa quantidade de forragem e exige menos fertilização com nitrogênio, apesar de apresentar resposta ao fornecimento deste nutriente.

Embora o sorgo possua um valor nutritivo inferior ao do milho, o sorgo é mais indicado para uso em regiões suscetíveis a períodos de seca e que não possuem irrigação artificial, o que torna o cultivo do sorgo uma opção vantajosa. Na região nordeste do Brasil, por exemplo, os animais enfrentam ciclos anuais de períodos secos e chuvosos, resultando oscilações na oferta de forragem (PILZ et al., 2019). Portanto, tem-se buscado culturas que possam reduzir essa escassez alimentar, e o sorgo forrageiro é considerado uma opção acessível para atender à demanda dos pecuaristas. Suas características bromatológicas são semelhantes às do milho, o que proporciona uma fermentação adequada e conservação por meio de silagem (SUCU et al., 2016).

3.3. Silício

Para que as plantas alcancem um desenvolvimento satisfatório, diversos fatores de produção estão envolvidos, sendo o fornecimento adequado de nutrientes um dos mais

importantes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Alguns desses elementos são considerados essenciais, como o carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e outros. No entanto, há elementos que não são classificados como essenciais, pois não atendem aos critérios de essencialidade, embora tenham efeitos benéficos que aprimoram algumas respostas dos vegetais (CUACUA-TEMIZ et al., 2017). Tais elementos são conhecidos como elementos benéficos, e entre eles se destacam sódio (Na), cobalto (Co), silício (Si) e selênio (Se) (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O silício é um elemento benéfico para várias culturas de interesse econômico, como o arroz (*Oryza sativa* L), batata (*Solanum tuberosum*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (CAMARGO et al., 2007; PULZ et al., 2008). O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre ocorrendo, principalmente, na forma de silicatos e quartzo, mas na solução do solo está na forma de ácido monossilício em baixas concentrações (Katz et al., 2021).

Segundo Freitas et al. (2011), as principais fontes de silício são os resíduos de siderurgia e silicatos de cálcio, magnésio e potássio, os quais podem ser transportados e fornecidos às culturas. Além de fornecer silício, esses materiais possuem potencial para correção do solo, uma vez que resultam na formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), contribuindo para o aumento do pH.

Dentre os benefícios do silício às plantas pode-se destacar a resistência à fungos (como a ferrugem asiática) e insetos-praga (como as lagartas do gênero *Spodoptera*) (HARTLEY; DEGABRIEL, 2016; RESENDE et al., 2009), além de conferir rigidez, reduzir o acamamento, bem como aumentar a tolerância a elementos tóxicos (BISHNOI et al., 2023). Além disso, o silício está associado à maior resistência contra o estresse hídrico nas plantas. Esse elemento também contribui para a rigidez da parede celular e outros componentes celulares (CASSEL et al., 2023). Assim, pode-se notar que o silício possui atributos de defesa antioxidante nas plantas em resposta ao estresse hídrico e ao aumento de temperatura. Nessas condições, as plantas acumulam peróxido de hidrogênio e prolina, sendo que o silício atua aumentando a resistência estomática e reduzindo o dano oxidativo em moléculas funcionais (CRUSCIOL et al., 2009).

O uso do silício (Si) na agricultura vem ganhando destaque no combate a diversos fatores abióticos, dentre eles a deficiência hídrica. Com isso a obtenção de informações sobre a utilização do Si na nutrição de plantas assume um papel importante, trazendo vários benefícios, entre eles inclui-se: maior resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças e

nematóides, além de reduzir os efeitos do estresse hídrico em épocas de escassez de água (MARAFON & ENDRES, 2011).

Si pode favorecer o crescimento e a produção vegetal de forma indireta, causando aumento no teor de clorofila nos tecidos foliares, alterando a arquitetura das plantas, tornando-as mais eretas e evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos e protegendo as plantas da deficiência hídrica (Ma & Yamaji, 2008).

Assim, ao utilizar este nutriente em culturas naturalmente tolerantes ao déficit hídrico, como o sorgo, pode-se ter um efeito positivo sobre a produtividade agrícola e na composição morfológica. Ainda, esta tecnologia se tornaria atrativa para localidades onde ocorrem pragas e doenças comuns, reduzindo assim a necessidade de defensivos agrícolas e demandando menores investimentos para os tratos culturais. Em contrapartida, é fundamental identificar qual seria a dose ideal de aplicação deste nutriente na cultura do sorgo e os impactos disso sobre as principais características agronômicas, haja vista que é uma cultura altamente produtiva e extrai muitos nutrientes do solo, além do que a mesma já dispõe de mecanismos adaptativos para tolerar déficit hídrico.

3.4. *Azospirillum brasilense*

O gênero *Azospirillum* engloba bactérias gram-negativas que possuem a forma de bastonetes uniflagelados e vivem livremente no solo, com boa capacidade de movimentação. O *Azospirillum* pode associar-se a várias espécies vegetais em diferentes graus de especificidade, sendo classificadas como bactérias associativas, simbióticas ou endofíticas, e são conhecidas como Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP) (SANTOS et al., 2021). Este é o gênero mais estudado de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, sendo sua utilização diretamente relacionada ao aumento da assimilação de nitrogênio (N₂) e à atividade de enzimas fotossintéticas nas plantas que essas bactérias colonizam (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016).

A associação dessas bactérias com as plantas resulta em benefícios, como aumento da síntese de pigmentos fotossintéticos (clorofila), elevação do teor de ácido ascórbico, proporcionando assim maior resistência ao estresse e aumento da acumulação e disponibilidade de nutrientes, contribuindo para maior produtividade e rendimento dos grãos (FASCIGLIONE et al., 2015; GALINDO et al., 2016; HUNGRIA et al., 2018).

Embora a capacidade de fixação de N₂ seja o benefício mais citado do *Azospirillum*, diversas pesquisas tem reportado outros atributos inerentes a este microrganismo que

promovem o crescimento das plantas. Uma característica interessante do *Azospirillum* é sua síntese de fitormônios, incluindo auxina, citocininas e giberelinas (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Entre as BPCP do gênero *Azospirillum*, a mais comercializada é o *A. brasilense* (FUKAMI et al., 2018).

De acordo com Galindo et al. (2016), o *A. brasilense* é altamente móvel nas plantas e contribui para diversos processos metabólicos que melhoram o aproveitamento da água disponível no solo. A inoculação com *Azospirillum brasilense* tem potencial para reduzir a necessidade de fertilizantes minerais sintéticos, ao mesmo tempo em que efetivamente promove o crescimento das plantas e melhora a nutrição (BOLETA et al., 2020).

As vantagens do *A. brasilense* para o crescimento das plantas são atribuídas a vários mecanismos. A produção de fitormônios secretados pela bactéria contribui diretamente para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Esta bactéria melhora as características das plantas, como maior biomassa radicular, ramificação das raízes e maior densidade de pelos radiculares, auxiliando na tolerância ao déficit hídrico (LOPES et al., 2011; MARKS et al., 2015), resultando em um aproveitamento mais eficiente da água no solo.

Desta forma, o uso do *A. brasilense* pode favorecer ainda mais o desempenho agrônomo do sorgo em condições adversas, que já dispõe de características interessantes para manter a produção. Além disso, por se tratar de uma bactéria fixadora de N₂, pode-se reduzir de maneira significativa a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Entretanto, não se sabe ao certo se a inoculação com esta bactéria pode atender plenamente a alta demanda de nitrogênio do sorgo, haja vista que é uma gramínea altamente responsiva a este nutriente o que exige avaliações a nível de campo para identificar todos os efeitos inerentes à inoculação ou a combinação deste com o silício.

3.5. Silagem de sorgo

O uso de silagens na alimentação animal tem aumentado ano após ano, e o sorgo é uma das culturas mais utilizadas no Brasil, perdendo apenas para o milho (DANIEL et al., 2019). Isso se deve, principalmente, às suas características desejáveis para tal, como o teor de matéria seca, carboidratos solúveis e baixa capacidade tampão, favorecendo a fermentação láctica e, conseqüentemente, a conservação da forragem (SILVA et al., 2017). Dessa forma, sua utilização pode aumentar o potencial produtivo dos ruminantes, resultando em um aumento da renda nos sistemas produtivos.

Apesar dessas vantagens, o excesso de carboidratos solúveis do sorgo acaba se tornando

um problema tanto na fase fermentativa quanto na abertura dos silos. Durante a fermentação, as bactérias lácticas produzem ácido láctico suficiente para reduzir o pH a valores abaixo de 4 (BEHLING NETO et al., 2017; PINHO et al., 2015). Por outro lado, devido à elevada população epifítica de leveduras acidotolerantes dessa cultura, elas não são inibidas pelo meio acidificado e anaeróbico, produzindo etanol e CO₂ a partir dos abundantes carboidratos presentes no meio (FILYA; SUCU, 2007; SANTOS et al., 2018). Por essa razão, ocorrem perdas significativas de matéria seca durante a fermentação de silagens de sorgo ensiladas sem nenhum aditivo (SANTOS et al., 2018).

Muitos estudos têm avaliado o uso de inoculantes heterofermentativos em busca de controlar a população de leveduras (OLIVEIRA et al., 2017). No entanto, algumas técnicas avaliadas têm sido eficazes no controle desse grupo microbiano sem causar limitações à proliferação das bactérias lácticas. Uma dessas técnicas é o uso de aditivos nutricionais, que auxiliam na melhoria fermentativa, reduzem as perdas de matéria seca, contribuem nutricionalmente suprindo os déficits da cultura e ainda aumentam a estabilidade aeróbia (SANTANA et al., 2022; VIANA et al., 2013). Os aditivos nutricionais são, basicamente, concentrados proteicos que permitem aumentar o teor de matéria seca das silagens, reduzindo a atividade de água e causando efeitos negativos sobre as leveduras, já que são mais sensíveis a essa condição do que as bactérias lácticas (PAHLOW et al., 2003).

O mesmo conceito se aplica às silagens de ração total, apresentando também efeitos semelhantes sobre a fermentação, recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia das silagens, além do aumento da digestibilidade dos nutrientes presentes nos concentrados (BUENO et al., 2020).

3.6. Silagem de ração total

Nos sistemas de produção animal, as silagens compõem parte das dietas dos animais, onde são misturadas aos concentrados, subprodutos, minerais, vitaminas e aditivos, de maneira balanceada com os demais ingredientes, sendo homogeneizadas e fornecidas aos animais. Esse procedimento é denominado de ração total ou completa (do inglês, *total mixed ration*). Entretanto, em 1960, iniciaram-se os estudos de viabilidade para ensilar essas rações completas com o principal objetivo de otimizar os processos operacionais e aproveitar subprodutos úmidos (SCHINGOETHE, 2017; WANG; NISHINO, 2009). Desde então, a utilização das silagens de ração total tem sido uma realidade e houve considerável evolução na técnica de produção, além de uma redução nos custos com mão de obra diária para mistura das rações (YUAN et al., 2015).

Toda ração é formulada para uma determinada espécie ou categoria animal com a intenção de suprir suas exigências nutricionais. Assim, as silagens de ração total são uma alternativa para a conservação de subprodutos úmidos, possibilitando também a manipulação e direcionamento dos processos fermentativos, o que leva à diminuição das perdas de matéria seca em espécies usadas para produção de silagens (GUSMÃO et al., 2018). É possível formular silagens de ração total para diferentes tipos e categorias de animais (vacas em lactação, vacas secas, novilhas, ovelhas, etc.), incluindo vários tipos de ingredientes na dieta (WEINBERG et al., 2011).

Com a ampliação do uso da técnica e o foco no direcionamento da fermentação, é possível obter uma fermentação menos intensa e com menores perdas ao se utilizar silagens de ração total à base de sorgo. Alguns trabalhos têm relatado diversos efeitos positivos em culturas com problemas fermentativos, como a cana-de-açúcar (ZANINE et al., 2022) e até mesmo capins tropicais, como o *Pennisetum purpureum* (GUSMÃO et al., 2018). Vale ressaltar que tanto culturas com alta intensidade de fermentação (cana-de-açúcar, sorgo) quanto culturas de menor intensidade fermentativa, como os capins e leguminosas, podem se beneficiar da mistura com outros ingredientes (NISHINO et al., 2015; SANTOS et al., 2020a). Assim, considerando os problemas fermentativos das silagens de sorgo discutidos anteriormente, o uso de silagens de ração total pode ser uma alternativa viável e eficaz no controle da população de leveduras, redução das perdas de matéria seca e aumento significativo da estabilidade aeróbia (DONG et al., 2022; YUAN et al., 2015).

Portanto, a formulação de silagens de ração total à base de sorgo torna-se uma alternativa em potencial para uso nos sistemas de produção, uma vez que essa cultura é amplamente cultivada no Brasil e com altos índices produtivos. Além disso, levando em consideração que as principais espécies animais exploradas comercialmente são os bovinos de corte e os caprinos de leite, essa técnica pode ser aplicada em todo o território nacional e até mesmo em outros países tropicais. A combinação do *Azospirillum brasilense* com o silício ao longo do período de crescimento do sorgo pode resultar em aumentos na produtividade ou em menores perdas por meio das melhorias já reportadas. A proposta de produzir silagens de ração total como produto final do processo também visa otimizar todo o processo e reduzir as principais perdas fermentativas dessa cultura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, localizado no Município de Chapadinha, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03°44'33" S de latitude e 43°21'21" W de longitude.

O clima predominante da região é o tropical úmido, segundo a classificação de Köppen (2013). As chuvas se concentram no primeiro semestre do ano cuja a precipitação pluviométrica média é de 1.670 mm 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 da figura 1.

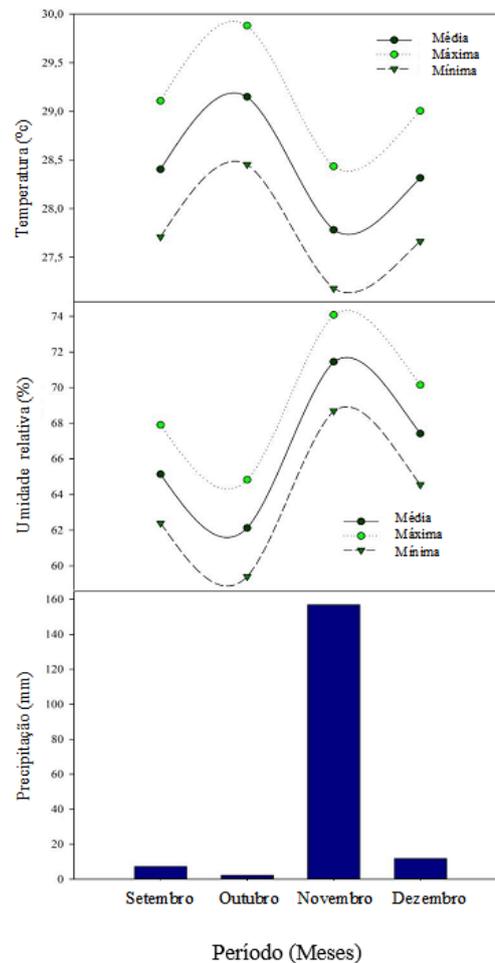


Figura 1. Dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental.

4.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4×2 , com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de Si na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O cultivar utilizada foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra).

Para a produção das silagens, o sorgo foi colhido aos 105 dias após o plantio, quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo e ensilado conforme cada tratamento produzidos assim três tipos de silagem (sorgo puro, silagem de TMR à base de sorgo para bovinos de corte e silagem de TMR à base de sorgo para caprinos leiteiros).

4.3. Plantio e adubação

O solo presente na área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura franco-argilosa. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para a realização da caracterização química e textural do solo. Realizou-se a correção do solo de acordo com a necessidade identificada na análise de solo. Para isso, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 115,10%, sendo aplicados 2,3 toneladas por hectare para elevar a saturação de base para 60%, conforme recomendado para a cultura do sorgo.

A adubação de plantio, com os nutrientes NPK, foi feita manualmente e calculada com base na análise de solo (Tabela 1) e nas recomendações específicas. Foram aplicados 20 kg de N por hectare, 100 kg de P₂O₅ por hectare e 30 kg de K₂O por hectare. As características granulométricas do solo registradas foram de 70% de areia, 21% de argila e 9% de silte.

Tabela 1. Características químicas da análise de solo.

| pH | P | K ⁺ | H ⁺ +Al ⁺³ | Al ⁺³ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | SB | CTC | V | MO |
|-----|---------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------|------|------|--------------------|
| H2O | mg dm ⁻³ | | ————— | cmol _c dm ⁻³ | ————— | | % | % | % | g kg ⁻¹ |
| 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⁺: potássio; H⁺+Al⁺³: acidez potencial; Al⁺³: alumínio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátion; V%: saturação base; MO: matéria orgânica.

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo

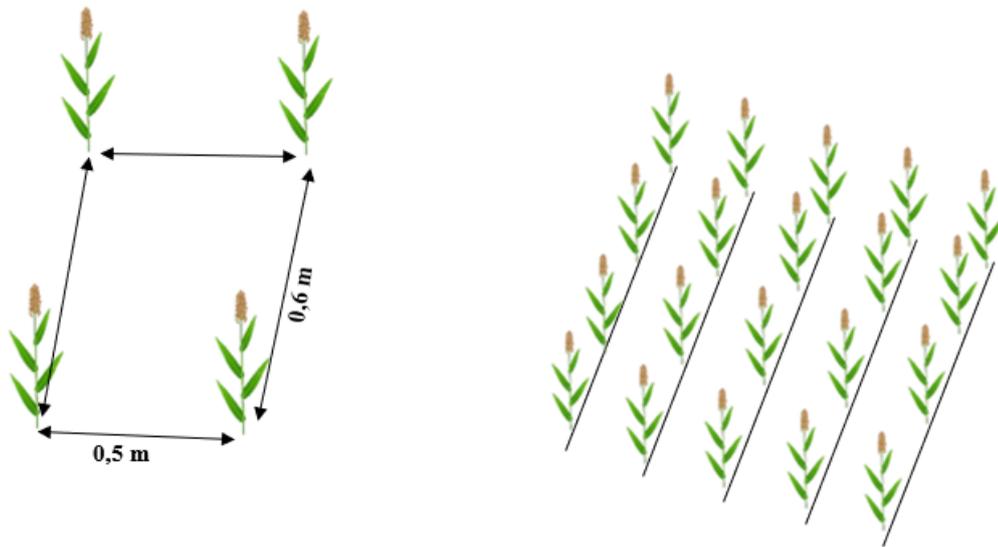


Figura 3. Espaçamentos entre linha e entre plantas e distribuição das plantas de sorgo na parcela.

4.4. Aplicação do silício e irrigação

A aplicação do silício nas plantas foi dividida em seis vezes, com três aplicações durante o período vegetativo e outras três no período reprodutivo. A diluição do silício foi realizada em uma caixa de água de 1000 L, na qual foram destinados 70 L de diluição para cada um dos tratamentos (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício), correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de Si na solução em cada aplicação, ou seja, abaixo de 3,5 mmol L⁻¹ e sem risco de polimerização do elemento. Cada planta recebeu 0,700 ml da diluição. A fonte de Si a ser utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g L⁻¹, Na₂O = 60,5 g L⁻¹)

Para manter a umidade do solo, a irrigação foi realizada duas vezes por dia às (6:00 e 17:00 h) durante todo o período experimental, recebendo uma lâmina de água de 2,5 mm diários, totalizando 175 mm durante o período experimental. Foram utilizadas cinco fitas de irrigação (28,5 mm) microperfuradas com raio de alcance de 1,5 m², na área experimental as fitas foram distribuídas de maneira que permanecessem uma fita no centro de cada parcela, para cada duas fitas utilizava-se o tempo de 15 minutos de irrigação

4.5. Tratos culturais

Foram realizadas três capinas ao longo do período experimental sendo aos 20, 50 e 90 dias após a semeadura, com o principal objetivo de reduzir o crescimento de plantas daninhas, que poderiam atrapalhar o desenvolvimento da cultura principal e dificultar a

locomoção dentro da área experimental durante as avaliações. Houve também o desbaste das plantas, com o objetivo de deixar somente uma planta por cova. As panículas foram cobertas com sacos de papel para evitar o ataque de pássaros aos grãos, sendo monitoradas até o dia da colheita. Para o controle de lagartas, foi utilizado um inseticida de contato Klorpan® 480 EC, seguindo as recomendações do fabricante.

4.6. Avaliação morfoagronômica, produção de biomassa e de grãos

Foram selecionadas duas plantas de cada parcela (plantas essas que pertenciam as linhas centras das parcelas e de altura uniforme) para realizar as medições e coletar dados das características morfológicas e agronômicas (Figura 4 A, 4 B, 4 C e 4 D), totalizando assim 80 plantas avaliadas. As seguintes avaliações foram realizadas:

Altura da planta: Foi determinada com fita milimetrada, medindo a distância da superfície do solo até a altura máxima da última folha (cm).

Altura da planta até a folha bandeira: Foi determinada com fita milimetrada, medindo a distância da superfície do solo até a inserção da folha bandeira (cm).

Diâmetro do colmo: Mensurado com um paquímetro em milímetros, no terceiro nó da planta a partir do solo (mm).

Comprimento da panícula: Foi determinado com régua graduada em milímetros, mensurado da base até o ápice da panícula (cm).

Diâmetro da panícula: Medido com um paquímetro em milímetros, tomando a medida na parte central da panícula (mm).

Número de folhas vivas: Para a quantificação das folhas vivas, foram contabilizadas as folhas que apresentassem limbos totalmente expandidos e fotossinteticamente ativas (unid).

Número de folhas mortas: As folhas mortas foram quantificadas a partir de 50% de senescência (unid).

Número de grãos por panícula: Obtido por meio da contagem de todos os grãos e dividido pelo total de panículas avaliadas (unid).

Número de perfilhos reprodutivos: Determinado pela contagem de todos os perfilhos reprodutivos presentes em toda a parcela (unid).

Número de perfilhos vegetativos: Determinado pela contagem de todos os perfilhos vegetativos presentes em toda a parcela (unid).

Número de perfilhos totais: Determinado pela soma total dos perfilhos reprodutivos e vegetativos presentes na parcela (unid)

Peso de colmo: Os colmos foram pesados utilizando-se uma balança digital de precisão

(gramas).

Peso de folhas mortas: Foram retiradas da planta e pesadas separadamente utilizando uma balança digital de precisão (gramas).

Peso de folhas vivas: As folhas vivas foram retiradas da planta e pesadas separadamente utilizando uma balança digital de precisão (gramas).

Peso dos grãos: Os grãos foram retirados das panículas e foram pesados utilizando uma balança digital de precisão (gramas).

Peso da panícula: As panículas foram pesadas separadamente utilizando uma balança digital de precisão (gramas).

Peso de panícula com grãos: As panículas foram pesadas com os grãos utilizando uma balança digital de precisão (gramas) (Figura 4 D).

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

Produção de matéria seca (kg/ha): Foi estimada a partir do produto do peso de matéria verde com a % de matéria seca.

Produção de matéria verde (kg/ha): 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 (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).

Matéria seca de colmo: Foi calculado pela produção de colmo/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

Matéria seca de folhas vivas: Foi calculado pela produção de folha/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

Matéria seca de panícula: Foi calculado pela produção de panícula/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

Matéria seca de planta inteira: Foi calculado pela produção da planta inteira/ha pela % de MS do colmo dividido por 100.

Acúmulo de água (Kg/ha): Pela diferença entre peso de matéria verde e peso de matéria seca, conforme Perazzo et al. (2013).

Avaliação da sanidade do colmo: Realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão. Adotando-se as seguintes notas, de acordo com o aspecto do colmo: 1:

excelente; 2: bom; 3: médio; 4: pobre, e 5: ruim;

Avaliação da sanidade de ataque da planta: Realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão. Adotando-se as seguintes notas, de acordo com o aspecto das folhas: 1: altamente resistente (0%); 2: resistente (1%); 3: resistente (10%); 4: medianamente (20%); 5: medianamente susceptível (30%); 6: medianamente susceptível (40%); 7: susceptível (60%); 8: susceptível (80%); 9: altamente susceptível (>80%);

Avaliação do número de grãos ardidos: Realizada visualmente feita por meio de uma escala de notas de 1 a 5, indicando a porcentagem de grãos ardidos na fase de maturação fisiológica do grão. Adotando-se as seguintes notas: 1: excelente; 2: bom; 3: médio; 4: pobre, e 5: ruim; (Figura 4 A).

Avaliação da cor do grão na colheita: Realizada visualmente foram atribuídas quatro cores aos grãos: marrom, marrom claro, amarelo e verde (Figura 4 B).

Avaliação da dureza do grão: Foram atribuídos três níveis de dureza aos grãos: duro, semiduro e leitoso (Figura 4 C).

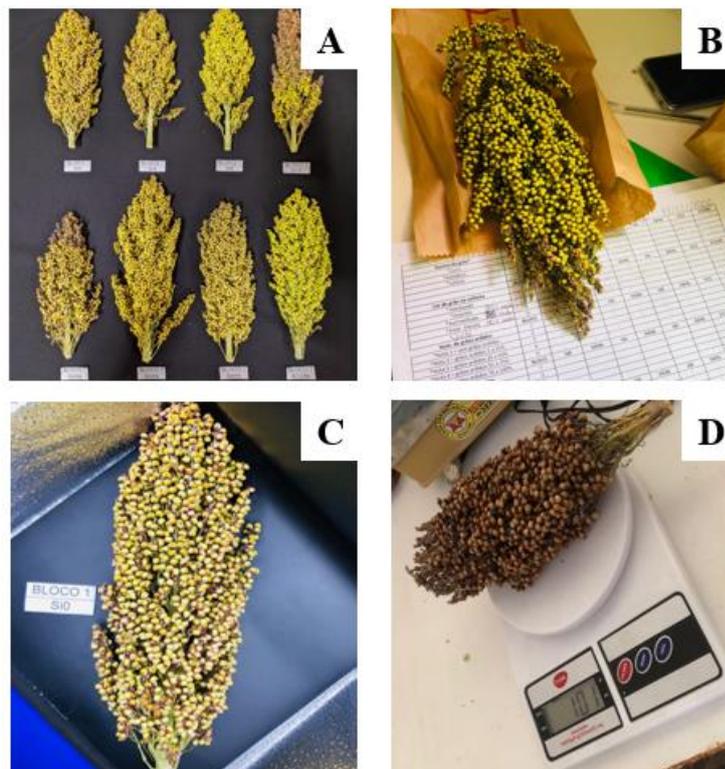


Figura 4. Avaliação morfoagronômica e produtiva das plantas de sorgo.

4.7. Processo de ensilagem

No processo de ensilagem, após 105 dias, quando os grãos da porção central da

panícula apresentaram um aspecto pastoso a farináceo, o sorgo foi colhido, sendo cortado a aproximadamente 20 cm do solo. O material colhido foi processado por meio de uma forrageira estacionária acoplada ao trator para que fossem obtidas partículas de 2,0 cm. Posteriormente, foi realizada manualmente a mistura dos ingredientes para a silagem de ração total (bovino e cabra), como também a silagem somente de sorgo (sorgo puro) (Tabela 2). Nesse momento, foram coletadas cerca de 250 gramas de amostras da mistura *in natura* para avaliação da composição química das dietas (Tabela 3). Essas amostras foram armazenadas em sacos de plástico e de papel, as amostras que foram armazenadas em sacos de plásticos foram guardadas em freezer, para posterior análises, já as que foram armazenadas em sacos de papel foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C e moídas para a realização das análises.

Tabela 2. Proporção dos ingredientes utilizados na formulação das silagens de ração total para bovinos de corte e cabras leiteiras

| Ingredientes (% MS) | Sorgo | Dietas | |
|---------------------|-------|------------|-----------|
| | | SRC Bovino | SRC Cabra |
| Milho moído | 0,0 | 35,68 | 33,13 |
| Farelo de soja | 0,0 | 10,39 | 13,80 |
| Ureia | 0,0 | 0,90 | 0,61 |
| Fosfato bicálcico | 0,0 | 0,63 | 0,0 |
| Sal mineral | 0,0 | 3,61 | 1,66 |
| Sorgo | 100,0 | 48,78 | 50,80 |

SRC: Silagem de ração completa

Tabela 3. Composição química dos ingredientes e das dietas experimentais

| Composição química (% MS) | Milho | Farelo de Soja | Sorgo | SRC Bovino | SRC Cabra |
|----------------------------|-------|----------------|-------|------------|-----------|
| Matéria seca | 90,96 | 91,14 | 20,01 | 34,49 | 32,95 |
| Cinzas | 2,55 | 6,42 | 3,94 | 6,43 | 4,68 |
| Proteína bruta | 10,66 | 38,77 | 4,93 | 11,58 | 12,77 |
| Fibra em detergente neutro | 20,98 | 14,78 | 65,64 | 38,50 | 40,36 |
| Fibra em detergente ácido | 1,60 | 8,71 | 35,35 | 16,53 | 17,79 |

SRC: Silagem de ração completa.

As silagens de ração total foram formuladas diferentemente para cada categoria animal. Assim, para os bovinos de corte, as silagens tinham uma relação volumoso:concentrado de 50:50 (Tabela 2) sendo formuladas de acordo com o BR-corte 4.0. Os concentrados usados foram o farelo de soja, milho moído, uréia, sal mineralizado e fosfato bicálcico de modo a atender as exigências nutricionais de bovinos de corte com 450 kg de peso corporal.

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).

Após a mistura dos ingredientes foi realizada a ensilagem do material em silos, com capacidade de 5 litros (22cm x 19,5cm x 16cm). Todos os silos experimentais foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para eliminação dos gases resultantes da fermentação. No fundo de cada silo foi adicionado 1,5 kg de areia seca, cuja camada foi coberta com tecido de algodão evitando o contato da silagem com a areia e posterior quantificação da produção de efluentes. Ao final deste processo, os silos foram pesados, vedados com tampa de lona plástica e envoltos por fita adesiva, armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até os momentos de abertura dos silos experimentais.

4.8. Qualidade fermentativa

Após 120 dias de armazenamento os silos foram abertos. A silagem resultante do processo fermentativo foi removida manualmente, homogeneizada e coletada amostras para a realização das avaliações da qualidade fermentativa e composição bromatológica. Para determinar o pH, foram coletados 25g de amostras de silagem, às quais foram adicionados 80 ml de água destilada. Após um período de repouso de 1h, o pH foi medido usando um potenciômetro, conforme metodologia descrita por Bolsen et al. (1992).

Para determinar a capacidade tampão (CT), cerca de 15 g de amostra foram trituradas com 250 ml de água destilada usando um liquidificador industrial. Em seguida, o material foi titulado utilizando um potenciômetro. Inicialmente, o material foi titulado até pH 3,0 com HCl 0,1 N para liberar os bicarbonatos como dióxido de carbono. Posteriormente, foi titulado até pH 4,0 com NaOH 0,1 N, registrando o volume de NaOH gasto para mudar o pH de 4,0 até 6,0, seguindo o procedimento descrito por Playne e McDonald (1966).

4.9. Perdas durante o processo fermentativo e recuperação de matéria seca

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram quantificadas pela diferença de peso, seguindo as equações descritas por Jobim et al. (2007). As equações abaixo baseiam-se na diferença de peso dos silos entre o fechamento e a abertura, em relação à massa de forragem armazenada.

$$PG = [(PSf - PSa)] / [(MFf \times MSf)] \times 100$$

Em que:

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

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.

$$PE = (Pab - Pen)/(MVfe) \times 1000$$

Em que:

PE = Produção de efluente (kg t⁻¹ de massa verde);

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

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

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg).

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

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;

Msf = teor de MS da forragem no fechamento.

4.10. Estabilidade aeróbia

O ensaio de estabilidade aeróbia foi avaliado por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar. Ao abrir os silos, foram coletadas amostras de silagem sem compactação, totalizando aproximadamente 1,5 kg, as quais foram realocadas em silos limpos. Durante o monitoramento, as temperaturas das silagens foram mensuradas a cada 10 minutos, mantendo a temperatura ambiente constante a 25 °C durante 200 horas.

As temperaturas das silagens foram obtidas por meio de sensores de temperatura encapsulados, do modelo DS18B20 (Maxim Integrated™, DS18B20, Califórnia, Estados Unidos), que possuem uma faixa de temperatura operacional de -55 a 125 °C e uma precisão de ±0.5 °C. Esses sensores estavam interligados a um microcontrolador específico ATmega2560 (Arduino®, Mega 2560, Itália), que foi programado para coletar as temperaturas a cada intervalo de 10 minutos, ao longo das 200 horas de monitoramento. Os sensores foram inseridos no centro da silagem a uma profundidade de 10 cm na massa ensilada. Foi considerado início da deterioração quando a temperatura interna das silagens atingiu um valor

2°C acima da temperatura ambiente (TAYLOR; KUNG, 2002).

4.11. Microbiologia da silagem

Para a análise microbiológica, 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 A). As culturas de BAL e ML foram incubadas em uma estufa BOD a 35°C por 48 e 72 horas, respectivamente (Figura 5 D). 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 B). As placas foram consideradas suscetíveis à contagem quando apresentavam valores entre 30 e 300 UFC (unidades formadoras de colônias) na placa de Petri (Figura 5 C).

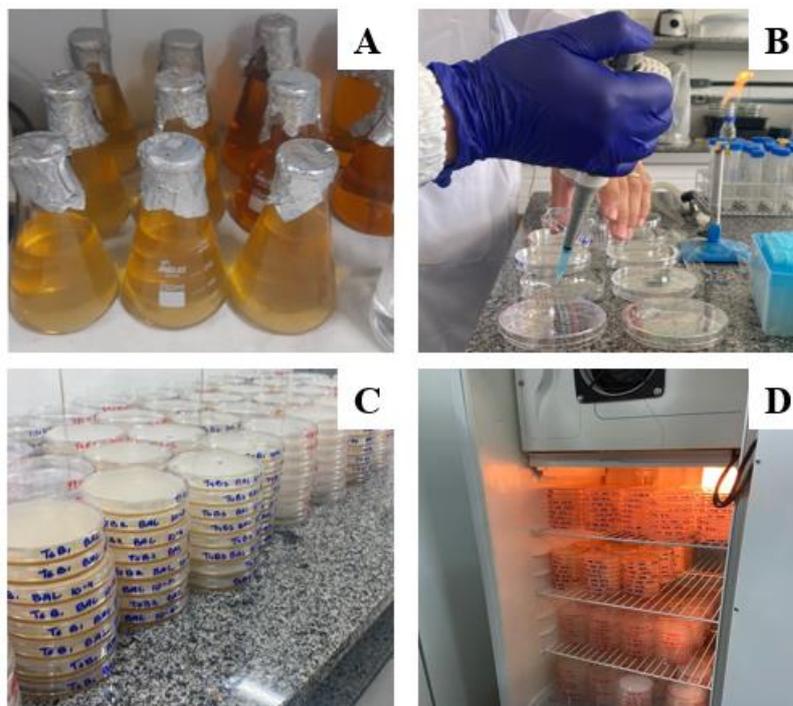


Figura 5. Processos para a quantificação dos microrganismos presentes na silagem de sorgo.

4.12. Análises bromatológicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA), pertencente à UFMA-CCCh. Para tanto, as amostras do material fresco no momento da ensilagem e após a abertura dos silos foram coletadas e analisadas. As amostras passaram por uma etapa de pré-secagem de 72 horas em uma estufa de ventilação forçada a

65°C. Em seguida, foram moídas em um moinho de facas tipo Willey utilizando uma peneira de malha com abertura de 1 mm, para a determinação da composição química.

Foram determinados conforme metodologia da AOAC (2016) os teores de matéria seca (MS, método 934,01), proteína bruta pelo método de *Kjeldahl* (PB, método 920,87) e matéria mineral (MM, método 930,05). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) nas amostras foram determinados com o auxílio de autoclave, conforme as metodologias de Van Soest et al. (1991) adaptada por Dettman et al. (2012), com adição de amilase termoestável. A concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp; Mertens, 2002; Licitra, Hernandez, & Van Soest, 1996) foi determinada pela equação: $\%FDNcpMS = \%FDN - (\%PIDNMS + \%CIDNMS)$

O teor de hemicelulose (HEM) foi obtido por diferença entre o teor de FDN e FDA. A lignina foi calculada conforme a metodologia descrita por Van Soest e Wine (1967). A celulose foi calculada de acordo com as equações propostas por Sniffen et al. (1992).

4.13. Análise estatística

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizado com oito tratamentos e cinco repetições em um esquema fatorial 4x2 ($y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$), onde as médias foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade, quando significativo as médias foram ajustadas ao modelo linear ou quadrático utilizando procedimento do PROC MIXED do software estatístico SAS (2004), para avaliar os dados agrônômicos e produtivos.

Para as avaliações relacionadas a sanidade, cor do grão e dureza foi realizado análise descritiva atribuindo-se notas conforme as observações das variáveis.

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 comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade 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,
- μ é a média geral,

- τ_i é o efeito fixo da dose de silício,
- β_j é o efeito fixo da inoculação com *A. brasilense*,
- $(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito de interação entre a dose de silício e a inoculação com *A. brasilense*,
- α_k é o efeito aleatório das repetições,
- ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

5. RESULTADOS

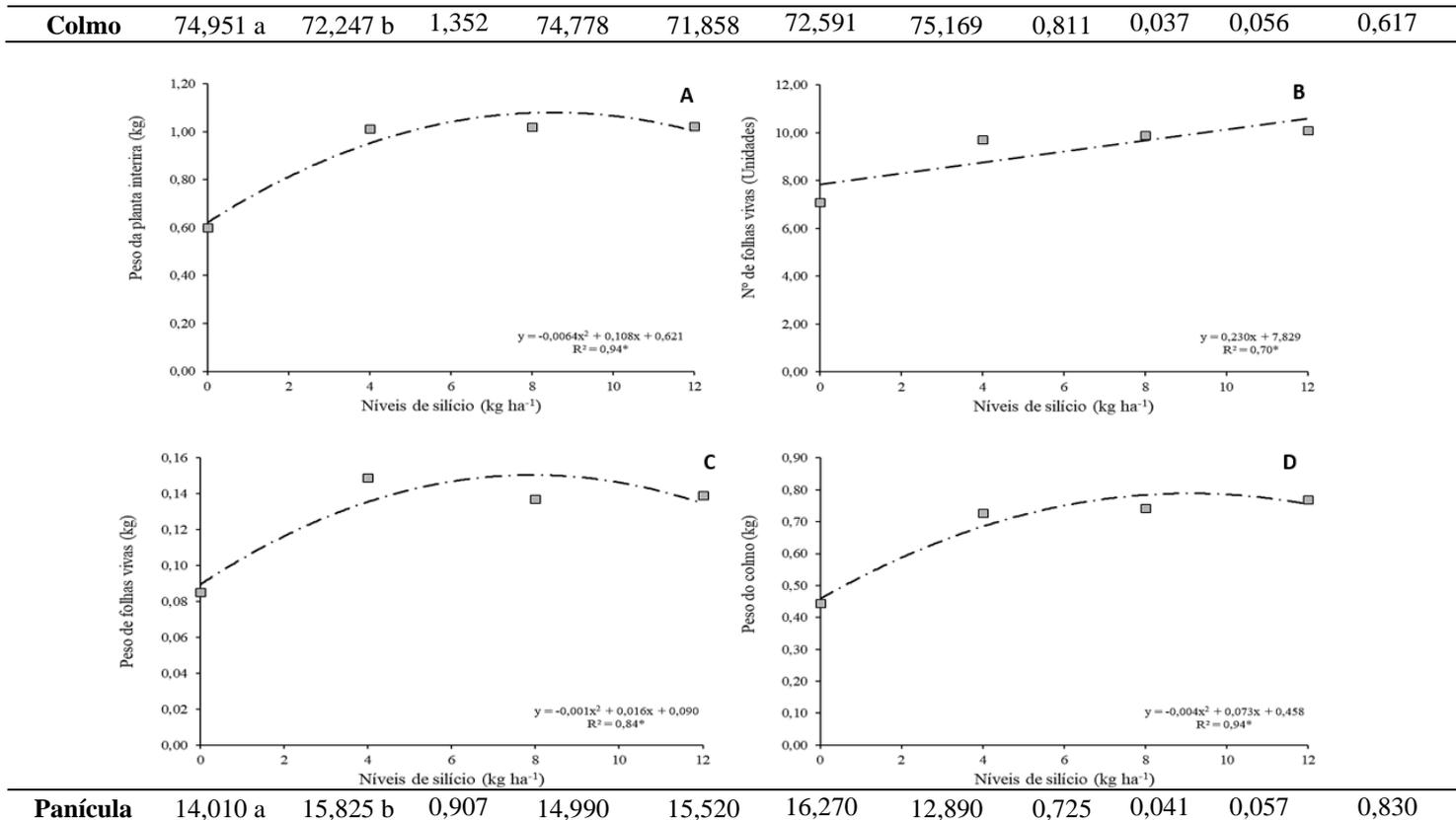
A combinação das doses de Si e a inoculação com *A. brasilense*, não apresentou efeito significativo ($p>0,05$) para nenhuma das características produtivas do sorgo forrageiro (Tabela 4).

Não foi observado efeito significativo com ($p>0,05$) utilização do *A. brasilense* sobre as variáveis peso de planta inteira (PPI), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), peso de folhas vivas (PFV), peso de folhas mortas (PFM), peso de colmo (PCOL), peso de panícula (PPA) e relação folha/colmo (Tabela 4).

A utilização das diferentes doses de Si foi significativa para peso de planta inteira (PPI) ($P<0,001$), número de folhas vivas (NFV) ($P=0,007$), peso de folhas vivas (PFV) ($P=0,002$), peso de colmo (PCOL) ($P<0,001$) e peso de panícula (PPA) ($P<0,001$) (Tabela 4). Observou-se efeito quadrático para o PPI ($p<0,001$), PFV ($p=0,002$), PCOL ($p<0,001$) e PPA ($p<0,001$) com ponto de máxima de 8,4375 kg ha⁻¹, 8,0 kg ha⁻¹ e 9,125 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 6 A, 6 C e 6 D). Houve efeito linear positivo utilizando doses de silício para a variável NFV ($P=0,007$) (Figura 6 B)

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

| Variáveis | Inoculante | | EPM | Silício (kg ha ⁻¹) | | | | EPM | p-valor | | |
|----------------------------------|------------|--------|-------|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|---------|--------|---------|
| | Sem | Com | | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | | Ab | Si | Ab x Si |
| PPI | 0,911 | 0,917 | 0,003 | 0,601 | 1,012 | 1,019 | 1,023 | 0,104 | 0,886 | <0,001 | 0,817 |
| NFV | 9,362 | 9,053 | 0,155 | 7,100 | 9,725 | 9,900 | 10,105 | 0,706 | 0,288 | 0,007 | 0,582 |
| NFM | 1,450 | 1,280 | 0,085 | 1,700 | 1,800 | 0,800 | 1,160 | 0,235 | 0,705 | 0,402 | 0,386 |
| PFV | 0,126 | 0,129 | 0,002 | 0,085 | 0,149 | 0,137 | 0,139 | 0,014 | 0,574 | 0,002 | 0,829 |
| PFM | 0,014 | 0,013 | 0,001 | 0,015 | 0,019 | 0,007 | 0,012 | 0,002 | 0,728 | 0,244 | 0,210 |
| PCOL | 0,678 | 0,663 | 0,008 | 0,444 b | 0,727 | 0,742 | 0,769 | 0,075 | 0,604 | <0,001 | 0,835 |
| PPA | 0,128 | 0,143 | 0,007 | 0,089 b | 0,157 | 0,164 | 0,133 | 0,017 | 0,149 | <0,001 | 0,752 |
| RFC | 0,584 | 0,617 | 0,016 | 0,616 | 0,656 | 0,556 | 0,574 | 0,022 | 0,514 | 0,186 | 0,114 |
| % Matéria seca | | | | | | | | | | | |
| MSFV | 30,672 | 30,422 | 0,125 | 30,636 | 31,934 | 30,406 | 29,211 | 0,558 | 0,845 | 0,157 | 0,208 |
| MSC | 53,672 | 50,976 | 1,254 | 50,609 | 49,953 | 55,778 | 52,579 | 1,308 | 0,188 | 0,163 | 0,037 |
| MSP | 46,812 | 48,051 | 0,619 | 49,482 | 46,746 | 46,776 | 46,721 | 0,684 | 0,616 | 0,716 | 0,414 |
| MSPI | 34,764 | 36,144 | 0,689 | 33,578 | 37,646 | 35,621 | 34,972 | 0,846 | 0,387 | 0,302 | 0,425 |
| % Constituintes da planta | | | | | | | | | | | |
| Folha | 13,751 | 14,169 | 0,209 | 14,065 | 14,680 | 13,516 | 13,580 | 0,269 | 0,527 | 0,556 | 0,914 |



PPI – peso da planta inteira, NFV – número de folhas vivas, NFM – número de folhas mortas, PFV – peso de folhas vivas, PFM – peso de folhas mortas, PCOL – peso de colmo, PPA – peso de panícula, RFC – relação folha colmo, MSFV – matéria seca de folhas vivas, MSC – matéria seca de colmo, MSP – matéria seca de panícula, MSPI – matéria seca de planta inteira.

Figura 6. Regressões ajustadas para as variáveis peso da planta inteira (kg), número de folhas vivas (unidades), peso de folhas vivas (kg) e peso do colmo (kg) (Figuras A, B, C e D) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

Em relação a MSFV (%), MSC (%), MSP (%) e MSPI (%), observou-se que tanto a utilização de *A. brasilense* quanto as diferentes doses de Si não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) (Tabela 4). Observou-se interação entre *A. brasilense* e o Si para a variável MSC ($p = 0,037$) (Tabela 4, Figura 7A).

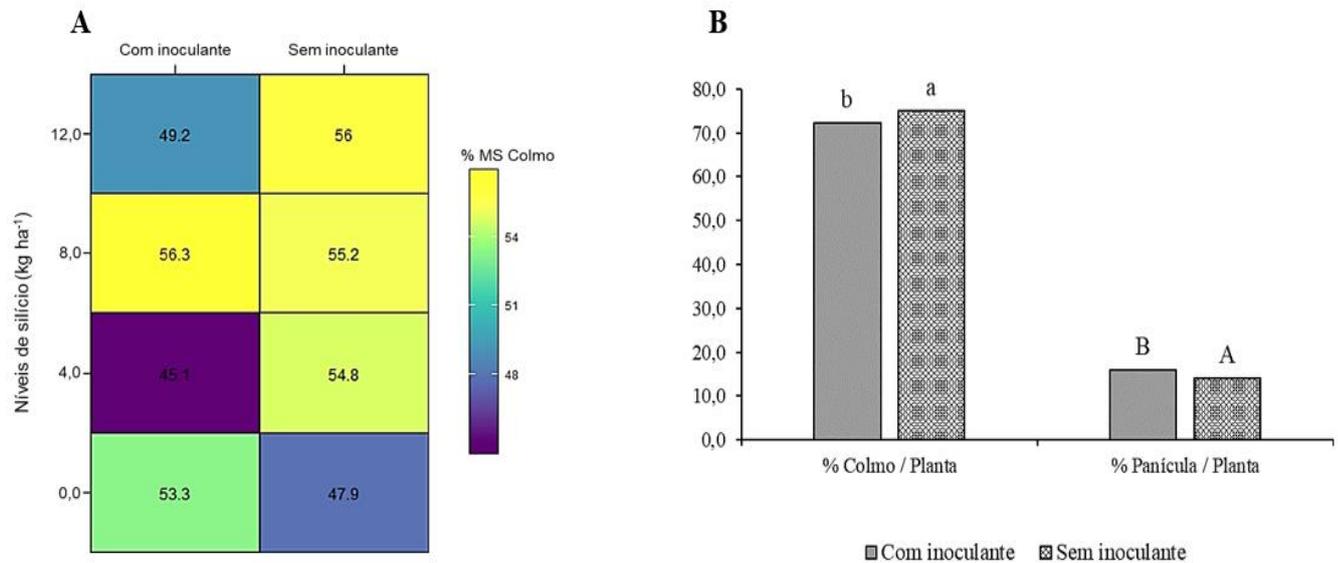


Figura 7. Gráficos das variáveis percentagem de MS do colmo e % de colmo e panícula/planta (Figuras A e B) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

Com relação aos constituintes da planta observou-se que houve efeito significativo para as variáveis % colmo ($P=0,037$) e % panícula ($P=0,041$) com relação a inoculação com *Azospirillum* (Tabela 4). Para a variável % de colmo/planta observou-se que com a utilização do inoculante apresentou uma menor percentagem de colmo (72,247%), quando comparado sem sua utilização (74,951%) (Tabela 4). Para a variável % de panícula/planta observou-se que a utilização do inoculante apresentou maior percentagem de panícula (15,825%), já sem inoculação houve uma menor percentagem de panícula (14,010%) (Figura 7 B).

Com relação as características morfológicas observou-se que a utilização das doses de Si foi significativo para as variáveis diâmetro de panícula (DPA) (mm) ($P=0,002$) e diâmetro de colmo (DC) (mm) ($P=0,007$) (Tabela 5). Para diâmetro de panícula (mm) o ponto máximo foi encontrado ao utilizar o nível 7,2532 kg ha⁻¹ a partir desse ponto houve uma diminuição (Figura 8 A).

Tabela 5. Avaliação das características morfológicas do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

| Variáveis | <i>A. brasilense</i> | | | Silício (kg ha ⁻¹) | | | | EPM | p-valor | | |
|-------------|----------------------|--------|-------|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|---------|
| | Sem | Com | EPM | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | | Ab | Si | Ab x Si |
| NPRE | 27,500 | 26,750 | 0,375 | 26,700 | 27,000 | 27,400 | 27,400 | 0,170 | 0,340 | 0,873 | 0,284 |
| NPV | 2,650 | 2,900 | 0,125 | 2,100 | 2,900 | 3,100 | 3,000 | 0,228 | 0,801 | 0,641 | 0,904 |
| NPT | 30,150 | 29,700 | 0,225 | 28,800 | 30,000 | 30,500 | 30,400 | 0,390 | 0,540 | 0,494 | 0,335 |
| CPA | 32,400 | 30,300 | 1,050 | 25,900 | 37,300 | 31,600 | 30,600 | 2,340 | 0,673 | 0,316 | 0,485 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| DPA | 66,396 | 69,850 | 1,727 | 57,293 | 75,444 | 70,589 | 69,166 | 3,852 | 0,520 | 0,002 | 0,194 |
| ALFB | 230,350 | 220,009 | 5,170 | 218,550 | 223,312 | 223,450 | 235,406 | 3,594 | 0,063 | 0,122 | 0,180 |
| ALT | 263,087 a | 252,562 b | 5,262 | 251,875 | 257,844 | 256,175 | 265,406 | 2,822 | 0,016 | 0,465 | 0,431 |
| DC | 23,501 | 23,523 | 0,011 | 20,537 | 24,607 | 24,695 | 24,210 | 0,997 | 0,977 | 0,007 | 0,513 |

NPR – número de perfilhos reprodutivos, NPV – número de perfilhos vegetativos, NPT - número de perfilhos totais, CPA - comprimento de panícula, DPA- diâmetro de panícula, ALFB - altura da planta até a folha bandeira, ALT - altura da planta, DC - diâmetro de colmo

Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

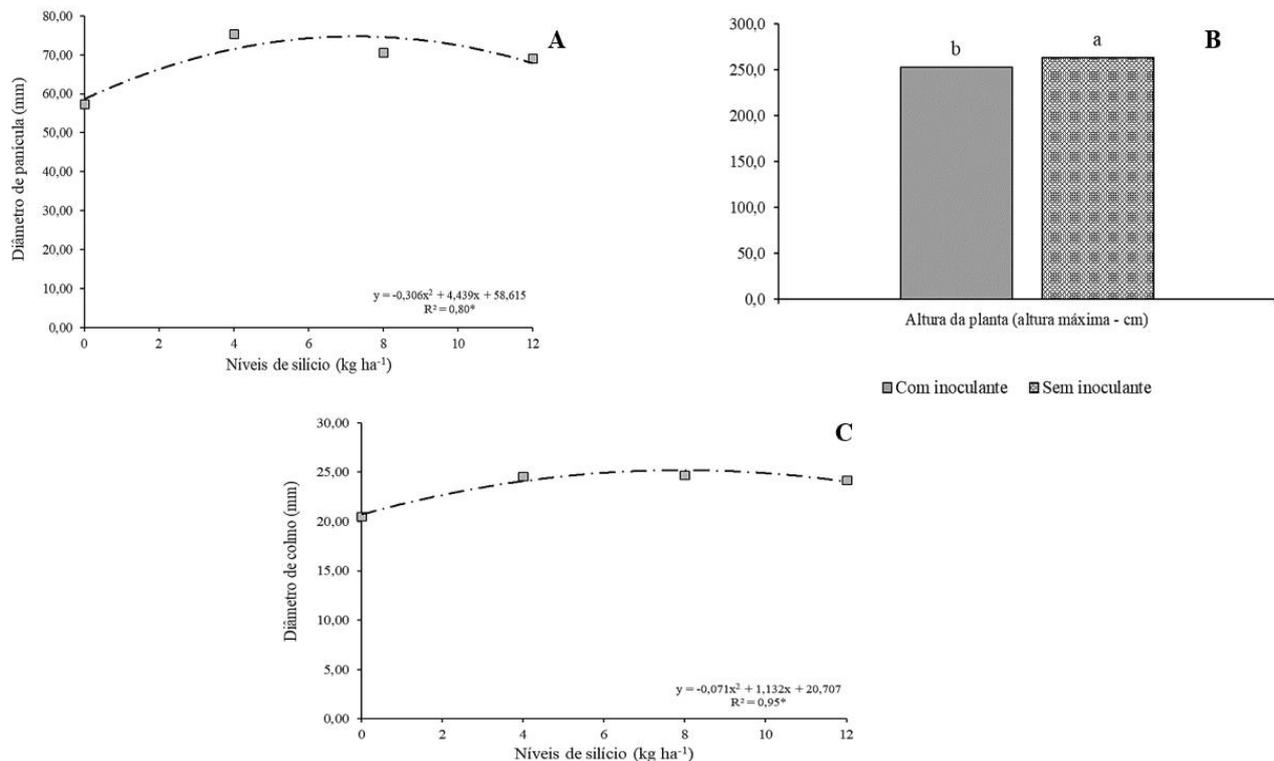


Figura 8. Regressões ajustadas e gráfico de barra para as variáveis diâmetro de panícula (mm), altura da planta (altura máxima- cm) e diâmetro de colmo (mm) (Figuras A, B, C e D) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

A utilização do *A. brasilense* foi significativa para a variável altura da planta ($p=0,016$), em que sem inoculação com *A. brasilense* apresentou maior média (263,087cm) quando comparado com inoculação com *A. brasilense* que teve média igual a (252,562cm), apresentando plantas maiores sem sua utilização (Tabela 5, Figura 8 B).

Observou-se que a utilização das doses de Si foi significativo ($p < 0,05$) para as variáveis diâmetro de panícula (DPA;mm) e diâmetro de colmo (DC;mm) (Tabela 5). Observou-se efeito quadrático para o DPA ($p=0,002$) e DC ($p=0,002$) com ponto de máxima de 7,2532 kg ha⁻¹ e 7,9718 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 8 A).

Para as variáveis número de perfilhos reprodutivos (NPR) (unidade), número de

perfilhos totais (NPT) (unidade), comprimento de panícula (DPA) (cm), e altura de planta até a folha bandeira (ALFB) (cm), não houve efeito significativo para a utilização ou não do *Azospirillum*, para as doses de Si e para a combinação Si x *Azospirillum* (Tabela 5).

Não houve interação entre *A. brasilense* e doses de silício ($P > 0,05$). No entanto observou-se efeito isolado para as doses de silício nas variáveis NGR ($p < 0,001$), PGR ($p = 0,023$) e PPA ($p < 0,001$) (Tabela 6). Em relação aos números de grãos (unidades), apresentou ajuste quadrático conforme se aumentou os níveis de Si, chegando ao ponto máximo de produção ao se utilizar o nível 7,0493 kg ha⁻¹ (Figura 9 A).

Tabela 6. Avaliação das características de produção de grãos do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

| Variáveis | <i>A. brasilense</i> | | EPM | Silício (kg ha ⁻¹) | | | | EPM | p-valor | | |
|-----------|----------------------|---------|---------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Sem | Com | | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | | Ab | Si | Ab x Si |
| NGR | 2405,93 | 2690,85 | 142,462 | 1658,00 | 2979,50 | 3086,30 | 2469,75 | 325,856 | 0,420 | <0,001 | 0,305 |
| PGR | 47,769 | 51,845 | 2,038 | 37,251 | 58,146 | 61,039 | 42,793 | 5,792 | 0,540 | 0,023 | 0,735 |
| PPA | 14,144 | 16,289 | 1,073 | 10,300 | 17,240 | 16,950 | 16,375 | 1,648 | 0,076 | <0,001 | 0,989 |

NGR – número de grãos, PGR - peso dos grãos, PPA - peso da panícula

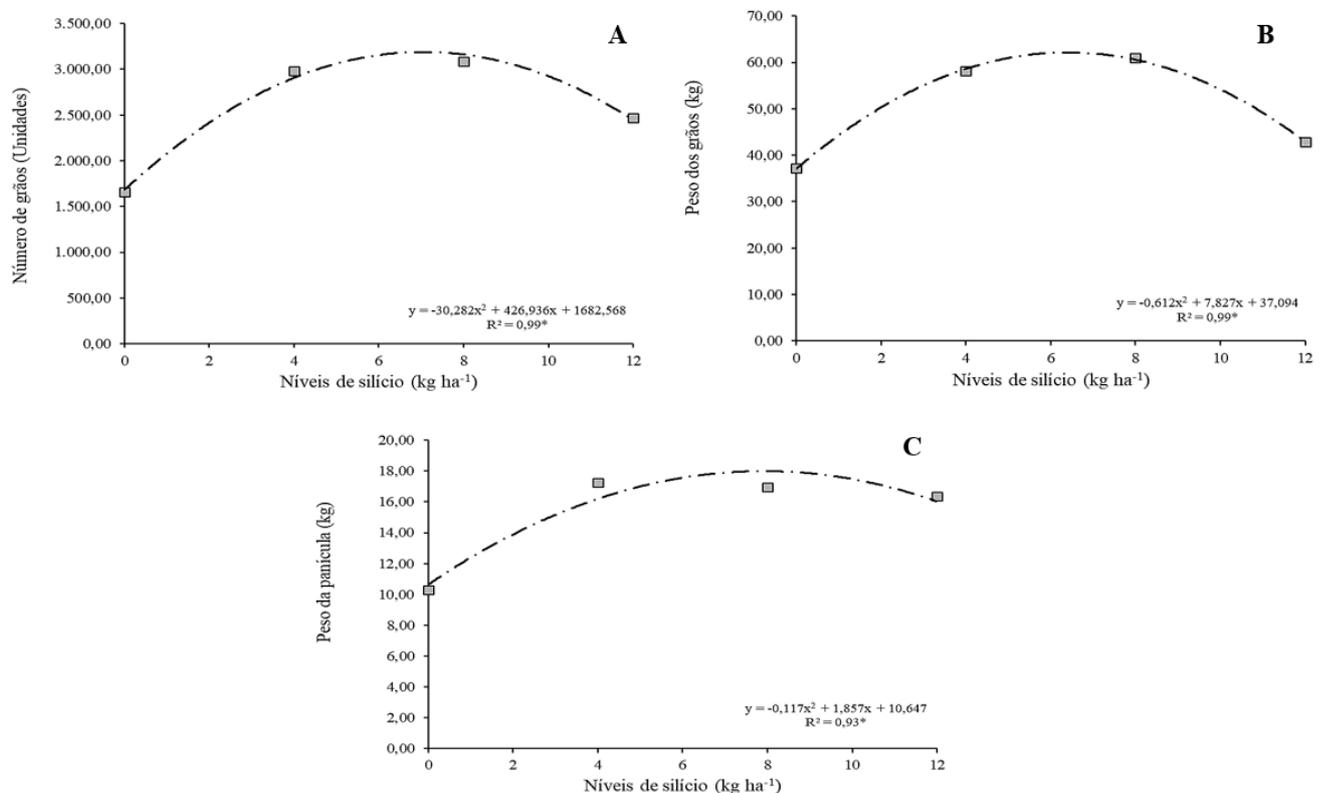


Figura 9. Regressões ajustadas para as variáveis número de grãos (unidades), peso de grãos (kg) e peso de panícula (kg) (Figuras A, B e C) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

Para peso de grão (kg) houve aumento conforme se utilizou as diferentes doses de Si, atingindo nível máximo com 6,3946 (kg ha⁻¹), (Figura 9 B).

Em relação a variável PPA (kg) houve ajuste quadrático à medida que se aumentou os níveis das doses de Si, com ponto máximo ao utilizar o nível 7,9358 (kg ha⁻¹) (Figura 9 C).

De acordo com a tabela 7, não foi observado efeito ($P>0,05$) dos *A. brasilense* e das doses de silício para as variáveis PMV, PMS, PMVF, PMVC, PMVP, PMSF, PMSC, PMSP, AC e AC.

Tabela 7. Avaliação das características de produção do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

| Variáveis (kg/ha) | <i>A. brasilense</i> | | EPM | Silício (kg ha ⁻¹) | | | | EPM | p-valor | | |
|-------------------|----------------------|----------|---------|--------------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|---------|
| | Sem | Com | | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | | Ab | Si | Ab x Si |
| PMV | 35883,33 | 34367,71 | 757,812 | 35308,33 | 34333,33 | 35583,33 | 35277,08 | 272,877 | 0,747 | 0,981 | 0,336 |
| PMS | 12506,66 | 12464,84 | 20,911 | 11921,22 | 12976,21 | 12560,02 | 12485,54 | 216,941 | 0,981 | 0,903 | 0,518 |
| PMVF | 5026,45 | 4864,34 | 364,16 | 5046,63 | 5182,11 | 4799,06 | 4753,78 | 515,00 | 0,765 | 0,933 | 0,967 |
| PMVC | 26805,28 | 24799,50 | 1337,82 | 26325,56 | 24621,04 | 25779,39 | 26483,56 | 1891,96 | 0,325 | 0,911 | 0,766 |
| PMVP | 5109,82 | 5451,89 | 407,30 | 5366,74 | 5328,57 | 5854,75 | 4573,37 | 576,00 | 0,573 | 0,517 | 0,772 |
| PMSF | 1534,46 | 1479,95 | 115,16 | 1535,88 | 1648,50 | 1459,02 | 1385,43 | 162,87 | 0,746 | 0,718 | 0,818 |
| PMSC | 14348,42 | 12562,56 | 788,82 | 13471,49 | 12366,53 | 14116,50 | 13867,45 | 1115,56 | 0,746 | 0,148 | 0,717 |
| PMSP | 2360,00 | 2604,00 | 200,23 | 2623,56 | 2504,08 | 2702,08 | 2100,72 | 283,17 | 0,381 | 0,428 | 0,624 |
| AC | 23376 | 21902 | 736,90 | 23387 | 21357 | 23023 | 22791 | 444,76 | 0,640 | 0,798 | 0,272 |
| EUA | 27,35 | 27,26 | 1,71 | 26,07 | 28,38 | 27,47 | 27,31 | 2,42 | 0,972 | 0,940 | 0,952 |

PMV – produção de matéria verde (kg/ha), PMS - produção de matéria seca (kg/ha), PMVF – produção de matéria verde das folhas por hectare, PMVC - produção de matéria verde dos colmo por hectare, PMVP - produção de matéria verde das panículas por hectare, PMSF - produção de matéria seca das folhas por hectare, PMSC - produção de matéria seca dos colmos por hectare, PMSP – produção de matéria seca das panículas por hectare, AC – acúmulo de água (Kg/ ha), EUA – eficiência do uso de água (kg /MS/ mm/ ha). Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem ($P<0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Com relação à variável sanidade de ataque, quanto de folha observou-se que todos os tratamentos apresentaram a sanidade de ataque ao colmo excelente (1) e a folhas resistente (2) e com isso uma maior qualidade da planta (Tabela 8)

Tabela 8. Sanidade do colmo e das folhas e características dos grãos de sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

| Tratamentos | Sanidade de ataque | | Grãos | | |
|---------------|--------------------|--------|----------|---------|--------------|
| | Colmo | Folhas | Dureza | Ardidos | Cor |
| Si0 | 1 | 2 | Leitoso | 1 | Marrom Claro |
| Si0Ab | 1 | 2 | Duro | 1 | Marrom Claro |
| Si4 | 1 | 2 | Semiduro | 1 | Marrom Claro |
| Si4Ab | 1 | 2 | Semiduro | 1 | Marrom Claro |
| Si8 | 1 | 2 | Leitoso | 1 | Marrom Claro |
| Si8Ab | 1 | 2 | Semiduro | 1 | Marrom Claro |
| Si12 | 1 | 2 | Leitoso | 1 | Marrom Claro |
| Si12Ab | 1 | 2 | Leitoso | 1 | Marrom Claro |

Si0- dose 0 de Si sem *Azospirillum*, Si0Ab- dose 0 de Si com *Azospirillum*, Si4- dose 4 de Si sem *Azospirillum*,

Si4Ab- dose 4 de Si com *Azospirillum*, Si8- dose 8 de Si sem *Azospirillum*, Si8Ab- dose 8 de Si com *Azospirillum*, Si12- dose 12 de Si sem *Azospirillum*, Si12Ab- dose 12 de Si com *Azospirillum*.

Para as características quanto ao grau de maturidade dos grãos observou-se que para os tratamentos sem *A. brasilense* com diferentes doses de Si, os grãos se apresentaram leitoso ou semiduro, já para a utilização do *A. brasilense* e as doses de Si, eles se apresentaram, duro, semiduro e leitoso de acordo com a análise visual (Tabela 8). Em relação a grãos ardidos não houve diferença entre os tratamentos, onde observou-se segundo a análise visual que não houve presença de grãos ardidos (nota 1 excelente) (Tabela 8). Para cor todos os tratamentos apresentaram grãos de cor marrom claro (Tabela 8).

Em relação as partes da planta (raiz, folhas, colmo e grãos), houve efeito para todas as variáveis (C, N e C:N), para as variáveis C e N observou-se uma maior concentração nas folhas e nos grãos com médias de 43,171 e 43,007 %, 1,614 e 1,613 % respectivamente. Para a relação C:N observou-se que houve uma menor relação para os grãos e as folhas, seguidos da raiz, com médias 26,872, 27,202 e 74,062 % respectivamente (Tabela 9) (Figura 10 A).

Tabela 9. Relação C:N (%) das partes da planta do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

| Fatores de Variação | | Variáveis (%) | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------|-----------|
| | | C | N | C: N |
| Partes da planta | Raiz | 38,211 c | 0,535 | 74,062 b |
| | Folhas | 43,171 a | 1,614 | 27,202 c |
| | Colmo | 40,392 b | 0,354 | 123,927 a |
| | Grãos | 43,007 a | 1,613 | 26,872 c |
| | EPM | 1,180 | 0,339 | 23,132 |
| Silício (kg ha ⁻¹) | Sem | 41,328 | 1,046 | 62,252 |
| | Com | 41,063 | 1,012 | 63,780 |
| | EPM | 0,132 | 0,017 | 0,764 |
| | 0,0 | 41,055 | 0,980 | 69,752 |
| | 4,0 | 41,000 | 0,985 | 59,590 |
| | 8,0 | 41,338 | 1,070 | 61,965 |
| | 12,0 | 41,389 | 1,080 | 60,754 |
| | EPM | 0,098 | 0,027 | 2,297 |
| p-valor | Partes | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | Inoculante | 0,358 | 0,146 | 0,643 |
| | Silício | 0,703 | 0,002 | 0,126 |
| | Partes x Inoculante | 0,831 | 0,703 | 0,818 |
| | Partes x Silício | 0,718 | <0,001 | 0,079 |
| | Inoculante x Silício | 0,371 | 0,449 | 0,937 |

| Partes x Inoculante x Silício | 0,126 | 0,305 | 0,995 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
|-------------------------------|-------|-------|-------|

C- Carbono, N- Nitrogênio, C:N- Relação carbono nitrogênio.

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

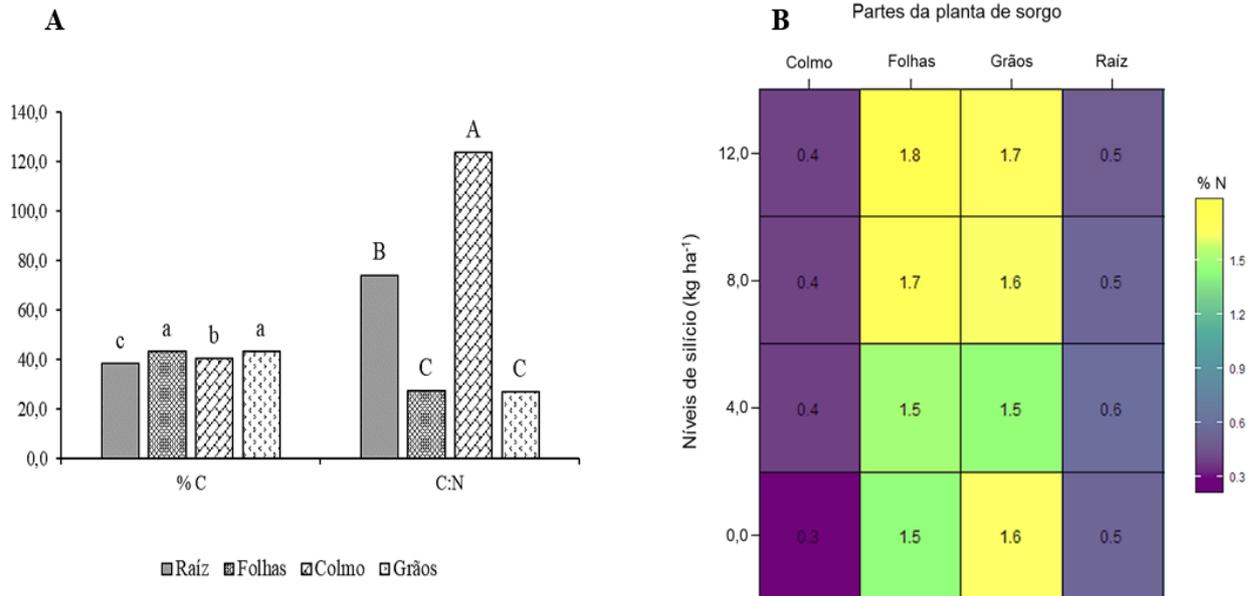


Figura 10. Valores das interações para as variáveis Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C:N (%), (Figuras A, B) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

Houve efeito de interação entre o Si e as partes da planta para a variável N (%), onde observou-se maior porcentagem de N nas folhas e grãos, onde a medida em que aumentou o níveis de Si houve um aumento na porcentagem de N, chegando a média de 1.8 % para folhas e 1.7 % para grãos utilizando-se a dose 12 (kg ha⁻¹) de Si (figura 10 B).

As diferentes doses de silício e a inoculação com *A. brasilense* do material no campo não influenciou os parâmetros avaliados nas silagens de ração total formuladas para bovinos de corte ($P > 0,05$). Assim, o pH, a capacidade tampão, as perdas por gases, as perdas por efluentes e a recuperação de matéria seca das silagens não diferiram significativamente (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az).

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | pH | CT (eq HCl 100 g ⁻¹ MN) | PG (%) | PE (kg ton ⁻¹ MN) | RMS (% MS) |
|--|-------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 4,340 | 0,036 | 7,656 | 8,086 | 92,365 |
| 4 | 4,296 | 0,036 | 7,511 | 8,693 | 92,503 |
| 8 | 4,296 | 0,037 | 7,037 | 8,461 | 90,133 |

| | | | | | |
|--|-------|--------|-------|-------|--------|
| 12 | 4,326 | 0,036 | 7,542 | 8,070 | 91,356 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 4,300 | 0,038 | 6,761 | 8,206 | 91,518 |
| 4 | 4,332 | 0,038 | 8,013 | 8,610 | 92,274 |
| 8 | 4,338 | 0,037 | 6,912 | 7,474 | 89,776 |
| 12 | 4,312 | 0,038 | 7,776 | 8,830 | 91,695 |
| EPM² | 0,028 | 0,002 | 0,518 | 0,550 | 1,035 |
| Efeito principal das doses de silício | | | | | |
| 0 | 4,320 | 0,037 | 7,208 | 8,146 | 91,941 |
| 4 | 4,314 | 0,037 | 7,762 | 8,652 | 92,388 |
| 8 | 4,317 | 0,037 | 6,975 | 7,967 | 89,954 |
| 12 | 4,319 | 0,037 | 7,659 | 8,450 | 91,525 |
| EPM² | 0,020 | 0,001 | 0,366 | 0,389 | 0,732 |
| Efeito principal do <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| Sem | 4,314 | 0,036 | 7,437 | 8,328 | 91,589 |
| Com | 4,314 | 0,038 | 7,366 | 8,280 | 91,316 |
| EPM² | 0,014 | 0,001 | 0,259 | 0,275 | 0,517 |
| P-valor | | | | | |
| Si | 0,996 | 0,3189 | 0,391 | 0,609 | 0,120 |
| Az | 0,769 | 0,3669 | 0,847 | 0,903 | 0,711 |
| Si × Az | 0,428 | 0,8203 | 0,567 | 0,471 | 0,953 |

CT (eq HCl 100 g⁻¹ MN)- capacidade tampão, PG (%)- perdas por gases, PE (kg ton⁻¹ MN)- perdas por efluentes, RMS (% MS)- recuperação de matéria seca (RMS). ¹ Dose de silício. ² EPM: erro-padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

No que diz respeito às silagens de ração total formulada para cabras leiteiras, não foram identificados efeitos significativos das diferentes doses de silício e da combinação ou ausência de inoculação com *A. brasilense* no campo ($P > 0,05$) em relação ao pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az).

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | pH | CT (eq HCl 100 g ⁻¹ MN) | PG (%) | PE (kg ton ⁻¹ MN) | RMS (% MS) |
|--|-------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 4,094 | 0,046 | 6,960 | 10,745 | 90,198 |
| 4 | 4,142 | 0,040 | 6,426 | 10,274 | 93,675 |
| 8 | 4,120 | 0,046 | 6,789 | 9,681 | 91,738 |
| 12 | 4,072 | 0,042 | 7,590 | 9,548 | 91,540 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 4,122 | 0,042 | 6,595 | 9,236 | 91,551 |
| 4 | 4,130 | 0,045 | 7,107 | 10,536 | 92,185 |
| 8 | 4,068 | 0,041 | 6,854 | 10,185 | 90,873 |
| 12 | 4,104 | 0,041 | 7,593 | 9,215 | 90,468 |
| EPM² | 0,026 | 0,027 | 0,483 | 0,560 | 0,898 |
| Efeito principal da dose de silício | | | | | |
| 0 | 4,108 | 0,044 | 6,777 | 9,990 | 90,875 |
| 4 | 4,137 | 0,043 | 6,766 | 10,405 | 92,930 |
| 8 | 4,094 | 0,082 | 6,822 | 9,933 | 91,305 |

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|
| 12 | 4,088 | 0,041 | 7,591 | 9,381 | 91,004 |
| EPM² | 0,018 | 0,019 | 0,342 | 0,396 | 0,635 |
| Efeito principal de <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| Sem | 4,107 | 0,043 | 6,941 | 10,062 | 91,788 |
| Com | 4,106 | 0,062 | 7,037 | 9,793 | 91,269 |
| EPM² | 0,013 | 0,013 | 0,242 | 0,280 | 0,449 |
| P-valor | | | | | |
| Si | 0,260 | 0,378 | 0,266 | 0,353 | 0,102 |
| Az | 0,978 | 0,352 | 0,781 | 0,501 | 0,420 |
| Si × Az | 0,351 | 0,455 | 0,752 | 0,296 | 0,402 |

CT (eq HCl 100 g⁻¹ MN)- capacidade tampão, PG (%)- perdas por gases, PE (kg ton⁻¹ MN)- perdas por efluentes, RMS (% MS)- recuperação de matéria seca (RMS). ¹ Dose de silício. ² EPM: erro-padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Avaliando apenas as silagens de sorgo não foram identificados efeitos significativos das diferentes doses de silício e da combinação ou ausência de inoculação com *A. brasilense* no campo ($P > 0,05$) em relação aos parâmetros de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca, conforme apresentado na (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios de pH, capacidade tampão, perdas por gases, perdas por efluentes e recuperação de matéria seca em silagens exclusivas de sorgo com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az).

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | pH | CT (eq HCl 100 g ⁻¹ MN) | PG (%) | PE (kg ton ⁻¹ MN) | RMS (% MS) |
|--|-------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 3,778 | 0,043 | 10,606 | 10,880 | 80,094 |
| 4 | 3,802 | 0,046 | 10,919 | 11,517 | 81,502 |
| 8 | 3,784 | 0,044 | 10,314 | 11,418 | 80,462 |
| 12 | 3,644 | 0,049 | 9,926 | 11,771 | 79,978 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| 0 | 3,728 | 0,043 | 10,237 | 10,653 | 80,506 |
| 4 | 3,648 | 0,047 | 9,031 | 11,282 | 77,138 |
| 8 | 3,722 | 0,044 | 8,705 | 11,384 | 81,404 |
| 12 | 3,702 | 0,044 | 9,780 | 11,310 | 82,198 |
| EPM² | 0,074 | 0,004 | 1,007 | 0,448 | 1,784 |
| Efeito principal da dose de silício | | | | | |
| 0 | 3,753 | 0,043 | 10,422 | 10,767 | 80,300 |
| 4 | 3,725 | 0,047 | 9,975 | 11,400 | 79,320 |
| 8 | 3,753 | 0,044 | 9,510 | 11,401 | 80,933 |
| 12 | 3,673 | 0,047 | 9,853 | 11,541 | 81,088 |
| EPM² | 0,052 | 0,003 | 0,712 | 0,317 | 1,262 |
| Efeito principal de <i>Azospirillum</i> | | | | | |
| Sem | 3,752 | 0,046 | 10,442 | 11,397 | 80,509 |
| Com | 3,700 | 0,045 | 9,438 | 11,157 | 80,311 |
| EPM² | 0,037 | 0,002 | 0,503 | 0,224 | 0,892 |
| P-valor | | | | | |
| Si | 0,676 | 0,801 | 0,839 | 0,327 | 0,750 |
| Az | 0,331 | 0,805 | 0,168 | 0,456 | 0,876 |
| Si × Az | 0,571 | 0,910 | 0,771 | 0,972 | 0,291 |

CT (eq HCl 100 g⁻¹ MN)- capacidade tampão, PG (%)- perdas por gases, PE (kg ton⁻¹ MN)- perdas por efluentes, RMS (% MS)- recuperação de matéria seca (RMS). ¹ Dose de silício. ² EPM: erro-padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

No que se refere à microbiologia das silagens de ração total formuladas para bovinos de corte, foi observado efeito de interação entre as doses de Si \times *A. brasilense* ($P < 0,05$) (Tabela 13). De maneira geral, foram observadas altas contagens de bactérias ácido lácticas, com valores acima de 6 log UFC g⁻¹, entretanto, o tratamento recebendo a dose de 8 kg ha⁻¹ de silício sem *A. brasilense* apresentou maiores contagens (Tabela 13). Em contrapartida, a população de mofos e leveduras foi significativamente maior nos tratamentos recebendo a dose de 4 kg ha⁻¹ de silício sem *A. brasilense* (Tabela 13). Com relação à inoculação no campo com *A. brasilense*, observaram-se maiores valores de BAL e mofos nas silagens com a dose de 12 kg ha⁻¹ de silício ($P < 0,05$) (Tabela 13).

Tabela 13. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az).

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | BAL | Mofos | Leveduras |
|--|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Log UFC g ⁻¹ silagem | | |
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | |
| 0 | 6,64 ^b | 3,77 ^b | 4,62 ^c |
| 4 | 6,72 ^b | 6,62 ^a | 6,72 ^a |
| 8 | 7,43 ^a | 3,89 ^b | 5,26 ^b |
| 12 | 6,47 ^b | 3,74 ^b | 5,26 ^b |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | |
| 0 | 6,68 ^{ab} | 3,84 ^b | 5,86 |
| 4 | 6,73 ^{ab} | 3,72 ^b | 5,62 |
| 8 | 6,45 ^b | 3,76 ^b | 5,75 |
| 12 | 6,91 ^a | 4,19 ^a | 5,48 |
| EPM² | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| Efeito principal da dose de silício | | | |
| 0 | 6,66 ^b | 3,80 ^b | 5,24 ^b |
| 4 | 6,73 ^{ab} | 5,17 ^a | 6,17 ^a |
| 8 | 6,94 ^a | 3,82 ^b | 5,51 ^b |
| 12 | 6,69 ^b | 3,96 ^b | 5,37 ^b |
| EPM² | 0,06 | 0,05 | 0,08 |
| Efeito principal de <i>Azospirillum</i> | | | |
| Sem | 6,81 | 3,88 ^b | 5,47 ^b |
| Com | 6,69 | 4,51 ^a | 5,68 ^a |
| EPM² | 0,04 | 0,03 | 0,06 |
| P-valor | | | |
| Si | 0,0125 | <0,0001 | <0,0001 |
| Az | 0,0542 | <0,0001 | 0,0154 |
| Si \times Az | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |

¹ Dose de silício.

² EPM: erro-padrão da média.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

As populações microbianas das silagens de ração total para cabras leiteiras apresentaram efeito de interação entre as doses de Si \times *A. brasilense* ($P < 0,05$) para todos os grupos avaliados (Tabela 14). De forma geral, a população de BAL foram similares

independentemente do tratamento ($> 5 \log \text{ UFC g}^{-1}$) ($P < 0,05$), entretanto, as menores populações foram observadas nas silagens controle (sem silício e sem *A. brasilense*) e com a dose de 8 kg ha^{-1} de silício inoculadas com *A. brasilense*, não havendo diferença entre os demais (Tabela 14). A população de mofos foi menor que as de BAL, com valores médios de $3 \log \text{ UFC g}^{-1}$, no entanto, os maiores valores foram observados na silagem com a dose de 12 kg ha^{-1} de silício inoculadas com *A. brasilense*, além das silagens do tratamento controle (sem silício e sem *A. brasilense*) (Tabela 14). As leveduras apresentaram maiores valores nas silagens com a dose de 8 kg ha^{-1} de silício sem inoculação, enquanto os valores médios das silagens inoculadas com *A. brasilense* não apresentaram diferença entre si, independentemente da dose de silício aplicada (Tabela 14).

Tabela 14. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az).

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | BAL | Mofos | Leveduras |
|--|---------------------------------|-------------------|--------------------|
| | Log UFC g ⁻¹ silagem | | |
| Sem Azospirillum | | | |
| 0 | 4,48 | 4,41 ^a | 3,42 ^b |
| 4 | 5,81 | 3,40 ^b | 3,74 ^{ab} |
| 8 | 6,57 | 3,70 ^b | 4,03 ^a |
| 12 | 5,84 | 3,35 ^b | 3,54 ^b |
| Com Azospirillum | | | |
| 0 | 6,25 ^a | 2,65 ^c | 3,59 |
| 4 | 6,26 ^a | 3,62 ^b | 3,33 |
| 8 | 4,49 ^b | 3,79 ^b | 3,36 |
| 12 | 6,29 ^a | 5,40 ^a | 3,50 |
| EPM² | 0,13 | 0,09 | 0,10 |
| Efeito principal da dose de silício | | | |
| 0 | 5,36 ^b | 3,53 ^b | 3,50 |
| 4 | 6,04 ^a | 3,51 ^b | 3,54 |
| 8 | 5,53 ^b | 3,74 ^b | 3,69 |
| 12 | 6,07 ^a | 4,37 ^a | 3,52 |
| EPM² | 0,09 | 0,06 | 0,07 |
| Efeito principal de Azospirillum | | | |
| Sem | 5,68 | 3,72 | 3,68 ^a |
| Com | 5,82 | 3,86 | 3,45 ^b |
| EPM² | 0,06 | 0,04 | 0,05 |
| P-valor | | | |
| Si | <0,0001 | <0,0001 | 0,2514 |
| AZ | 0,1439 | 0,0365 | 0,0033 |
| Si × AZ | <0,0001 | <0,0001 | 0,0018 |

¹ Dose de silício.

² EPM: erro-padrão da média.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Avaliando as silagens de sorgo foi possível observar efeito entre as doses de Si × *A. brasilense* ($P < 0,05$) para todos os grupos avaliados (Tabela 15). Os valores de BAL

foram superiores a 5,5 log UFC g⁻¹ de silagem e em algumas passou-se dos 7 log UFC g⁻¹ de silagem, com exceção da silagem com a dose de 4 kg ha⁻¹ de silício inoculadas com *A. brasilense* (Tabela 15).

Com relação à população de mofos, observou-se que as silagens inoculadas com *A. brasilense* apresentaram valores elevados, se assemelhando às BAL, enquanto as silagens sem inoculação e com a dose de 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício apresentaram os menores valores (Tabela 15). As leveduras refletiram esta mesma tendência, com as silagens inoculadas com *A. brasilense* apresentando maiores valores independentemente da dose de silício aplicada, ao passo que nas silagens sem inoculação foi observado menor valor quando se aplicou a dose de 12 kg ha⁻¹ (Tabela 15).

Tabela 15. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL), mofos e leveduras em silagens de sorgo com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az)

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | BAL | Mofos | Leveduras |
|--|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Log UFC g ⁻¹ silagem | | |
| Sem Azospirillum | | | |
| 0 | 5,47 ^b | 4,33 ^a | 5,55 ^a |
| 4 | 6,52 ^a | 4,21 ^a | 5,57 ^a |
| 8 | 6,74 ^a | 3,65 ^b | 5,51 ^a |
| 12 | 6,94 ^a | 3,53 ^b | 4,07 ^b |
| Com Azospirillum | | | |
| 0 | 7,38 ^a | 7,09 ^a | 6,73 ^a |
| 4 | 4,03 ^b | 6,59 ^b | 6,78 ^a |
| 8 | 7,43 ^a | 6,50 ^b | 6,79 ^a |
| 12 | 7,94 ^a | 4,13 ^c | 4,42 ^b |
| EPM² | 0,17 | 0,10 | 0,12 |
| Efeito principal da dose de silício | | | |
| 0 | 6,43 ^b | 5,71 ^a | 6,14 ^a |
| 4 | 5,28 ^c | 5,40 ^b | 6,18 ^a |
| 8 | 7,08 ^a | 5,07 ^c | 6,15 ^a |
| 12 | 7,19 ^a | 3,83 ^d | 4,24 ^b |
| EPM² | 0,12 | 0,07 | 0,08 |
| Efeito principal de Azospirillum | | | |
| Sem | 6,29 | 3,93 ^b | 5,18 ^b |
| Com | 6,70 | 6,08 ^a | 6,18 ^a |
| EPM² | 0,08 | 0,05 | 0,06 |
| P-valor | | | |
| Si | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Az | 0,0033 | <0,0001 | <0,0001 |
| Si × Az | <0,0001 | <0,0001 | 0,0020 |

¹ Dose de silício.

² EPM: erro-padrão da média.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

A estabilidade aeróbia das silagens variou de acordo com os tratamentos utilizados, como ilustrado na Figura 11. Notou-se que a silagem feita exclusivamente a partir de sorgo

apresentou discrepâncias em relação aos tratamentos avaliados. As silagens sem silício e sem inoculação (Si0), sem silício e inoculadas com *A. brasilense* (Si0Ab) e com 12 kg ha⁻¹ de silício (Si12) demonstraram uma quebra na estabilidade em um tempo de exposição mais curto, com uma média de 30 horas (Figura 11 A). Por outro lado, as silagens com 4 kg ha⁻¹ de silício (Si4) e 8 kg ha⁻¹ de silício (Si8Ab) apresentaram quebra da estabilidade após 50 horas de exposição, enquanto as silagens com 4 kg ha⁻¹ de silício e inoculadas com *A. brasilense* (Si4Ab) manteve-se estável por cerca de 70 horas. As silagens consideradas estáveis foram a que tinha 8 kg ha⁻¹ de silício (Si8) e 8 kg ha⁻¹ de silício inoculadas com *A. brasilense* (Si8Ab) (Figura 11 A).

No caso da silagem na forma de ração total para caprinos leiteiros, observaram-se diferenças entre os tratamentos (Figura 11 B). No entanto, todos os tratamentos, com exceção da silagem com 4 kg ha⁻¹ de silício inoculadas *A. brasilense* (Si4Ab) apresentaram quebra da estabilidade com aproximadamente 30 horas (Figura 11 B). Com relação às silagens de ração total para bovinos de corte, observou-se que todas as silagens mantiveram a estabilidade durante as primeiras 40 horas (Figura 11 C). No entanto, à medida que o tempo aumentou, observou-se que os tratamentos que envolviam a utilização de silício e a inoculação com *A. brasilense* apresentaram uma maior estabilidade aeróbia (Figura 13 C). Assim, as silagens com 4, 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício inoculadas *A. brasilense* (Si4Ab, Si8Ab e Si12Ab, respectivamente) exibiram maior estabilidade, com a silagem 4 kg ha⁻¹ de silício inoculadas *A. brasilense* (Si4Ab) permanecendo estável por cerca de 100 horas (Figura 13 C).

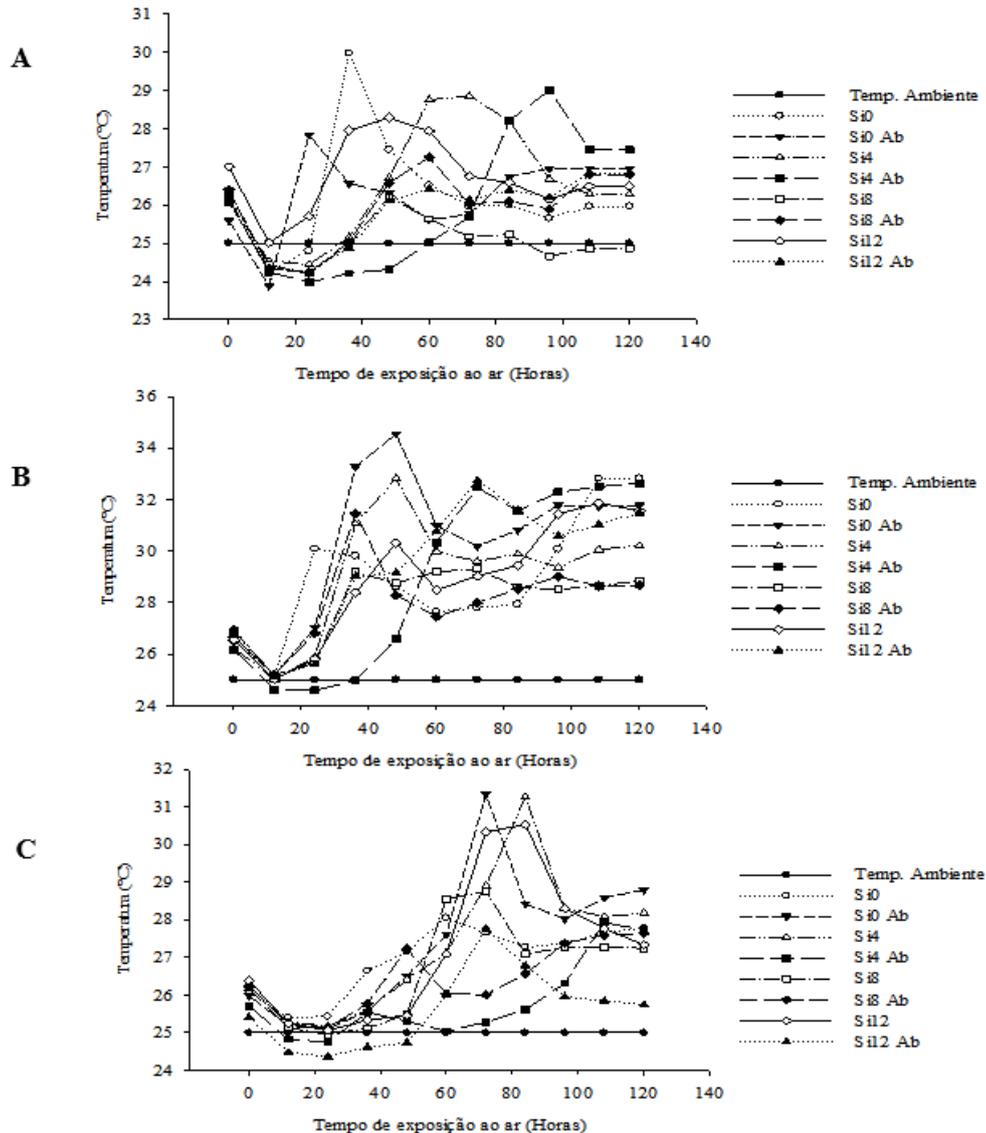


Figura 11. Tempo médio de estabilidade aeróbia da silagem de sorgo forrageiro (A), da silagem de ração total para cabras leiteiras (B) e de bovinos de corte (C) expostas ao ar, utilizando-se diferentes doses de Si, com e sem inoculação com *A. brasilense*.

As doses de silício e as combinações com *A. brasilense* não apresentaram efeitos significativos isolados ou de interação ($P > 0,05$) para nenhuma das silagens avaliadas. Portanto, os teores de matéria seca, matéria orgânica, matéria mineral, proteína bruta, fibra indigestível em detergente neutro, fibra indigestível em detergente ácido, hemicelulose, lignina e nutrientes digestíveis totais não diferiram entre os tratamentos usados nas silagens de ração total formuladas para bovinos de corte (Tabela 16), das silagens de ração total formuladas para cabras leiteiras (Tabela 17) e para as silagens exclusivas de sorgo (Tabela 18).

Tabela 16. Composição química (%) em silagens de ração total para bovinos de corte com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az)

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | Silagens de ração total para bovinos de corte | | | | | | | | |
|--|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MS | MO | MM | PB | FDN | FDA | FDNcp | HEM | LIG |
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 34,962 | 93,087 | 6,597 | 11,967 | 36,946 | 16,325 | 34,354 | 20,621 | 12,738 |
| 4 | 33,527 | 93,405 | 6,286 | 11,912 | 40,200 | 17,628 | 38,328 | 22,571 | 12,365 |
| 8 | 34,105 | 93,837 | 5,864 | 11,687 | 40,727 | 17,400 | 39,145 | 23,327 | 12,250 |
| 12 | 35,506 | 93,054 | 6,632 | 11,686 | 37,280 | 15,701 | 39,404 | 21,578 | 11,441 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 35,430 | 93,777 | 5,910 | 12,248 | 37,468 | 16,249 | 36,597 | 21,219 | 11,833 |
| 4 | 34,521 | 92,991 | 6,674 | 12,213 | 38,790 | 16,441 | 36,884 | 22,349 | 12,325 |
| 8 | 34,037 | 92,861 | 6,809 | 11,534 | 39,201 | 16,721 | 37,474 | 22,480 | 11,628 |
| 12 | 33,881 | 92,965 | 6,668 | 12,012 | 37,395 | 15,771 | 35,489 | 21,623 | 12,190 |
| EPM² | 0,683 | 0,362 | 0,343 | 0,291 | 1,399 | 0,825 | 1,449 | 0,954 | 0,556 |
| Efeito principal das doses de silício | | | | | | | | | |
| 0 | 35,196 | 93,432 | 6,254 | 12,107 | 37,207 | 16,287 | 35,475 | 20,920 | 12,286 |
| 4 | 34,024 | 93,198 | 6,480 | 12,062 | 39,495 | 17,035 | 37,606 | 22,460 | 12,345 |
| 8 | 34,071 | 93,349 | 6,337 | 11,611 | 39,964 | 17,060 | 38,309 | 22,903 | 11,939 |
| 12 | 34,694 | 93,009 | 6,650 | 11,849 | 37,337 | 15,736 | 37,447 | 21,600 | 11,816 |
| EPM² | 0,483 | 0,256 | 0,242 | 0,206 | 0,989 | 0,583 | 1,024 | 0,674 | 0,393 |
| Efeito principal do <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| Sem | 34,525 | 93,346 | 6,345 | 11,813 | 38,788 | 16,764 | 37,808 | 22,024 | 12,199 |
| Com | 34,467 | 93,149 | 6,516 | 12,002 | 38,213 | 16,295 | 36,611 | 21,918 | 11,994 |
| EPM² | 0,341 | 0,181 | 0,171 | 0,145 | 0,699 | 0,412 | 0,724 | 0,477 | 0,278 |
| P-valor | | | | | | | | | |
| Si | 0,281 | 0,667 | 0,674 | 0,3189 | 0,120 | 0,325 | 0,258 | 0,182 | 0,731 |
| Az | 0,905 | 0,447 | 0,487 | 0,3669 | 0,565 | 0,428 | 0,251 | 0,875 | 0,607 |
| Si × Az | 0,270 | 0,159 | 0,135 | 0,8203 | 0,840 | 0,863 | 0,221 | 0,897 | 0,471 |

¹ Dose de silício.² EPM: erro-padrão da média.

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.

Tabela 17. Composição química em silagens de ração total para cabras de leite com doses de silício (Si) e inoculação de *Azospirillum* (Az)

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | Silagens de ração total para cabras leiteiras | | | | | | | | |
|--|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MS | MO | MM | PB | FDN | FDA | FDNcp | HEM | LIG |
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 33,120 | 95,196 | 4,564 | 12,630 | 41,508 | 18,064 | 40,958 | 23,442 | 12,616 |
| 4 | 33,623 | 95,097 | 4,655 | 12,741 | 40,372 | 18,902 | 38,011 | 21,468 | 13,812 |
| 8 | 33,993 | 95,042 | 4,714 | 13,166 | 38,271 | 17,247 | 36,207 | 21,024 | 13,458 |
| 12 | 34,035 | 95,180 | 4,565 | 12,535 | 42,042 | 18,385 | 40,311 | 23,657 | 12,560 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 33,604 | 95,072 | 4,699 | 13,317 | 42,285 | 18,741 | 39,590 | 23,544 | 13,030 |
| 4 | 33,875 | 94,904 | 4,853 | 12,681 | 39,119 | 15,774 | 35,012 | 23,345 | 12,354 |
| 8 | 27,947 | 95,024 | 4,728 | 12,552 | 37,618 | 17,968 | 37,116 | 19,649 | 14,207 |
| 12 | 33,418 | 95,027 | 4,713 | 12,588 | 41,716 | 17,295 | 37,615 | 24,421 | 13,595 |

| | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EPM² | 2,249 | 0,183 | 0,174 | 0,345 | 1,580 | 1,334 | 1,066 | 1,555 | 0,932 |
| Efeito principal da dose de silício | | | | | | | | | |
| 0 | 33,362 | 95,134 | 4,631 | 12,974 | 41,897 | 18,403 | 40,274 | 23,493 | 12,823 |
| 4 | 33,749 | 95,001 | 4,754 | 12,711 | 39,746 | 17,338 | 36,512 | 22,407 | 13,083 |
| 8 | 30,970 | 95,033 | 4,721 | 12,859 | 37,944 | 17,608 | 36,662 | 20,336 | 13,832 |
| 12 | 33,726 | 95,103 | 4,639 | 12,562 | 41,879 | 17,840 | 38,963 | 24,039 | 13,077 |
| EPM² | 1,590 | 0,129 | 0,123 | 0,244 | 1,117 | 0,943 | 0,754 | 1,099 | 0,659 |
| Efeito principal de <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| Sem | 33,693 | 95,129 | 4,624 | 12,768 | 40,548 | 18,150 | 38,872 | 22,398 | 13,111 |
| Com | 32,211 | 95,007 | 4,748 | 12,785 | 40,185 | 17,445 | 37,333 | 22,740 | 13,297 |
| EPM² | 1,124 | 0,091 | 0,087 | 0,172 | 0,790 | 0,667 | 0,533 | 0,777 | 0,466 |
| P-Valor | | | | | | | | | |
| Si | 0,557 | 0,879 | 0,866 | 0,661 | 0,049 | 0,874 | 0,632 | 0,105 | 0,728 |
| Az | 0,358 | 0,353 | 0,323 | 0,945 | 0,747 | 0,460 | 0,167 | 0,757 | 0,780 |
| Si × Az | 0,434 | 0,969 | 0,958 | 0,327 | 0,932 | 0,436 | 0,332 | 0,766 | 0,543 |

¹ Dose de silício.

² EPM: erro-padrão da média.

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.

Tabela 18. Composição química de silagens de sorgo, com diferentes doses de Si, com e sem a utilização de *Azospirillum*.

| Si (kg ha ⁻¹) ¹ | Silagem de sorgo | | | | | | | | |
|--|------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MS | MO | CINZ | PB | FDN | FDA | FDNcp | HEM | LIG |
| Sem <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 20,469 | 95,904 | 3,875 | 4,733 | 64,489 | 38,920 | 66,132 | 25,568 | 19,058 |
| 4 | 20,255 | 95,775 | 4,057 | 4,749 | 65,730 | 31,817 | 65,080 | 33,912 | 20,088 |
| 8 | 20,440 | 95,768 | 4,003 | 5,137 | 65,320 | 37,877 | 64,742 | 27,443 | 21,246 |
| 12 | 19,767 | 95,786 | 3,975 | 4,994 | 65,563 | 36,861 | 64,241 | 28,701 | 24,240 |
| Com <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 20,487 | 95,908 | 3,894 | 4,969 | 67,916 | 35,526 | 66,319 | 32,390 | 23,070 |
| 4 | 20,055 | 95,822 | 3,941 | 4,948 | 65,855 | 34,895 | 66,261 | 30,960 | 17,595 |
| 8 | 20,162 | 95,747 | 4,036 | 5,094 | 65,111 | 32,665 | 65,343 | 32,446 | 20,664 |
| 12 | 20,545 | 96,043 | 3,749 | 4,848 | 65,173 | 34,265 | 57,254 | 30,908 | 13,736 |
| EPM | 0,494 | 0,143 | 0,139 | 0,233 | 0,975 | 2,707 | 1,527 | 2,771 | 6,936 |
| Efeito principal da dose de silício | | | | | | | | | |
| 0 | 20,478 | 95,906 | 3,884 | 4,851 | 66,203 | 37,223 | 66,225 | 28,979 | 21,064 |
| 4 | 20,155 | 95,798 | 3,999 | 4,848 | 65,793 | 33,356 | 65,670 | 32,436 | 18,841 |
| 8 | 20,301 | 95,757 | 4,020 | 5,116 | 65,216 | 35,271 | 65,043 | 29,944 | 20,955 |
| 12 | 20,156 | 95,914 | 3,862 | 4,921 | 65,368 | 35,563 | 60,748 | 29,805 | 18,988 |
| EPM | 0,349 | 0,101 | 0,098 | 0,164 | 0,689 | 1,914 | 1,080 | 1,959 | 4,905 |
| Efeito principal de <i>Azospirillum</i> | | | | | | | | | |
| Sem | 20,233 | 95,808 | 3,977 | 4,903 | 65,275 | 36,369 | 65,049 | 28,906 | 21,158 |
| Com | 20,312 | 95,880 | 3,905 | 4,965 | 66,014 | 34,338 | 63,794 | 31,676 | 18,766 |
| EPM | 0,247 | 0,071 | 0,069 | 0,116 | 0,487 | 1,353 | 0,763 | 1,385 | 3,468 |
| P-Valor | | | | | | | | | |
| Si | 0,901 | 0,621 | 0,590 | 0,631 | 0,742 | 0,567 | 0,0042 | 0,632 | 0,979 |
| Az | 0,821 | 0,481 | 0,470 | 0,709 | 0,292 | 0,296 | 0,254 | 0,167 | 0,629 |
| Si × Az | 0,701 | 0,761 | 0,766 | 0,812 | 0,183 | 0,465 | 0,037 | 0,332 | 0,767 |

¹ Dose de silício.

² EPM: erro-padrão da média.

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra insolúvel em

detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.

6. DISCUSSÃO

6.1. Características morfofisiológicas e produtivas das plantas de sorgo

O peso de planta inteira foi influenciado pelos diferentes níveis de Si, isso pode ser explicado pela influência do número de folhas vivas, peso de folhas vivas, peso de colmo e peso de panícula onde a soma das variáveis apresentou plantas mais pesadas, o uso do Si pode ter vindo influenciar a planta a aumentar sua capacidade fotossintética, havendo assim maior desenvolvimento de algumas características a medida em que se aumentou os níveis de Si, isso pode estar associado à presença do elemento, que possibilita um bom desenvolvimento da estrutura foliar das plantas, possibilitando com que as folhas permaneçam eretas (MENEGALE; CASTRO & MANCUSO, 2015).

Na cultura do sorgo forrageiro a panícula é o principal componente para se estabelecer o ponto de colheita da planta, principalmente quando seu cultivo tem por finalidade a produção de silagem, devido sua contribuição no aumento dos teores de matéria seca da planta, além do mais, a panícula possui um maior teor de proteína bruta agregando maior valor nutritivo em relação aos demais componentes da planta, como: folha e colmo (NEUMANN et al., 2002).

Em relação as características morfológicas e produtivas o uso das diferentes doses de Si, apresentou melhoras no diâmetro de panícula (DPA), diâmetro do colmo (DC), número de grãos (NGR), peso de grãos (PGR) e peso de panícula (PPA), a influência do aumento dos níveis de Si e o aumento nas variáveis pode ser explicado pois embora o Si não seja considerado um elemento essencial às plantas, estudos constatam que a aplicação de Si ao solo com o crescimento e acréscimo na produtividade das culturas, especialmente as espécies gramíneas, consideradas acumuladoras, como é o caso da cultura do sorgo (CASTRO, 2009).

Embora as funções do Si possam variar entre espécies e cultivares, alguns estudos indicam que o Si pode aumentar a taxa fotossintética, a eficiência instantânea do uso da água e a produção de biomassa vegetal (VICIEDO et al., 2019). O aumento da disponibilidade de Si tem resultado em incrementos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, e especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja de natureza biótica ou abiótica (MA E YAMAJI, 2006; ABDALLA, 2011).

Segundo (AGARIE, et al., 1998) o aumento da capacidade fotossintética das plantas

pode estar relacionado à presença do elemento no sistema, proporcionando melhor arranjo das folhas, tornando-as mais eretas e mais resistentes a possíveis danos, tornando maior sua produção. A deposição do Si aumenta o fortalecimento e a rigidez da parede celular, aumentando, portanto, a resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças, acamamento, melhora a interceptação de luz e diminui a transpiração (MENEGALE et al, 2015).

Em relação ao uso do *A. brasilense*, houve efeito sobre a porcentagem de panícula, altura da planta e produção de MS de panícula, seu uso pode fornecer parte do N exigido pela cultura e aumentar sua produção, podendo também sintetizar fitormônios que auxiliam no crescimento e desenvolvimento, com impactos positivos na produtividade (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2018).

O uso do *A. brasilense* auxilia na produção de fitormônios, onde os hormônios de crescimento produzidos pela bactéria (auxinas, giberelinas e seus precursores) aumentam o crescimento das plantas, devido a essas substâncias serem responsáveis por vários processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetal (FUKAMI et al., 2017). A atuação da giberelina e da auxina pode modificar a expansão celular, ocasionando em alongamento da parte aérea da planta (TAIZ e ZEIGER, 2013), no presente estudo as plantas apresentaram-se mais altas quando se fez o uso do *A. brasilense*.

A dureza dos grãos pode determinar altos teores de matéria seca para ensilagem, com relação ao presente estudo os grãos de apresentaram com características favoráveis quanto a dureza, pois o sorgo forrageiro é considerado precoce e a maioria dos híbridos apresentam ponto de ensilagem de farináceo a duro e os constituintes da planta podem variar em detrimento da colheita com influência no estágio de desenvolvimento (SANTOS et al, 2021).

A cultivar BRS Ponta Negra apresenta médio porte, cor do grão marrom claro, características pertinentes à produção de forragem de acordo com a Embrapa milho e sorgo (2007). A ausência de grãos ardidos vem favorecer a qualidade e desenvolvimento dos mesmos, aumentando assim a produção e qualidade e sua finalidade tanto para a produção de grãos como produção de silagem.

Segundo OLIVEIRA et. al (2019) a relação C/N nada mais é do que a razão entre as quantidades de carbono (C) e nitrogênio (N) presente na biomassa da cultura. É um indicador de decomposição da matéria orgânica do solo. No presente estudo houve uma maior deposição de C nas folhas e grãos, menor relação C/N foi observada nas folhas e nos grãos, uma maior relação Carbono: Nitrogênio (C: N) nas folhas de uma planta geralmente significa que há uma proporção maior de carbono em relação ao nitrogênio nas estruturas foliares. Isso

pode ser resultado de um acúmulo de compostos ricos em carbono, como celulose e lignina, que são importantes para a estrutura das plantas, mas têm menos nitrogênio em sua composição.

Para as doses de Si observou-se uma maior concentração de N a medida em que aumentou as doses de Si. Essa relação é um indicador importante das características e processos relacionados ao crescimento das plantas, à pendência da matéria orgânica e à dinâmica do solo. Para SIQUEIRA & FRANCO (1988), quando a relação C/N situa-se entre 20 e 30, ocorre um equilíbrio entre os processos de mineralização e de imobilização do nitrogênio; quando atinge valores superiores a 30, a imobilização supera a mineralização, o que pode ser observado no presente estudo.

6.2. Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca

Todas as silagens apresentaram valores de pH dentro da faixa ideal recomendada por Kung et al. (2018), que é de 3,8 e 4,2 para silagens de boa qualidade. O teor elevado de carboidratos solúveis do sorgo, cultura base em todas as silagens, permite que os microrganismos utilizem o substrato para crescimento no meio (FILYA; SUCU, 2007; MUCK et al., 2018). Assim, devido ao rápido domínio no meio, pode-se observar as altas contagens de BAL, principais produtoras de ácido lático. Este ácido lático é o responsável pela acidificação do meio e, assim, promove a diminuição do pH (MUCK et al., 2018; SANTOS et al., 2018).

A capacidade tampão das silagens também não apresentou diferenças significativas em função dos tratamentos. Esta variável é fortemente influenciada pelo teor de compostos nitrogenados no meio, pelos ácidos orgânicos e pelo teor de minerais presentes na planta (PLAYNE; MCDONALD, 1966). Assim, levando em conta que a capacidade tampão não influenciou as silagens, pode-se inferir que os tratamentos não causaram desbalanços no conteúdo de nitrogênio e de minerais do sorgo, ainda na condição de campo, fato corroborado pelo teor de MM das silagens ($P > 0,05$). Possivelmente, as plantas não apresentaram alterações no balanço mineral e também os ingredientes usados na formulação das silagens de ração completa não interferiram negativamente, permitindo uma fermentação apropriada.

As perdas por gases representam a maior proporção de perdas de matéria seca, especialmente quando ocorrem fermentações indesejáveis que levam à formação de CO_2 (BORREANI et al., 2018). No presente estudo, a contagem de microrganismos deterioradores da silagem foi baixa, principalmente para a silagem de ração completa, o que pode explicar a reduzida perda por gases. Segundo McDonald et al. (1991), o aumento considerável nas

perdas por gases ocorre quando há produção de etanol devido à fermentação realizada principalmente por leveduras.

O percentual de efluentes produzidos em um silo é influenciado por diversos fatores, sendo um dos principais o teor de MS do material ensilado, mas também deve-se levar em consideração o tamanho de partícula, o processamento e a densidade de compactação (BORREANI et al., 2018). Além disso, quando são gerados efluentes, ocorre a lixiviação de nutrientes como compostos nitrogenados, açúcares, ácidos orgânicos e sais minerais. No presente estudo, as perdas por efluentes nas silagens de ração completa para bovinos e cabras não passaram dos 10 kg t⁻¹ de MN, justamente pelo adequado teor de MS alcançado desde o momento da ensilagem (Tabela 9 e 10) (MCDONALD et al., 1991).

No que se refere à recuperação de matéria seca foram observados valores médios acima de 90% nas silagens de ração completa. Esses valores são considerados bons, indicando que a inclusão dos concentrados reduziu a lixiviação de nutrientes através do efluente, reduziu as perdas por gases o que resultou em valores satisfatórios da recuperação de MS. Fato similar ocorreu para a silagem de sorgo, apesar do baixo teor de MS (Tabela 11). Silagens com teores de MS inferiores a 30% podem exibir maiores índices de perdas por efluentes, no entanto, tal fato não ocorreu no presente trabalho certamente pela boa compactação do material e o adequado tamanho de partículas (BORREANI et al., 2018; KÖHLER et al., 2019).

6.3. Microbiologia e estabilidade aeróbia

A população de microrganismos nas silagens é influenciada por vários fatores, e quantificar esses microrganismos permite compreender a dinâmica de proliferação de microrganismos indesejáveis durante o processo fermentativo (MUCK, 2010). Foi possível observar uma contagem elevada de BAL na silagem de ração completa para bovinos de corte, quando foram utilizadas doses de silício isoladamente ou em combinação com a inoculação com *A. brasilense*. Aumentar a dose de silício resultou em um incremento no número de colônias de BAL (Tabela 12). No entanto, ao combinar as doses de silício sem o uso do *A. brasilense*, a dose de 8 kg ha⁻¹ de silício alcançou maiores valores, mas ao aplicar a dose de 12 kg ha⁻¹ houve uma redução na proliferação das BAL (Tabela 12).

A produção de ácido láctico pelas BAL promoveu a acidificação do meio, embora o pH não tenha sofrido alterações significativas nas silagens avaliadas em função dos tratamentos avaliados (uso do silício e inoculação com *A. brasilense*). Assim, observa-se que o pH se manteve na faixa considerada ideal para um bom processo fermentativo conforme discutido anteriormente (MCDONALD et al., 1991) (Tabela 9, 10 e 11).

Com relação à contagem de mofos e leveduras, observou-se como efeito principal do *A. brasiliense* uma redução tanto no número de mofos quanto de leveduras, quando comparado ao não uso do mesmo. Quanto às doses de silício, observou-se que a dose de 4 kg ha⁻¹ de silício apresentou uma contagem maior em relação às doses maiores (8 e 12 kg ha⁻¹ de silício) (Tabela 12). No contexto da silagem de ração completa para cabras leiteiras, a contagem de BAL foi mais elevada ao utilizar doses de 4 e 12 kg ha⁻¹ de silício, tanto isoladamente quanto em combinação com o uso de *A. brasiliense* (Tabela 12).

Como o sorgo possui um teor elevado de carboidratos solúveis, as BAL utilizam esse substrato para crescimento e, por conseguinte, produção de ácido lático (SANTOS et al., 2018). O excesso de carboidratos solúveis no sorgo pode levar a uma fermentação alcoólica, criando uma faixa de pH propícia ao desenvolvimento de leveduras. Isso resulta em aumento de perdas fermentativas e baixa estabilidade aeróbia após a abertura do silo, principalmente porque o ácido lático produzido e os carboidratos solúveis residuais servem de substrato para muitas leveduras que deterioram a silagem oxidando estes nutrientes (ABRÃO et al., 2017; SANTOS et al., 2018; WILKINSON; DAVIES, 2013). Com isso, o pH da silagem aumenta e a massa atinge uma faixa ideal para a proliferação de diversos microrganismos aeróbios deletérios (PAHLOW et al., 2003).

Observou-se que a silagem exclusiva de sorgo forrageiro apresentou a menor estabilidade aeróbia, deteriorando-se rapidamente. Isso pode ser explicado pelo maior número de microrganismos deterioradores, conforme observado nas contagens de mofos e leveduras (Tabela 14). O aumento de temperatura pode ser atribuído à atividade metabólica de microrganismos oportunistas que consomem os carboidratos solúveis residuais. A menor estabilidade também pode ser resultado do menor teor de matéria seca presente nessa silagem (20,01%), pois teores mais baixos de matéria seca demandam mais calor para alterar as temperaturas (SHAN et al., 2021; WILKINSON; DAVIES, 2013).

Conforme Jobim et al. (2007), a estabilidade é afetada por parâmetros como temperatura, teor de carboidratos solúveis, concentração de mofos e leveduras, e ácidos orgânicos, os quais interagem com o pH. As silagens na forma de ração completa para bovinos e cabras leiteiras apresentaram maior tempo de estabilidade quando expostas ao ar. Isso pode ser atribuído ao uso de ingredientes concentrados que retardam a queda do pH da silagem, promovem maior produção de ácido acético, assim como diminuem da atividade de água (BUENO et al., 2020; WANG; NISHINO, 2013). Isso dificulta a proliferação de leveduras, que necessitam de um ambiente mais úmido e com disponibilidade de substrato

para competir com as BAL (MCDONALD et al., 1991). As contagens realizadas (Tabela 12 e 13) indicam menor presença de microrganismos deteriorantes, e o tratamento que apresentou maior tempo de exposição foi a silagem com a dose de 4 kg ha⁻¹ de silício inoculada com *A. brasilense* (Si4Ab).

6.4. Composição química das silagens

Os teores de MS encontrados nas silagens de ração total estão dentro da faixa considerada ideal, que é entre 30% a 35% (MCDONALD et al., 1991), mostrando que as combinações dos ingredientes cumpriram seu papel de manter esses valores, reduzindo a atividade de água. O que não ocorreu nas silagens de sorgo exclusivo. O conteúdo de matéria seca na silagem desempenha um papel crucial para o processo de fermentação, estando diretamente ligado ao estágio da planta durante a colheita. Quando o teor de MS fica abaixo do recomendado (30%), pode ocorrer uma fermentação indesejada, como a butírica, ocasionada por bactérias do gênero *Clostridium*. Isso reduz o valor nutricional e aumenta as perdas por lixiviação. Por outro lado, um teor de MS acima do indicado (35%) pode levar a uma compactação insuficiente, criando bolsões de ar propícios ao desenvolvimento de fungos e leveduras, o que prejudica a qualidade da silagem (SUCU et al., 2016).

O teor de fibra em detergente neutro (FDN) está relacionado à taxa de ingestão da forragem pelos animais. Para uma taxa de passagem mais rápida pelo trato digestivo, o teor de FDN deve se manter abaixo de 60%. Valores superiores podem reduzir o consumo, devido à maior concentração de carboidratos fibrosos, o que prolonga a permanência do alimento no intestino dos animais (VAN SOEST, 1994).

No presente estudo, os valores de FDN e FDA, mantiveram-se dentro das recomendações para as SRC de bovinos de corte e cabras leiteiras (< 40% para a FDN e < 20% para FDA). O teor de fibra em detergente ácido está inversamente relacionado à digestibilidade da forragem, pois contém celulose e lignina. Além disso, essa observação sugere uma maior presença de colmo da planta na massa ensilada (JUNG, 2012; NA et al., 2018).

Com isso, verifica-se que o uso de Si e a inoculação com *A. brasilense* apresenta respostas favoráveis ao serem utilizados na cultura do sorgo forrageiro tanto nas características produtivas como na produção de silagem, podendo ser uma alternativa de utilização na entressafra agrícola.

7. CONCLUSÃO

A utilização das diferentes doses de silício associado a inoculação com *A. brasilense* proporcionou resultados satisfatório em relação as características morfoagronômicas, produtivas e relacionadas a qualidade das silagens. Recomendando-se a dose 8 kg ha⁻¹ de Si associado com *A. brasilense*.

8. REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, p.207-220, 2011.
- ABRÃO, F. O.; MEDEIROS, A. O.; ROSA, C. A.; GERASEEV, L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; DUARTE, E. R. Yeasts naturally occurring in sorghum silage. **Zootecnia Tropical**, v. 35, n. 1, p. 86–90, 2017.
- AGUIRRE, P. F.; GIACOMINI, S. J.; OLIVO, C. J.; BRATZ, V. F.; QUATRIN, M. P.; SCHAEFER, G. L. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in “coastcross-1” pasture treated with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuaria 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. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 124–130, 2010.
- AOAC, 2016. In: Latimer Jr., G.W. (Ed.), Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th ed... Association of Official Analytical Chemists, Washington (D. C.).
- 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.
- BASNAYAKE, L, JACKSON P. A.; INMAN-MABBER N. G, LAKSHMANAN P. Sugarcane for water-limited environments. Genetic variation methylation and chromatin patterning in cane yield and sugar content in response to water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 63 n. 16, p. 6023–6033, 2012.
- BEHLING NETO, A.; REIS, R. H. P.; CABRAL, L. D. S.; ABREU, J. G.; PAULA SOUSA, D.; PEDREIRA, B. C.; MOMBACH, M. A.; BALBINOT, E.; DE CARVALHO, P.; DA SILVA CARVALHO, A. P. Fermentation characteristics of different purposes sorghum silage. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2607–2618, 2017.

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

BOLETA, E. H. M.; SHINTATE GALINDO, F.; JALAL, A.; SANTINI, J. M. K.; RODRIGUES, W. L.; LIMA, B. H. De; ARF, O.; SILVA, M. R. Da; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and its effects on productivity and nutritional accumulation of wheat cultivars. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 4, p. 607262, 2020.

BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E.; FEYERHERM, A. M.; URBAN, J. E.; AIMUTIS, W. R. Effect of Silage Additives on the Microbial Succession and Fermentation Process of Alfalfa and Corn Silages. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 11, p. 3066–3083, 1992.

BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13837>>

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

CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; PEREIRA, O.G.; NUNES, P.M.M.; VELOSO, R.G.; PEREIRA, E.S. Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade in vitro da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.2332-2339, 2002.

CAMARGO, M. S. De; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B. Dos. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 176–180, 2007.

CÂNDIDO, E. P.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. de F.; OLIVEIRA, J. S. De; PINHO, R. M. A.; PERAZZO, A. F.; RAMOS, R. C. da S.; FREITAS, P. M. D. De. Resposta econômica do confinamento de ovinos alimentados com silagens de diferentes cultivares de sorgo. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 79–85, 2015.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117–130, 2016.

CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PEPPER, B. D.; LUDWIG, R. L.; DOS SANTOS, D. B. Benefits of the application of silicon in plants. **Seven Editora**, 2023.

CASTRO, G.S.A. Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário. UNESP Botucatu, 2009. Dissertação Mestrado, p.160.

COSKUN, D.; BRITTO D. T; HUYNH W. Q; KRONZUCKER H.J. The role of Silicon in higher plants under salinity and drought stress. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p. 1072, 2016.

CONAB. **Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23**. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimasnoticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>>. Acesso em: 1 maio. 2023.

COSTA, R. F.; PIRES, D. A. A.; MOURA, M. M. A.; SALES, E. C. J.; RODRIGUES, J. A. S.; RIGUEIRA, J. P. S. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, p. 127–133, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop science**, v. 49, n. 3, p. 949–954, 2009.

CUACUA-TEMIZ, C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I.; VELASCO-VELASCO, J.; GÓMEZ-MERINO, F. C. Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la nutrición de heliconias (*Heliconia* sp.). **Agroproductividad**, v. 10, n. 3, 2017.

DANIEL, J. L. P.; BERNARDES, T. F.; JOBIM, C. C.; SCHMIDT, P.; NUSSIO, L. G. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. **Grass and Forage Science**, p. 1–13, 2019.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Fertilidade do solo**, p. 3, 2007.

DONG, Z.; TAO, X.; BAO, Y.; ZHAO, J.; WANG, S.; LI, J.; LIU, Q.; SHAO, T. Effect of applying different additives on the fermentation characteristics and aerobic stability of total mixed ration silage prepared with local feed resources in Tibet. **Grassland Science**, v. 68, n. 1, p. 78–87, 2022.

FAROOQ, M. A.; DIETZ, K. J. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 994, 2015.

FASCIGLIONE, G.; CASANOVAS, E. M.; QUILLEHAUQUY, V.; YOMMI, A. K.; GOÑI, M. G.; ROURA, S. I.; BARASSI, C. A. 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.

FILYA, I.; SUCU, E. The effect of bacterial inoculants and a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of whole-crop cereal silages. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 3, p. 378–384, 2007.

FREITAS, L. B. De; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 58, p. 262–267, 2011.

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.; HUNGRIA, M. 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.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, 2016.

GONG, H.; ZHU X.; CHEN K.; WANG S.; ZHANG C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.

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.

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

HARTLEY, S. E.; DEGABRIEL, J. L. The ecology of herbivore-induced silicon defences in grasses. **Functional Ecology**, v. 30, n. 8, p. 1311-1322, 2016.

HOANG, D. T; HIROO T.; YOSHINOBU K. Nitrogen use efficiency and drought tolerant ability of various sugarcane varieties under drought stress at early growth stage. **Plant Production Science**, v. 22. 2, p. 250-261, 2019.

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

HUNGRIA, M.; RIBEIRO, R. A.; NOGUEIRA, M. A. Draft Genome Sequences of *Azospirillum brasilense* Strains Ab-V5 and Ab-V6, Commercially Used in Inoculants for Grasses and Legumes in Brazil. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/genomeA.00683-14>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. 2018.Chapadinha-MA. <http://www.inmet.gov.br>.

ISLAM, W.; TAYYAB, M.; KHALIL, F.; HUA, Z.; HUANG, Z.; CHEN, H. Y. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020.

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

JUNG, H. J. G. Forage Digestibility: The Intersection of Cell Wall Lignification and Plant Tissue Anatomy. **Florida Ruminant Nutrition Symposium**, p. 162-174, 2012.

KATZ, O.; PUPPE, D.; KACZOREK D.; PRAKASH, N.B.; SCHALLER, J. Silicon in the soil-plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 652, 2021.

KÖHLER, B.; TAUBE, F.; OSTERTAG, J.; THURNER, S.; KLUSS, C.; SPIEKERS, H.

Dry-matter losses and changes in nutrient concentrations in grass and maize silages stored in bunker silos. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 2, p. 274–283, 2019.

KOSTIC, L.; NIKOLIC N.; BOSNIC D.; SAMARDZIC J.; NIKOLIC M. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. **Plant Soil**, v. 419, p. 447–455, 2017.

KUNG JR., L., SHAVER, R.D., GRANT, R.J., SCHMIDT, R.J. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science** v. 101 p. 4020-4033, 2018.

LEITE, R. da C.; SANTOS, A. C.; SANTOS, J. G. D.; COSTA LEITE, R.; OLIVEIRA, L. B. T.; HUNGRIA, M. Mitigation of Mombasa grass (*Megathyrus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum* Brasilense. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, 2019.

LOPES, M. S.; ARAUS, J. L.; VAN HEERDEN, P. D. R.; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 9, p. 3135–3153, 2011.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v.11, p.392-397, 2006.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MAGALHAES, P. C.; DURAES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da planta de sorgo. 2003.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 46, 2011. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 165).

MARKS, B. B.; MEGIAS, M.; OLLERO, F. J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum* brasilense and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitoooligosaccharides (LCOs). **Amb Express**, v. 5, n. 1, p. 1–11, 2015.

MARTINS, G. S. M.; FREITAS N. C.; MÁXIMO W. P. F.; PAIVA L. V. gene expression in two contrasting hybrid clones of eucalyptus camaldulensis x eucalyptus urophylla grown under water deficit conditions. **Journal of plant physiology**, v. 229: p. 122-131, 2018.

MCDONALD, P. J.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage**. 2nd. ed. Marlow, Bucks, UK: Cambridge University Press, 1991.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435- 454, 2015.

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, 1217–1240. 2002.

MINDEN, V.; SCHALLER J.; OLDE VENTERINK H. Plants increase silicon content as a response to nitrogen or phosphorus limitation: a case study with *Holcus lanatus*. **Plant Soil**. p.1–14, 2021.

MODESTO, V. C.; ANDREOTTI, M.; NAKAO, A. H.; SOARES, D. de A.; FROIO, L. de L.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; FERNANDES, I. M. D. M. 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. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. suppl spe, p. 183–191, 2010.

MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; MCALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M. C.; KUNG, L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13839>>

NA, Y.; HWANG, S.; CHOI, Y.; PARK, G.; LEE, S. Nutrient Digestibility and Greenhouse Gas Emission in Castrated Goats Fed Various Roughage Sources. **Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science**, v. 38, n. 1, p. 39–43, 2018.

NEU, S.; SCHALLER J.; DUDE E.G. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) **Scientific Reports**, v. 7, p. 40829, 2017.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PELLEGRINI, L.G.; FREITAS, A.K. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.293-301, 2002.

NEUMANN, M.; JOBIM, C. C. Cultura de Sorgo: Potencial dos materiais disponíveis para produção de silagem de qualidade. Em: ANAIS DO V SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS 2014, **Anais...** : Editora Nova Estampa, 2014.

NISHINO, N.; OGATA, Y.; HAN, H.; YAMAMOTO, Y. Identification of bacteria in total mixed ration silage produced with and without crop silage as an ingredient. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 1, p. 45–50, 2015.

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

NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 8. ed. Washington, DC: National Academies Press, 2016.

OLIVEIRA, A. S.; WEINBERG, Z. G.; OGUNADE, I. M.; CERVANTES, A. A. P.; ARRIOLA, K. G.; JIANG, Y.; KIM, D.; LI, X.; GONÇALVES, M. C. M.; VYAS, D.; ADESOGAN, A. T. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability,

and the performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 4587–4603, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-11815>>

PAHLOW, Günter.; MUCK, R. E.; DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S. J. W. H.; SPOELSTRA, S. F. Microbiology of Ensiling. Em: **Silage Science and Technology**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003. v. 42p. 31–94.

PARENTE, H. N.; RODRIGUES, R. C.; BANDEIRA, J. R.; SILVA JUNIOR, O. R. Da; ROCHA, K. S. Da; PARENTE, M. de O. M. Produtividade do sorgo forrageiro em função de quantidades crescentes de adubação fosfatada e nitrogenada. 2014.

PASSOS, M.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Water balance and climate classification for a particular Chapadinha-MA region. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758, 2016.

PAULO, M.; CASTRO, Y. D. O.; MARQUES, R. D. C.; REGINA, D.; PEREIRA, M.; MARCONDES, M.; GODOY, D.; PATRÍCIA, N.; REGES, R. Importance of limestone and fertilization in traditional and alternative production of forage plants. p. 1–12, 2016.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; UPDATED, T. A. M. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.

PEI, Z. F.; MING D. F.; LIU D.; WAN G. L.; GENG X. X.; GONG H. J.; ZHOU, W. J. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Journal of plant growth regulation**, v. 29, p. 106- 115, 2010.

PERAZZO, A. F.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, E. M.; BEZERRA, H. F. C.; SILVA, T. C.; PEREIRA, G. A.; RAMOS, R. C. S.; RODRIGUES, J. A. S. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. June, p. 1–8, 2017.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. de F.; DE AQUINO, M. M.; DA SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771–1776, 2013.

PILZ, T.; DELGADO, J. M.; VOSS, S.; VORMOOR, K.; FRANCKE, T.; COSTA, A. C.; MARTINS, E.; BRONSTERT, A. Seasonal drought prediction for semiarid northeast Brazil: what is the added value of a process-based hydrological model? **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 4, p. 1951–1971, 2019.

PIMENTEL, J. J. O; SILVA, J. F. C.; CAMPOS, S.; FILHO, V.; CECON, P. R.; SANTOS, P. S. Efeito da Suplementação Protéica no Valor Nutritivo de Silagens de Milho e Sorgo. R. Bras. Zootec, Viçosa, v. 27, n. 5, p.1042-1049, jun. 1998.

PINHO, R. M. A.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. De; BEZERRA, H. F. C.; FREITAS, P. M. D. De; PERAZZO, A. F.; RAMOS, R. C. da S.; SILVA, A. P. G. Da. Sorghum cultivars of different purposes silage. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 298–303, 2015.

PLAYNE, M. J.; MCDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 17, n. 6, p. 264–268, 1966.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1651–1659, 2008.

QUEIROZ, V. A. V.; BARROS, F. A. R.; CARDOSO, L. M.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; MENEZES, C. B. Potencial do sorgo para uso na alimentação humana. **Informe Agropecuário**, v. 35, n. 278, p. 7–12, 2014.

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. Á.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, n. 3, p. 533–541, 2009.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its applications to human foods. **The analysis of dietary fiber in food**, p. 123–158, 1981.

ROBY, M. C.; FERNANDEZ, M. G. S.; HEATON, E. A.; MIGUEZ, F. E.; VANLOOCKE, A. Biomass sorghum and maize have similar water-use-efficiency under non-drought conditions in the rain-fed Midwest US. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 434–444, 2017.

ROSA, W. J. Cultura do sorgo. **Departamento Técnico da Emater–MG**, 2012.

RYAN, M. G. Tree responses to drought. **Tree Physiology**, v. 31, n. 3, p. 237–239, 2011.

SANTANA, L. P.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; SANTOS, B. R. C.; CARVALHO, G. G. P.; CAVALCANTI, J. V. F. L.; CRUZ, G. F. L.; PEREIRA, D. M.; CAVALCANTI, H. S.; SANTOS, F. N. S.; JUSTINO, E. S.; LEITE, G. M.; SANTOS, M. A. C.; GOMES, P. G. B.; PERAZZO, A. F. 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, A. P. M.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; RIBEIRO, O. L.; PERAZZO, A. F.; MARTINS ARAÚJO PINHO, R.; MACÊDO, A. J. S.; PEREIRA, G. A. Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 35, n. 1, p. 55–62, 2018.

SANTOS, F. N. S.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; MEDEIROS, G. R.; ZANINE, A. M.; ARAÚJO, G. G. L.; PERAZZO, A. F.; LEMOS, M. L. P.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. L.; PAULINO, R. S.; OLIVEIRA, C. J. B. Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and *Gliricidia*. **Journal of Agricultural Science**, 2020. a.

SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. H. de M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F.; ARAUJO, L. S.; GONZAGA, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de zootecnia**, v. 69, n. 266, p. 164–171, 2020. b.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum* brasilense strains ab-v5 and ab-v6 on the brazilian agriculture: Lessons that farmers are

receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 45, 2021.

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

SILVA, T.G.F., ARAÚJO PRIMO, J.T., SILVA, S.M.S., MOURA, M.S.B., SANTOS, D.C., SILVA, M.C., ARAÚJO, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Bragantia*, 73, 184-191, 2014.

SILVA, T. C.; SILVA, L. D.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. Importance of the Fermentation to Produce High-Quality Silage. Em: **Fermentation Processes**. InTech, 2017. p. 1–20.

SCHINGOETHE, D. J. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 12, p. 10143–10150, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12967>>

SCHMIDT, P.; RESTELLATO, R.; ZOPOLLATTO, M. Ensiling total mixed rations – an innovative procedure. n. April, p. 1–4, 2017. Disponível em: <<papers3://publication/uuid/7DAE663A-49D4-47FC-A280-78572EE117AE>>

SHAN, G.; MAACK, C.; BUESCHER, W.; GLENZ, G.; MILIMONKA, A.; DEEKEN, H.; GRANTZ, D. A.; WANG, Y.; SUN, Y. Multi-sensor measurement of O₂, CO₂ and reheating in triticale silage: An extended approach from aerobic stability to aerobic microbial respiration. **Biosystems Engineering**, v. 207, p. 1–11, 2021.

SILVA, S. D. S.; FERREIRA, G.; SIMPLÍCIO, J. B.; VH, R.; FLRQFLD, D. D. H.; XVR, G. H.; FKXYD, G. H.; IRUUDJHLUR, R. U.; DJURQ, H. F. Características Agronômicas De Cultivares De Sorgo Em Sistema De Plantio Direto No Semiárido De Pernambuco. **Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 29–36, 2016.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of animal science**, [s. l.], v. 70, n. 11, p. 3562–3577, 1992.

SOEST, P. J. Van; WINE, R. H. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constituents. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 50, n. 1, p. 50–55, 1967.

SOUZA JUNIOR, J. P.; PRADO R. D. M.; MORAIS T. C. B.; SANTOS SARAH M. M.; OLIVEIRA K. R. Silicon fertigation and salicylic acid foliar spraying mitigate ammonium deficiency and toxicity in Eucalyptus spp. Clonal seedlings. **Plos one**, v. 16(4), p. e0250436, 2021.

SUCU, E.; KALKAN, H.; CANBOLAT, O.; FILYA, I. Effects of ensiling density on nutritive value of maize and sorghum silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 10, p. 596–603, 2016.

TAIZ, L., AND ZEIGER, E. Plant physiology. **Artemed, Porto Alegre**, 2013, Brasil.

TAYLOR, C. C.; KUNG, L. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the Fermentation and Aerobic Stability of High Moisture Corn in Laboratory Silos. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 6, p. 1526–1532, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74222-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74222-7)

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. D. M.; ROCHA, A. M. S.; SANTOS, L. C. N. SANTOS SARA, M. M.; GRATÃO, P. L.; FERNANDES, C. Silicon in pre-sprouted sugarcane seedlings mitigates the effects of water deficit after transplanting. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 849-859, 2020.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 13, p. 3223–3233, 2018.

VALADARES FILHO, S. C., LOPES, S. A., CHIZZOTTI, M. L. et al. BR-CORTE 4.0. Formulação de dietas, predição de desempenho e análise econômica de zebuínos puros e cruzados. 2020. Disponível em: www.brcorte.com.br

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

VIANA, P. T.; TEIXEIRA, F. A.; PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P. De; FIGUEIREDO, M. P. De; SANTANA JUNIOR, H. A. De. Losses and nutritional value of elephant grass silage with inclusion levels of cottonseed meal. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 2, p. 139–144, 2013.

VICIEDO, D. O.; DE MELLO PRADO, R.; LIZCANO TOLEDO, R.; DOS SANTOS, L. C. N.; CALERO HURTADO, A.; NEDD, L. L. T.; CASTELLANOS GONZALEZ, L. Silicon supplementation alleviates ammonium toxicity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 413–419, 2019.

WANG, C.; NISHINO, N. Effects of storage temperature and ensiling period on fermentation products, aerobic stability and microbial communities of total mixed ration silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 114, n. 6, p. 1687–1695, 2013.

WANG, F.; NISHINO, N. Association of *Lactobacillus buchneri* with aerobic stability of total mixed ration containing wet brewers' grains preserved as a silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, n. 3–4, p. 265–274, 2009.

WEINBERG, Z. G.; KHANAL, P.; YILDIZ, C.; CHEN, Y.; ARIELI, A. Ensiling fermentation products and aerobic stability of corn and sorghum silages. **Grassland Science**, v. 57, n. 1, p. 46–50, 2011.

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

YUAN, X. J.; GUO, G.; WEN, A. Y.; DESTA, S. T.; WANG, J.; WANG, Y.; SHAO, T. The effect of different additives on the fermentation quality, in vitro digestibility and aerobic stability of a total mixed ration silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 207, p. 41–50, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.001>>

ZANINE, A.; PORTELA, Y.; FERREIRA, D.; PARENTE, M.; PARENTE, H.; SANTOS, E.;

OLIVEIRA, J.; PERAZZO, A.; NASCIMENTO, T.; DA CUNHA, I. A.; DE SÀ, C.; MACHADO, N.; SANTOS, F. N.; SOUSA, F. C.; COSTA, R. Babassu Byproducts in Total Mixed Ration Silage Based on Sugarcane for Small Ruminants Diets. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1641, 2022.

ZHAO, Z.-Y.; CHE, P.; GLASSMAN, K.; ALBERTSEN, M. Nutritionally enhanced sorghum for the arid and semiarid tropical areas of Africa. **Sorghum: Methods and Protocols**, p. 197–207, 2019.