



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

LEANDRO DOS SANTOS COSTA

BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA PRODUÇÃO DE SORGO FORRAGEIRO  
IRRIGADO NA ENTRESAFRA AGRÍCOLA

CHAPADINHA – MA

2023

LEANDRO DOS SANTOS COSTA

BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA PRODUÇÃO DE SORGO FORRAGEIRO  
IRRIGADO NA ENTRESAFRA AGRÍCOLA

Projeto de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Anderson de Moura Zanine  
Coorientador: M.Sc. Renata Sousa Costa

CHAPADINHA – MA

2023

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

DOS SANTOS COSTA, LEANDRO.

BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA PRODUÇÃO DE SORGO  
FORRAGEIRO IRRIGADO NA ENTRESAFRA AGRÍCOLA / LEANDRO DOS  
SANTOS COSTA. - 2023.

33 f.

Coorientador(a): RENATA SOUSA COSTA.

Orientador(a): ANDERSON DE MOURA ZANINE.

Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão,  
Chapadinha, 2023.

1. *Azospirillum Brasilense*. 2. Deficiência hídrica. 3.  
Silício. I. DE MOURA ZANINE, ANDERSON. II. SOUSA COSTA,  
RENATA. III. Título.

LEANDRO DOS SANTOS COSTA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Aprovada em:

Banca Examinadora

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Anderson de Moura Zanine (Orientador)  
Universidade Federal do Maranhão- UFMA

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniele de Jesus Ferreira (Examinadora)  
Universidade Federal do Maranhão- UFMA

---

Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos (Examinador)  
Bolsista PNPd/CAPES/PPGCA  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA MA

CHAPADINHA – MA

2023

*Aos meus pais Antonio Oliviera da Costa, Lucineide dos Santos Costa, ao meu irmão Clesio dos Santos Costa, a minha Avó Maria do Carmo dos Santos e a minha namorada Leticia de Sousa Silva, pelo apoio, paciência e compreensão durante a minha formação acadêmica.*

*É patético desistir de algo sem nem mesmo ter tentado.*

Monkey D. Luffy

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer primeiramente a Deus por me dá as forças e proteção necessária durante esta jornada, concedendo-me saúde, resiliência, sabedoria para compreender os desafios enfrentados e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos que surgiram ao longo do curso e permitir chegar até aqui.

Aos meus pais, Antonio Oliveira da Costa e Lucineide dos Santos Costa, que foram de grande importância, por todo apoio, compreensão, incentivo nos momentos difíceis, por sempre acreditarem em mim e foram fundamentais para esta conquista. Obrigado!

Agradeço ao meu irmão Clesio dos Santos Costa, por sempre conseguir um tempo para me ajudar quando necessitava e por me dá apoio necessário para chegar até esta etapa.

A minha namorada Leticia de Sousa Silva que esteve sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos. Obrigado!

Agradeço a todos os professores da UFMA, Campus Chapadinha, por terem me proporcionado aprendizado e que fizeram parte da minha trajetória, transmitindo conhecimento, conselhos que contribuíram de forma grandiosa para minha formação profissional. Em especial ao professor Anderson de Moura Zanine por ser meu orientador e a M.Sc. Renata Sousa Silva por serem minha Coorientadora.

Aos meus amigos de laboratório ao qual ajudara nos trabalhos do grupo e contribuíram para a pessoa que sou hoje, são eles Diego Henrique, Wilami, Victorya, Júlia, George, Claudia e Rodolfo

A todos os colegas e amigos, que estiveram sempre comigo, me incentivando, ajudando, e colaborando para que eu conseguisse chegar até o final deste percurso. Principalmente meus amigos Rikson, Luis Henrique, Vinicius Takayama, Daywison e Maxwell.

E a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram e colaboraram para elaboração deste trabalho.

A todos, meu muito obrigado!

## RESUMO

### BIOTECNOLOGIAS APLICADAS NA PRODUÇÃO DE SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO NA ENTRESAFRA AGRÍCOLA

O interesse pelo sorgo, tanto na alimentação humana quanto animal, tem levado muitos pesquisadores a explorarem maneiras de aprimorar a resistência dessa cultura contra pragas e o déficit hídrico. O uso do silício (Si) vem ganhando destaque no combate a diversos fatores abióticos, dentre eles a deficiência hídrica. Com isso sua aplicação surge como uma solução benéfica. No presente trabalho objetivou-se avaliar as diferentes doses de silício inoculado ou não com *Azospirillum Brasilense* sobre as características morfoagronômicas e produtivas na cultura do sorgo forrageiro. Se utilizou de um delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial de 4x2, com 5 repetições. Foi observado diferença significativa ( $p > 0,05$ ) na utilização de diferentes doses de Si, para peso de planta inteira (PPI), número de folhas vivas (NFV), peso de folhas vivas (PFV), peso de colmo (PCOL), e o peso de panícula (PPA). Foi observado que a matéria seca do colmo foi correlacionada positivamente com o aumento da adubação até a dose de  $8 \text{ kg/h}^{-1}$ . Com base nas análises avaliadas no decorrer do trabalho foi possível observar que a utilização do silício na cultura do sorgo, melhorou as variáveis abordadas, indicando uma eficiência na utilização do silício como uma forma de mitigar o déficit hídrico além de fornecer outros benefícios. As diferentes doses de silício aplicado juntamente com a inoculação de *Azospirillum Brasilense*, atuou de forma positivas nas características morfoagronômicas e produtivas. Sendo o tratamento utilizando a dose 8 em conjunto com a inoculação de *A. Brasilense* o mais indicado segundo os resultados.

**Palavra Chaves:** deficiência hídrica; Silício; *Azospirillum Brasilense*.

## Abstract

### BIOTECHNOLOGIES APPLIED IN THE PRODUCTION OF IRRIGATED FORAGE SORGHUM IN THE AGRICULTURAL BETWEEN SEASON

Interest in sorghum, both in human and animal consumption, has led many researchers to explore ways to improve the resistance of this crop against pests and water deficit. The use of silicon (Si) has been gaining prominence in combating various abiotic factors, including water deficiency. Therefore, its application appears as a beneficial solution. The present work aimed to evaluate different doses of silicon inoculated or not with *Azospirillum Brasilense* on the morpho-agronomic and productive characteristics of forage sorghum. An experimental design was used in randomized blocks, in a 4x2 factorial scheme, with 5 replications. A significant difference ( $p>0.05$ ) was observed in the use of different doses of Si, for whole plant weight (PPI), number of live leaves (NFV), live leaf weight (PFV), stem weight (PCOL), and panicle weight (PPA). It was observed that stalk dry matter was positively correlated with the increase in fertilization up to a dose of 8 kg/h<sup>-1</sup>. Based on the analyzes evaluated during the work, it was possible to observe that the use of silicon in sorghum cultivation improved the variables addressed, indicating an efficiency in the use of silicon as a way of mitigating the water deficit in addition to providing other benefits. The different doses of silicon applied together with the inoculation of *Azospirillum Brasilense*, acted positively on the morpho-agronomic and productive characteristics. Treatment using dose 8 together with inoculation of *Azospirillum Brasilense* e is the most indicated according to the results.

**Keywords:** water deficiency; Silicon; *Azospirillum Brasilense*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental. ....	19
Figura 2 - Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos. ....	20
Figura 3 - Espaçamentos entre linha e entre plantas e distribuição das plantas de sorgo na parcela.....	21
Figura 4 - 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 A. brasilense.....	25
Figura 5 - Graficos 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 A. brasilense.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas da análise de solo.....	21
Tabela 2 - Avaliação das características produtivas do sorgo forrageiro com diferentes doses de SI, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i> .....	24
Tabela 3 - Avaliação das características de produção do sorgo forrageiro com diferentes doses de SI, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i> .....	27
Tabela 4 - 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> .....	27

## Sumário

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
2.	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2.1	Geral.....	14
2.2	Específicos.....	14
3.	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
3.1	A Cultura do Sorgo.....	14
3.2	Silício.....	15
3.3	<i>Azospirillum brasilense</i> .....	17
4.	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
4.1	Localização.....	19
4.2	Área experimental.....	20
4.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	21
4.4	Plantio e adubação.....	21
4.5	Variáveis avaliadas.....	22
5.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
6.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	28
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil demanda a adoção de tecnologias para impulsionar seu desenvolvimento, especialmente em estados com carências em biotecnologia, como Maranhão, Piauí e a região Norte-Nordeste, conforme ressaltado por Zanine et al. (2018). A distribuição irregular das chuvas nessas regiões representa um grande desafio para as atividades agrícolas. Nesse cenário, o sorgo surge como uma alternativa viável para a produção na entressafra agrícola, apresentando resistência ao estresse hídrico característico dessas localidades.

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). Segundo a CONAB (2023) o sorgo é o quinto grão mais produzido no Brasil, ficando atrás apenas da soja, milho, trigo e arroz, em que apresentou uma produção de 4.787 mil toneladas na safra 22/23, sendo Goiás e Minas Gerais os estados mais produtores respectivamente. 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).

Os danos decorrentes do déficit hídrico no crescimento das plantas são atribuídos à redução do conteúdo de água, desencadeando estresse oxidativo e prejudicando os processos fisiológicos (Teixeira et al., 2020). Além disso, a escassez de água compromete a eficiência na absorção de nutrientes (Hoang et al., 2019), exigindo que o crescimento da planta se ajuste rapidamente à situação de estresse (Basnayake et al., 2012).

Uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico em diversas culturas é o uso de silício (Si) (Ahmed et al., 2011; Bishnoi et al., 2023). Embora o silício não seja considerado um nutriente essencial, sua aplicação tem demonstrado benefícios em diferentes culturas e situações de estresse abiótico, como seca, salinidade (Coskun et al., 2016), e 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 de silício contribuem para a manutenção do potencial hídrico foliar (Pei et al., 2010), reduzem o estresse oxidativo ao diminuir a perda de eletrólitos (Gong et al., 2005) e a transpiração das plantas (Farooq e Dietz, 2015), resultando no aumento da eficiência da fotossíntese.

Plantas com deficiência de Si tornam-se mais vulneráveis a ataques de pragas e fungos, propensas ao acamamento e menos tolerantes à salinidade (Islam et al., 2020). Considerando que o sorgo, como gramínea de ciclo fotossintético C4, tem alta exigência e resposta ao

nitrogênio (PAULO et al., 2016), busca-se alternativas sustentáveis, como o uso de bactérias promotoras de crescimento, a exemplo do *Azospirillum brasilense* (Leite et al., 2019). Essas bactérias, além de fixadoras de nitrogênio, podem sintetizar fitormônios que favorecem o crescimento e desenvolvimento, impactando positivamente na produtividade (Fukami et al., 2018; Hungria et al., 2018). Todavia, pouco se conhece a respeito do sorgo forrageiro cultivado com uma combinação de silício e bactérias fixadoras de nitrogênio quanto à produção, características produtivas. Com isso objetivou-se avaliar os efeitos das diferentes doses de silício inoculados ou não com *Azospirillum brasilense* nas características produtivas e morfoagronômicas do sorgo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Objetivou-se avaliar os efeitos das diferentes doses de silício inoculados ou não com *Azospirillum brasilense* nas características produtivas e morfoagronômicas do sorgo.

### 2.2 Específicos

- Avaliar a produção de espiga com grãos, peso de espiga e produção de grão;
- Avaliar o comprimento de espiga, diâmetro da espiga com palha e sem palha;
- Avaliar diâmetro do colmo, altura da planta, altura da primeira espiga, número de folhas vivas e mortas por planta;
- Quantificar a produção de folhas vivas e mortas e biomassa total;
- Avaliar a produção de espiga com grãos, peso de espiga e produção de grão;

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 A Cultura do Sorgo

O sorgo (*sorghum bicolor* L.) é uma cultura que possui uma genética adaptada as zonas quentes e secas onde é difícil cultivar outros cereais. Sendo que nessas áreas tanto o grão de sorgo como a forragem possuem um alto valor de utilização (Cuevas-Reyes et al., 2020). Por apresentar uma grande adaptabilidade aos climas e tolerância a estresse abiótico, torna-se uma

alternativa de plantio em regiões onde tem-se um ambiente com condições de déficit hídrico, além de torna-se uma cultura viável à agricultura familiar (Machado & Fontaneli, 2014).

Segundo a CONAB (2023) o Sorgo é o quinto grão mais produzido no Brasil, ficando atrás apenas da soja, milho, trigo e arroz, em que apresentou uma produção de 4.787 mil toneladas na safra 22/23, sendo Goiás e Minas Gerais os estados mais produtores respectivamente. Segundo Menezes et al. (2014) o sorgo é amplamente cultivado em todo o mundo, ao qual é destinada para alimentação humana, e em forragens, na América do Sul os maiores cultivadores são, Argentina e Brasil, ao qual sua produção é destinada principalmente à alimentação animal.

Em relação à fertilidade do solo, sabe-se que o N é um elemento importante para cultura do sorgo, principalmente, para as cultivares de alta produção. Para a recomendação da dose de N é preciso considerar a expectativa de produção, as propriedades do solo, a cultivar e a sequência de cultivo (Gabriel Filho et al. 2016). Segundo Sawargaonkar et al. (2013) a adubação nitrogenada necessária para a cultura do sorgo é menor que nas culturas de milho e cana de açúcar.

Para se otimizar o aproveitamento do sorgo granífero, alguns produtores das regiões do semiárido utilizam as panículas do sorgo (grãos de sorgo + panículas) de forma farelada, para alimentação de bovinos (Albuquerque et al. 2011). As panículas são armazenadas juntamente com os grãos em local adequado, nos momentos de menor disponibilidade de grãos e forragens elas são moídas e disponibilizadas aos animais. O arranjo espacial usado no plantio do sorgo depende do poder de competição da cultura, o dependerá de sua capacidade de suportar altas densidades populacionais (Silva et al. 2021). Para conseguir uma produção máxima da cultura deve ser avaliado suas características morfológicas, sua genética e o espaçamento ao qual será utilizado.

### 3.2 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 monossilícico 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. Portanto, o silício é considerado o único elemento cuja absorção excessiva pelas plantas não prejudica seu desenvolvimento (Camargo et al., 2007). 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).

O 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 auto sombreamento 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.

### 3.3 *Azospirillum brasilense*

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) correspondem a um grupo de microrganismos benéficos às plantas devido à capacidade de colonizar a superfície das raízes, rizosfera, filosfera e tecidos internos das plantas (Kloepper et al., 1989). As BPCP podem estimular o crescimento das plantas por diversas maneiras, sendo as mais relevantes: capacidade de fixação biológica de nitrogênio, aumento na atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas (Huergo et al., 2008).

O gênero *Azospirillum* abrange um grupo de BPCP de vida livre que é encontrado em quase todos os lugares da terra; há relatos, também, de que as bactérias desse gênero podem ser endofíticas facultativas (Huergo et al., 2008). Na literatura existem vários trabalhos confirmando que *Azospirillum* produz fitormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas. Tien et al. (1979), por exemplo, verificaram que os componentes responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes liberados por *A. brasilense* eram o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas.

O maior desenvolvimento das raízes pela inoculação com *Azospirillum* pode implicar em vários outros efeitos. Já foram relatados incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em uma planta mais vigorosa e produtiva (Bashan et al., 2010). Provavelmente pelo maior crescimento radicular e melhor nutrição das plantas, também há vários relatos de maior tolerância a agentes patogênicos de plantas (Correa et al., 2008).

Barassi et al. (2008) relatam a melhoria em parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo o teor de clorofila e condutância estomática, maior teor de prolina na parte aérea e raízes, melhoria no potencial hídrico, incremento no teor de água do apoplasto, maior elasticidade da parede celular, maior produção de biomassa, maior altura de plantas. Sabe-se que o Brasil já se destaca como um país modelo no uso da fixação biológica de N (FBN), principalmente em cultivos de leguminosas como a soja (*Glycinemax L.*), em que a inoculação das sementes com bactérias fixadoras de N do gênero *Rhizobium* é uma técnica capaz de suprir plenamente a demanda de N da lavoura (Hungria et al. 2018).

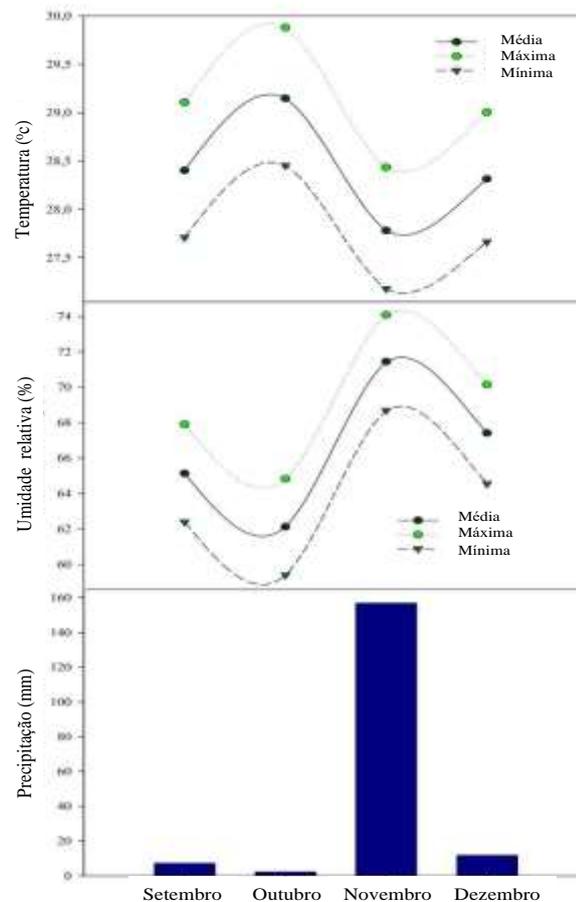
Em gramíneas também existe grande possibilidade de diminuir a deposição de Nr e N-fertilizante nos ecossistemas produtivos através da fixação biológica do N, utilizando bactérias do gênero *Azospirillum*, que têm a capacidade de fixar N e influenciar positivamente a produção das culturas, suprimindo diretamente as necessidades de N em espécies não-leguminosas (Hungria et al. 2018). Além da fixação biológica do N, o efeito estimulante exercido pelas bactérias do gênero *Azospirillum* tem sido atribuído a vários mecanismos como a biossíntese e a liberação de aminoácidos, produção e liberação de fitormônios como auxinas (ácido indol-acético), citocinas, giberelinas e de poliamidas, favorecendo assim o crescimento das raízes e, conseqüentemente, intensificando a absorção de água e nutrientes pelas raízes (Bashan e De-Bashan, 2010).

Desse modo, o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas que aumentem a eficiência de utilização dos fertilizantes, e que aportem nitrogênio via fixação biológica representa uma estratégia viável economicamente, além dos benefícios ambientais associados à redução no uso de fertilizantes.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização

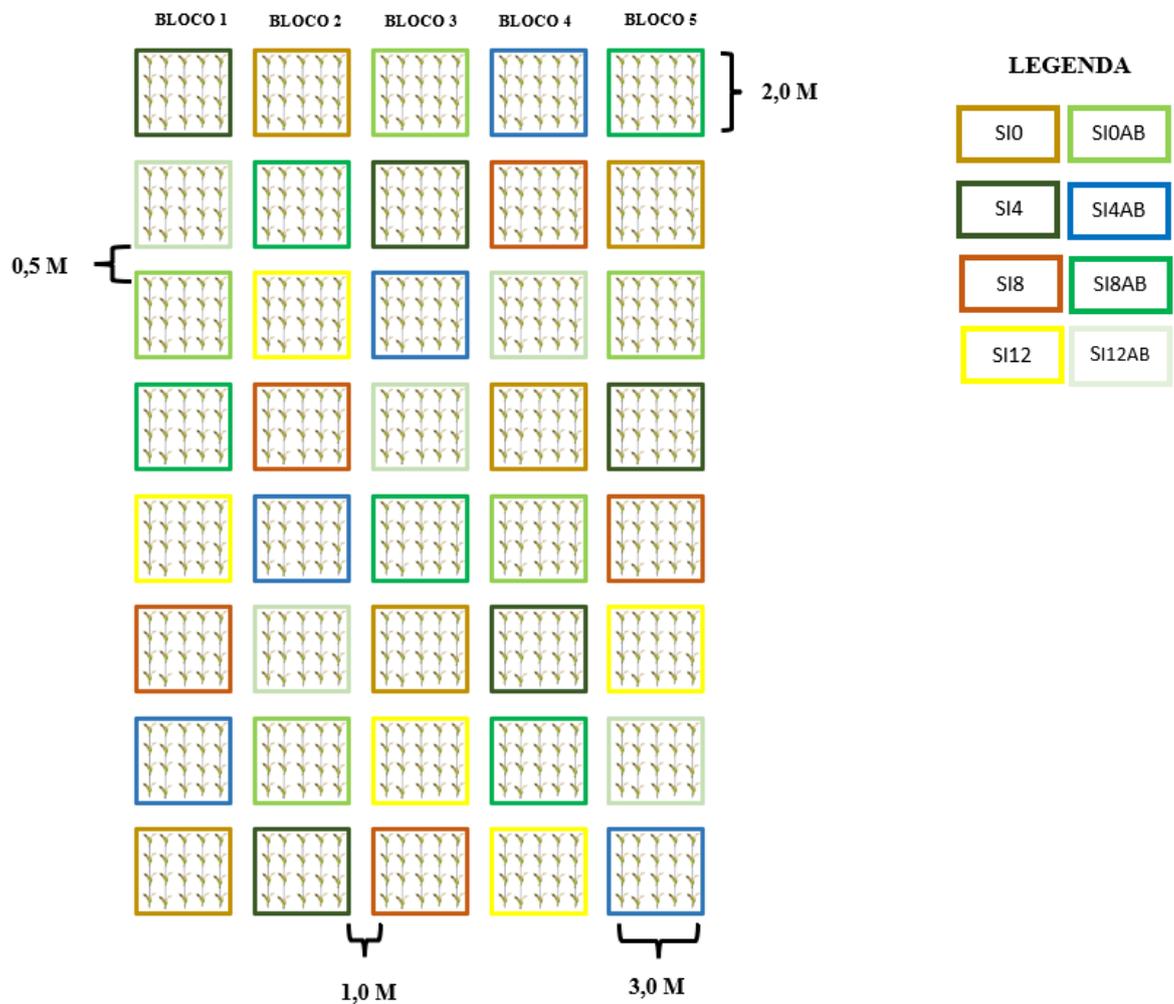
O experimento será conduzido em área pertencente ao Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03°44'33" S de latitude, 43°21'21" W de longitude. Segundo Köppen, a região apresenta clima predominante do tipo Aw-tropical úmido, com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa que se estende entre novembro e junho, e uma estação seca de julho a novembro. Apresenta uma temperatura média anual de 27.9 °C sendo mais elevada nos meses de outubro e novembro, ambos com 29.3 °C e mais baixa em junho com média térmica de 26.9 °C, a precipitação pluviométrica atinge valores médios anuais de 1613 mm (Passos et al., 2016). Os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental estão descritos da figura 1.



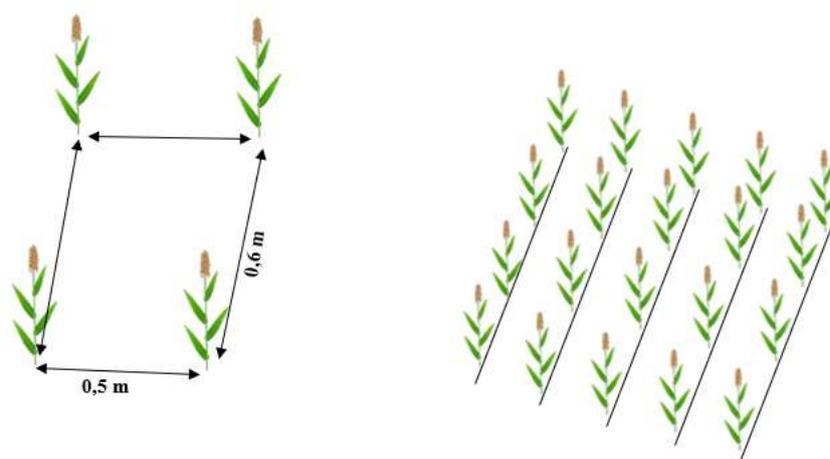
**Figura 1** - Dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período

#### 4.2 Área experimental

A área experimental constituiu-se de 251 m<sup>2</sup>, divididas em 40 parcelas com dimensão de 3x2 m cada, totalizando 6 m<sup>2</sup>, obedecendo um espaçamento entre linhas de 0,6 m e 0,5 m entre covas, todo o tratamento foi dividido mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre blocos (figura 1). Cada parcela será composta de 20 plantas, totalizando 800 plantas em todo o experimento. A semeadura foi realizada manualmente com o auxílio de enxadas para abertura das covas que possuíam aproximadamente 3-5 cm de profundidade, no plantio foi utilizado 3 sementes de sorgo por cova, cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental (figura 2).



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



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

#### 4.3 Delineamento experimental e tratamentos

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial de 4x2, com 5 repetições, o que totaliza 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8, 12 kg há<sup>-1</sup>), sendo o segundo fator a inoculação das sementes com as cepas de *A. 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), sendo que a aplicação de silício foi realizada por fertilização após diluído em água.

#### 4.4 Plantio e adubação

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, possuindo textura franco argilosa. Para análise foram coletadas amostras do solo a uma profundidade de 0-20 cm, após a coleta ser realizada, as amostras foram mandadas para o laboratório de análise de solo credenciado, para realização das análises químicas e físicas obtendo-se os seguintes resultados: as características físicas encontradas no solo foram:

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

pH	P	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	V	MO
H2O	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	%	%	g kg <sup>-1</sup>
4,7	4,0	0,5	24,0	1,7	9,0	5,0	14,5	39,0	37,0	17,0

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

Para realizar a correção da área foi levado em base a análise de solo realizada, com os resultados obtidos foi utilizado o calcário dolomítico com PRNT 115,10%, no qual foi aplicado 2,3 toneladas por hectare para elevar a saturação de base para 60%, conforme é recomendado para a cultura do milho. Para o plantio utilizou-se do inoculante GRAP NOD AL (1,5LT= 15 doses), ao qual foi realizada a pesagem de 0,5 kg de sementes e inoculadas com 2 ml do produto.

No plantio foi feita a adubação com os nutrientes NPK, ao qual foi realizada de forma manual, a quantidade de adubo utilizado teve como base a análise de solo e as recomendações específicas para a cultura, sendo aplicados 20 kg de N por hectare, 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare e 30 kg de K<sub>2</sub>O por hectare. A aplicação do silício nas plantas foi dividida em seis vezes, sendo aplicado três vezes no período vegetativo e as três últimas no período reprodutivo. A diluição do silício foi realizada em uma caixa de água, ao qual foi destinado 70 L de diluição para cada um dos tratamentos (0, 4, 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de silício), cada planta recebeu 0,700 ml da diluição, a fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol.

#### 4.5 Variáveis avaliadas

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

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

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

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

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

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

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

**Número de grãos por panícula:** Obtido por meio da contagem de todos os grãos e dividido pelo total de panículas avaliadas, em unidades.

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

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

**Número de perfilhos totais:** Determinado pela soma total dos perfilhos reprodutivos e vegetativos presentes na parcela.

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

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

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

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

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

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

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

**Número de grãos por panícula:** Obtido por meio da contagem de todos os grãos e dividido pelo total de panículas avaliadas, em unidades.

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

**Avaliação da sanidade do colmo:** Realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 5 de acordo com o aspecto do colmo.

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

**Avaliação do número de grãos ardidos:** Realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão Feita por meio de uma escala de notas de 1 a 5, indicando a porcentagem de grãos ardidos.

**Avaliação da cor do grão na colheita:** Foram atribuídas quatro cores aos grãos: marrom, marrom claro, amarelo e verde, ao qual a atribuição foi realizada de forma visual.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com com oito tratamentos e cinco repetições em um esquema fatorial 4x2 ( $y_{ij} = \mu + b_j + \tau_i + e_{ij}$ ), submetendo as análises de variância e comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade utilizando procedimento do

PROC MIXED do software estatístico SAS (2004), para avaliar os dados da parte agronômica e produtiva.

$$y_{ij} = \mu + b_j + \tau_i + e_{ij}$$

Em que:

$y_{ij}$  – é a observação referente ao tratamento  $i$  no bloco  $j$ ;

$\mu$  - é a média geral (ou constante comum a todas as observações);

$b_j$  – é o efeito do  $j$ -ésimo bloco, com  $j=1,2,\dots,J$ ;

$\tau_i$  – é o efeito do  $i$ -ésimo tratamento, com  $i=1,2,\dots,I$ ;

$e_{ij}$  – é o erro experimental, tal que  $e_{ij} \sim \text{NID}(0; \sigma^2)$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado diferença significativa ( $p>0,05$ ) na utilização de diferentes doses de Si, para peso de planta inteira (PPI), número de folhas vivas (NFV), peso de folhas vivas (PFV), peso de colmo (PCOL), e o peso de panícula (PPA) (Tabela 2). Observou-se que ao aumentar a dose de Si, o peso de planta inteira (kg) também apresentou crescimento, onde as doses 4, 8 e 12 foram iguais entre si, ao qual apresentaram médias (1,012), (1,019) e (1,023) respectivamente (Tabela 2), mesmo não havendo diferença estatística observou-se um ponto máximo que houve estagnação desta variável, apresentado no nível 8,4375 kg h<sup>-1</sup>, observa-se que após ultrapassar esta dose há um declínio nos valores. (Figura 2 A). Esse resultado pode estar associado com o aumento da capacidade fotossintética da planta e com isso houve um aumento da produção de forragem em decorrência da melhoria da arquitetura das folhas, sendo que elas ficam mais eretas (Menegale et al., 2015).

**Tabela 2.** Avaliação das características produtivas do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

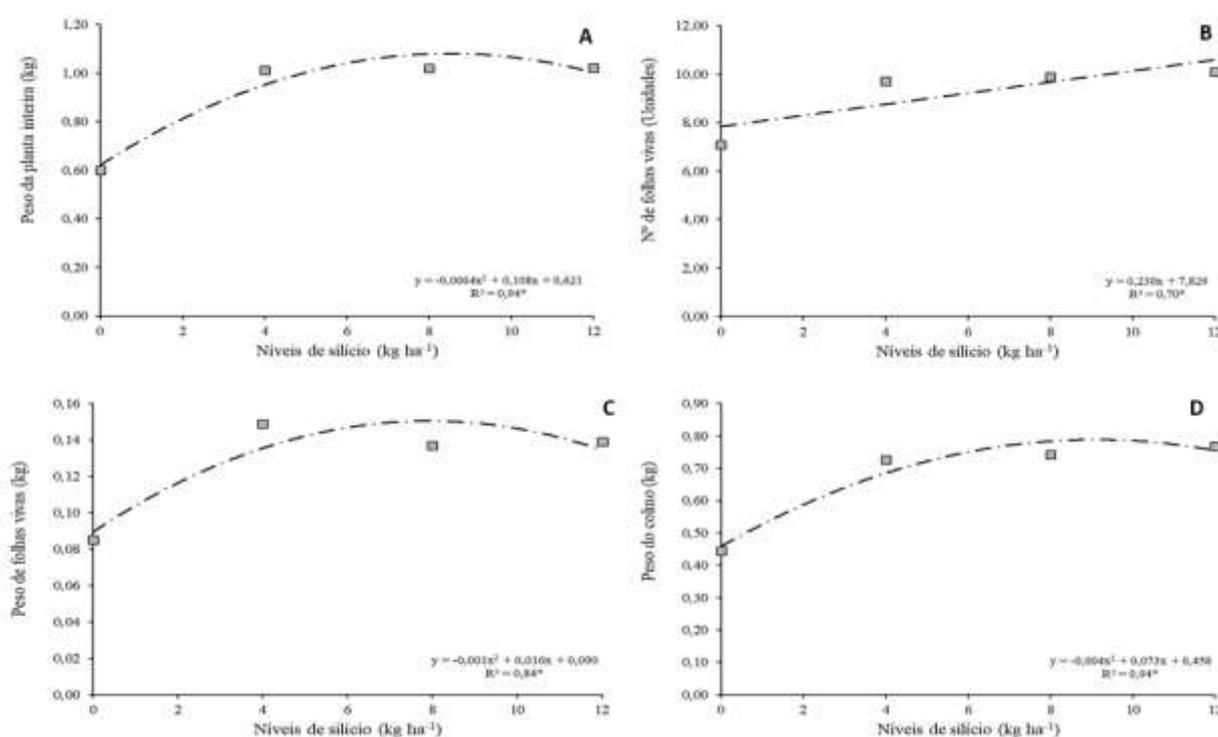
Variáveis	Inoculante		EPM	Silício				EPM	p-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
PPI	0,911	0,917	0,003	0,601b	1,012a	1,019a	1,023a	0,104	0,886	<0,001	0,817
NFV	9,362	9,053	0,155	7,100b	9,725a	9,900a	10,105a	0,706	0,288	0,007	0,582
NFM	1,450	1,280	0,085	1,700a	1,800a	0,800a	1,160a	0,235	0,705	0,402	0,386
PFV	0,126	0,129	0,002	0,085a	0,149a	0,137a	0,139a	0,014	0,574	0,002	0,829
PFM	0,014	0,013	0,001	0,015a	0,019a	0,007a	0,012a	0,002	0,728	0,244	0,210
PCOL	0,678	0,663	0,008	0,444b	0,727a	0,742a	0,769a	0,075	0,604	<0,001	0,835
PPA	0,128	0,143	0,007	0,089b	0,157a	0,164a	0,133a	0,017	0,149	<0,001	0,752
RFC	0,584	0,617	0,016	0,616a	0,656a	0,556a	0,574a	0,022	0,514	0,186	0,114
<b>% Matéria seca</b>											
MSFV	30,67	30,42	0,125	30,63	31,93	30,40	29,21	0,558	0,845	0,157	0,208
MSC	53,67	50,97	1,254	50,60	49,95	55,77	52,57	1,308	0,188	0,163	0,037
MSP	46,81	48,05	0,619	49,48	46,74	46,77	46,72	0,684	0,616	0,716	0,414

<b>MSPI</b>	34,76	36,14	0,689	33,57	37,64	35,62	34,97	0,846	0,387	0,302	0,425
<b>% Constituintes da planta</b>											
<b>Folha</b>	13,75	14,16	0,209	14,06	14,68	13,51	13,58	0,269	0,527	0,556	0,914
<b>Colmo</b>	74,95a	72,24b	1,352	74,77	71,85	72,59	75,16	0,811	0,037	0,056	0,617
<b>Panícula</b>	14,01a	15,82b	0,907	14,99	15,52	16,27	12,89	0,725	0,041	0,057	0,830

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

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

Foi observado que o número de folhas vivas apresentou aumento linear com a elevação das doses de silício, foi registrado que para kg de silício aplicado foi registrado um aumento de 0,23 unidades de folhas vivas (Figura 2 B).

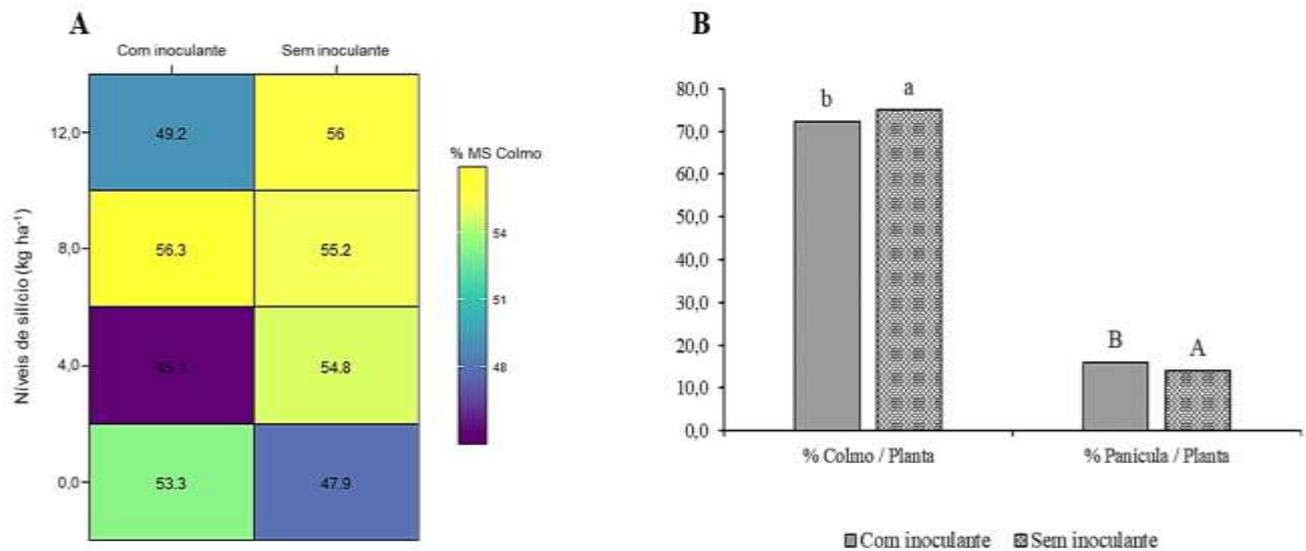


**Figura 4** - Regressões ajustadas para as variáveis peso da planta inteira (kg), Número de folhas vivas (unidades), peso de folhas vivas (kg) e peso do colmo (kg) (Figuras A, B, C e D) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

O peso de folhas vivas apresentou um comportamento quadrático com relação a aplicação das doses de silício. Foi observado que a dose máxima de 8 kg ha<sup>-1</sup> de silício proporcionou a maior produção de folhas vivas. A partir desta dose foi verificado redução no peso de folhas vivas do sorgo (Figura 2 C). Outro ponto importante ao uso de silício como adubação é o aumento da rigidez da parede celular o que proporciona proteção contra o ataque de pragas, pois pode danificar o aparelho bucal da mesma (Menegale et al., 2015).

O peso do colmo respondeu de forma quadrática com relação a aplicação de doses de silício, foi verificado que a dose máxima foi de 9,12 kg ha<sup>-1</sup> de silício, a partir desta dose a produção começa a reduzir (Figura 2 D), como pode ser observado para a produção de folhas. Foi verificado efeito significativo para peso de panícula, sendo que a aplicação de silício proporcionou aumento em relação a dose controle, mas vale lembrar que entre as doses não houve diferença (Tabela 2). Para as variáveis % matéria seca dos constituintes da planta não houve diferença significativa. O mesmo comportamento foi observado para a porcentagem dos constituintes da planta (Tabela 2).

O uso de inoculante proporcionou efeito sobre a relação colmo/planta de sorgo, quando foi usado o inoculante observou-se menor relação do colmo em relação a planta inteira, diante disso, nota se que é de suma importância, já que o colmo tem menor valor nutricional isso reflete em melhoria na qualidade nutricional do material a ser fornecido para o animal. Já a relação panícula/planta foi menor também sob a aplicação do inoculante (Figura 3B).



**Figura 5** - 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 *Azospirillum brasilense*

Foi observado que a matéria seca do colmo foi correlacionada positivamente com o aumento da adubação até a dose de 8 kg por hectares para as duas situações, com e sem inoculante com relação a dose controle o que representou uma concentração de 56,3 e 55,2 %, respectivamente.

Não houve efeito de interação entre o uso de inoculante e as doses de silício aplicadas, diante disso, foi verificado que a produção de matéria verde, produção de matéria seca e eficiência do uso da água não foram influenciados significativamente (Tabela 3).

**Tabela 3.** Avaliação das características de produção do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício				EPM	p-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
<b>PMV</b>	35883,33	34367,71	757,812	35308,33	34333,33	35583,33	35277,08	272,877	0,747	0,981	0,336
<b>PMS</b>	12506,66	12464,84	20,911	11921,22	12976,21	12560,02	12485,54	216,941	0,981	0,903	0,518
<b>AC</b>	23376,67	21902,87	736,902	23387,12	21357,13	23023,31	22791,54	444,769	0,640	0,798	0,272

PMV – Produção de matéria verde (kg/ha), PMS - Produção de matéria seca (kg/ha), EUA – Eficiência do uso de água (kg /MS/ mm/ ha), AC – Acumulo de agua (Kg/ ha).

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

Quanto a sanidade de ataque do colmo e das folhas, foi observado que em todos os tratamentos apresentaram uma sanidade de ataque ao colmo excelente (1) e as folhas mostraram-se resistentes (2) fazendo com que a planta tenha uma melhor qualidade (Tabela 4).

**Tabela 4.** 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
<b>Si0</b>	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
<b>Si0Ab</b>	1	2	Duro	1	Marrom Claro
<b>Si4</b>	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
<b>Si4Ab</b>	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
<b>Si8</b>	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
<b>Si8Ab</b>	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
<b>Si12</b>	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
<b>Si12Ab</b>	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*.

Os grãos apresentaram com marrom claro em todos os tratamentos, foi observado que a dureza dos grãos se apresentou semiduro ou leitoso quando não houve a inoculação do *A. brasilense* e as doses de silício, já quando foi inoculado o *A. brasilense* e as doses de silício apresentara-se, duro, semiduro e leitoso de acordo com a análise visual. (Tabela 4). Em relação aos grãos ardidos não houve diferença entre os tratamentos, observando após a análise visual a ausência de grãos ardidos, ao qual foi atribuído nota 1 (excelente) (Tabela 4).

Com base nas análises avaliadas no decorrer do trabalho foi possível observar que a utilização do silício na cultura do sorgo, melhorou as variáveis abordadas, indicando uma eficiência na utilização do silício como uma forma de mitigar o déficit hídrico além de fornecer outros benefícios para a cultura.

## 6. CONCLUSÃO

As diferentes doses de silício aplicado juntamente com a inoculação de *A. brasilense*, atuou de forma positiva nas características morfoagronômicas e produtivas. Sendo o tratamento utilizando a dose 8 em conjunto com a inoculação de *A. Brasilense* o mais indicado segundo os resultados.

## REFERÊNCIAS

- 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>
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. Von; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 278–285, 2011.
- BARASSI, C.A.; SUELDO, R.J.; CREUS, C.M.; CARROZZI, L.E.; CASA-NOVAS, W.M.; PEREYRA, M.A. Potencialidad de Azospirillum en optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina*. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.49-59.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Advances in agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010.
- BASHAN, Y., HOLGUIN, G., AND DE-BASHAN, L. E. (2004). *Azospirillum–plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003)*. **Can. J. Microbiol.**50, 521–577.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 4 Safra 2016/17 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-158, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=70>. Acesso em 13 de set. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 13 décimo segundo levantamento, p 1-110, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 13 de set. 2023.

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

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.

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.

CUEVAS-REYES, Venancio et al. Factores determinantes del uso de sorgo para alimentación de ganado bovino en el noroeste de México. **Rev. mex. de cienc. pecuarias**, Mérida, v.11, n. 4, p. 1113-1125, dic. 2020. Disponible en <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242020000401113&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242020000401113&lng=es&nrm=iso)>. accedido en 11 dic. 2023. Epub 02-Mar-2021. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5292>.

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

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.

GABRIEL FILHO, H. G., et al. (2016). Cultivo do sorgo, em sucessão à crotalária e aplicação de doses de nitrogênio em Roraima. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 5 (4), 538-550. DOI: [doi.org/10.5380/rber.v5i4.47035](https://doi.org/10.5380/rber.v5i4.47035)

FILHO, O. F. de L. **Silício: produtividade com qualidade na lavoura**. Artigo 5/6, 2008. Disponível em: <http://silifertil.com.br/download-de-artigos/silicio05.pdf>. Acesso em 10 set. 2023.

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.

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.

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.

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum* growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agric Ecosyst Environ* 221:125–131. sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. *Asociación Argentina de Microbiología*, Argentina, 2008. p.17-35.

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>.

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.

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.

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

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.

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

MACHADO, J. R. de A.; FONTANELI, R. S. Inserção das culturas de milho e sorgo na agricultura familiar na região sul brasileira. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). *Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global*. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. cap. 19, p. 209-224.

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

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

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.

MENEZES, C. B.; CARVALHO JÚNIOR, G. A. de; SILVA, L. A.; BERNARDINO, K. C.; SOUZA, V. F.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Combining ability of grain sorghum lines selected for Aluminum tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 1, p. 42–48, 2014.

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.

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.

OLIVEIRA, A. A. de et al. Nitrogênio e formas de aplicação de *Azospirillum brasilense* em milho cultivado em solo arenoso. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n.13, p. 1-13, 2022.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada à Ciência Agrária/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 1, 2017.

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. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771–1776, 2013.

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.

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.

SANTOS, R. dos et al. Fixação biológica de nitrogênio com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 49830-49847, 2022.

SAWARGAONKAR, G. L.; PATIL, M. D.; PAVANI, E.; REDDY, B. V. S. R.; MARIMUTHU, S. Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. **Field Crops Research**. 149: 245-251. 2013.

SILVA, T. R. G. et al. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 4, 2021.

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.

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. D. M.; ROCHA, A. M. S.; SANTOS, L. C. N. SANTOS SARAH, 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.

THE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (FAS). **Brazil: Grain and Feed Update**. 2023. Disponível em: [Brazil: Grain and Feed Update | USDA Foreign Agricultural Service](#). Acesso em: 15 de set. 2023.

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

ZANINE, A. M.; BONELLI, E.A.; FERREIRA, D.J.; SANTOS, E.M.; PINHO, R. M.A.; PARENTE, H.N. (2018b). Fermentation and chemical composition of guinea grass silage added with wheat meal and *Streptococcus bovis*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.1, p.1-8.