

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**SILICATO E CALCÁRIO PARA O CAPIM-IPYPORÃ  
SUBMETIDO AO REGIME HÍDRICO CONTROLADO:  
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E  
ENZIMÁTICAS**

**JAQUELINE MARONEZ ROSA**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021**

**SILICATO E CALCÁRIO PARA O CAPIM-IPYPORÃ  
SUBMETIDO AO REGIME HÍDRICO CONTROLADO:  
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ENZIMÁTICAS**

**JAQUELINE MARONEZ ROSA**  
Engenheira Agrônoma

ORIENTADORA: Profa. Dra. Elisângela Dupas

COORIENTADORA: Profa. Dra. Cristiane Bezerra da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R789s Rosa, Jaqueline Maronez

Silicato e calcário para o capim-ipyporã submetido ao regime hídrico controlado: características agronômicas e enzimáticas: Silicate and limestone for Ipyporã grass subjected to controlled water regime: agronomic and enzymatic characteristics [recurso eletrônico] / Jaqueline Maronez Rosa. -- 2021.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Elisângela Dupas.

Coorientadora: Cristiane Bezerra da Silva.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Elemento benéfico. 2. Silício. 3. Estresse oxidativo. 4. Gramínea forrageira. 5. Nutrição mineral de plantas. I. Dupas, Elisângela. II. Silva, Cristiane Bezerra Da. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

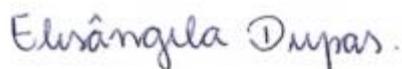
**Silicato e calcário para o capim-ipyporã submetido ao regime hídrico controlado: características agronômicas e enzimáticas**

por

**JAQUELINE MARONEZ ROSA**

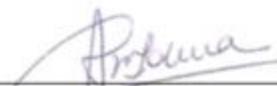
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 22 de Fevereiro de 2021.



---

Profa. Dra. Elisângela Dupas  
UFGD



---

Profa. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovise  
UFGD



---

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho  
UNESP/Ilha Solteira

A Deus, pela dádiva da vida.

Aos meus pais, Zelma Maronez Rosa e David Rosa, a quem eu devo a vida e gratidão eterna pelo amor e apoio. Ao meu namorado, Alvaro Diego Becegato, pela paciência e apoio. A minha irmã Juliana Maronez Rosa, pelo amor e auxílio nos meus momentos difíceis e aos meus amigos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada, a toda minha família, principalmente meus pais David Rosa e Zelma Maronez Rosa e também a minha irmã Juliana Maronez Rosa, que com muito carinho e dedicação, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Em especial ao meu companheiro Alvaro Diego Becegato pelo apoio e amor dedicados a mim todos os dias de nossas vidas.

À minha orientadora e amiga, Profa. Dra. Elisângela Dupas, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta dissertação.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Cristiane Bezerra da Silva, por toda dedicação, ensinamentos, conselhos e incentivo.

A todos os amigos do Grupo de Estudos em Nutrição Mineral de Plantas, Fertilidade e Adubação do Solo (GENFAS), principalmente a Érica Silva de Alencar e Thalliane Raissa da Silva Xavier de Moura pela paciência, dedicação e principalmente por não medir esforços durante toda a execução do experimento.

Aos amigos com quem convivi nesse espaço ao longo desses anos, que ajudaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho.

Aos membros da banca examinadora de qualificação, Profa. Dra. Alzira Gabriela da Silva Pause e Dr. Cleberton Correia Santos, pela disponibilidade e colaboração.

Aos membros da banca examinadora da defesa, Profa. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovis e Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

E por fim, mas não menos importante, a Universidade Federal da Grande Dourados/Faculdade de Ciências Agrárias (UFGD/FCA), ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao CNPq, pela bolsa de estudos que possibilitou a dedicação integral ao programa de pós-graduação.

**“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.**

**Marthin Luther King**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Híbrido BRS RB331 Ipyporã.....	16
2.2 Silício no solo e na planta .....	17
2.3 Estresse hídrico em plantas.....	17
2.3.1 O silício e o estresse hídrico.....	17
2.3.2 Estresse oxidativo em plantas sob condições de estresse hídrico.....	18
<b>3.MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 Local de condução do experimento, escolha e coleta do solo.....	22
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	22
3.3 Execução do experimento.....	22
3.4 Avaliações agronômicas, concentração de silício nas folhas diagnósticas, valor SPAD e estresse oxidativo.....	23
3.4.1 Avaliações agronômicas e valor SPAD.....	23
3.4.2 Concentração de silício nas folhas diagnósticas.....	24
3.4.3 Estresse oxidativo.....	24
3.5 Análise estatística.....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>5.CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1. Número de perfilhos do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....27
- Quadro 2. Número de folhas do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....29
- Quadro 3. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para o número de folhas do capim-ipyporã referente ao terceiro corte.....30
- Quadro 4. Altura de plantas do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....31
- Quadro 5. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....32
- Quadro 6. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico baseado na capacidade de campo (CC) para a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã referente ao primeiro corte.....32
- Quadro 7. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a produtividade de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã referente ao segundo corte.....33
- Quadro 8. Concentração de silício nas folhas diagnóstica do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....35
- Quadro 9. Valor SPAD do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....37
- Quadro 10. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato) com controle hídrico baseado na capacidade de campo (CC) para o valor SPAD do capim-ipyporã referente ao primeiro corte.....37
- Quadro 11. Proteínas totais (PT) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....39

Quadro 12. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para as proteínas totais (PT) do capim-ipyporã referente ao segundo e terceiro cortes.....	39
Quadro 13. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato) com déficit hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da enzima glucanase (GLU) do capim-ipyporã referente ao primeiro corte.....	40
Quadro 14. Atividade da guaiacol peroxidase (GPX) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....	41
Quadro 15. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da guaiacol peroxidase (GPX) do capim-ipyporã referente ao primeiro e terceiro cortes.....	42
Quadro 16. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da superóxido dismutase (SOD) do capim-ipyporã referente ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....	43
Quadro 17. Atividade da catalase (CAT) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....	45
Quadro 18. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da enzima catalase (CAT) do capim-ipyporã referente ao primeiro e terceiro cortes.....	45
Quadro 19. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a peroxidação lipídica (PxL) do capim-ipyporã referente ao primeiro, segundo e terceiro cortes.....	47

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato, submetido ao déficit hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro corte.....57
- Anexo 2.** Capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato, submetido ao déficit hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao segundo corte.....58
- Anexo 3.** Capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato, submetido ao déficit hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao terceiro corte.....59

ROSA, J.M. **Silicato e calcário para o capim-ipyporã submetido ao regime hídrico controlado: características agronômicas e enzimáticas.** 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

### **Resumo**

O silício (Si), elemento benéfico, pode atuar na redução dos estresses abióticos causados por seca, aumentando a tolerância das plantas ao estresse hídrico, neste sentido, objetivou-se com esse trabalho avaliar as características agronômicas e enzimáticas do capim-ipyporã com a utilização do silicato de cálcio e magnésio e calcário submetido a regimes hídricos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FCA/UFGD) no período de julho a novembro de 2019. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados num fatorial 5 x 2 com 4 repetições, sendo: cinco regimes hídricos com reposição de água baseados nas capacidades de campo (CC) (30, 40, 50, 60 e 70% da CC), com dois corretivos de acidez do solo (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico) aplicados para elevar a saturação por bases para 70%. Foram feitos 3 cortes, e realizadas as avaliações das características agronômicas (produtividade de matéria seca da parte aérea - MSPA, contagem do número de folhas e perfilhos e medição da altura das plantas), determinados o valor SPAD, determinada a concentração de silício nas folhas diagnósticas e as avaliações enzimáticas (proteínas totais (PT), glucanase (GLU), guaiacol peroxidase (GPX), superóxido dismutase (SOD), peroxidação lipídica (PxL) e catalase (CAT)). O silicato proporcionou maior número de folhas e altura de plantas para o primeiro corte e, altura de plantas e MSPA para o terceiro corte. As CC de 60 e 70% foram melhores para as características agronômicas. A atividade enzimática foi maior com o uso de calcário para o primeiro e terceiro cortes, entretanto para o segundo corte, foi maior com o silicato. Para as CC com relação à atividade enzimática os valores foram bastante variáveis. A correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para alguns cortes propiciou maior número de perfilhos, folhas, altura de plantas e MSPA, assim como reduziu a atividade das enzimas relacionadas ao estresse oxidativo. Apesar da concentração de silício não diferir entre os corretivos, o silício conferiu maior tolerância ao estresse hídrico às plantas do capim-ipyporã. As reposições de água baseadas em 60 e 70% da CC foram as que apresentaram os maiores valores das características agronômicas e tiveram valores divergentes entre os cortes com relação à atividade das enzimas. Diante disso, mais estudos em condições de campo são necessários para comprovar o efeito benéfico do silício em reduzir danos causados pelo estresse hídrico em gramíneas forrageiras.

**Palavras-chave:** Elemento benéfico, Silício, Estresse oxidativo, Gramínea forrageira e Nutrição mineral de plantas

ROSA, J.M. **Silicate and limestone for Ipyporã grass subjected to controlled water regime: agronomic and enzymatic characteristics.** 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

### ABSTRACT

Silicon (Si), a beneficial element, can act to reduce abiotic stresses caused by drought, increase the tolerance of plants to water stress, in this sense, the objective of this work was to evaluate the agronomic and enzymatic characteristics of ipyoporã grass with the use of calcium and magnesium silicate and limestone subjected to water regimes. The experiment was carried out in a greenhouse located at the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidade Federal da Grande Dourados (FCA/UFGD) from July 2019 to November 2020. The experimental design was a randomized block in a factorial 5 x 2 with 4 repetitions, of which: five water regimes with water reposition based on field sources (CC) (30, 40, 50, 60 and 70% of CC), with two soil acidity correctives (calcium and magnesium silicate and dolomitic limestone) mandatory to raise base saturation to 70%. Three harvests were made and carried out as evaluations of agronomic characteristics (dry matter productivity of the aerial part - MSPA, counting the number of leaves and profiles and measures of plant height), determining the SPAD value, specifying the concentration of silicon in the plants) and enzymatic evaluations (total proteins (PT leaves), glucanase (GLU), guaiacol peroxidase (GPX), superoxide dismutase (SOD), lipid peroxidation (PxL) and catalase (CAT)). The silicate provided a greater number of leaves and plant height for the first harvest and, plant height and MPSA for the third harvest. The CC of 60 and 70% were better for agronomic characteristics. The enzymatic activity was higher with the use of limestone for the first and third harvests, however for the second harvest, it was higher with the silicate. For CC with respect to enzyme activity, the values were quite variable. The correction of the soil with calcium and magnesium silicate for some harvests provided a greater number of tillers, leaves, plant height and MSPA, as well as reduced the activity of enzymes related to oxidative stress. Although the silicon concentration does not differ between the correctives, the silicon conferred greater tolerance to water stress on the plants of the ipyoporã grass. Water replenishments based on 60 and 70% CC were the ones that showed the highest values of agronomic characteristics and had divergent values between cuts in relation to enzyme activity. Therefore, further studies under field conditions are needed to prove the beneficial effect of silicon in reducing damage caused by water stress in forage grasses.

**Key-words:** Beneficial element, Silicon, Oxidative stress, Forage grass and Plant mineral nutrition

## 1 INTRODUÇÃO

A adoção de tecnologias na pecuária brasileira está proporcionando a modernização do setor com incremento da produção e da produtividade, em bases sustentáveis. Como exemplo dessas tecnologias, está o desenvolvimento de novas cultivares de gramíneas forrageiras que se adaptem bem as diferentes condições climáticas e características de solos brasileiros e agreguem na diversificação do ecossistema e econômico no setor agrícola. Neste sentido, o desenvolvimento da *Urochloa* spp. (syn. *Brachiaria* spp.) cv. BRS Ipyporã (capim-ipyoporã) cujo a mesma é um híbrido resultante do cruzamento entre *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* realizado em 1992, na Embrapa Gado de Corte e lançado em 2017 pela Embrapa, que vem demonstrando características interessantes, como a formação de touceiras de porte baixo, prostradas e com elevado perfilhamento basal (VALLE; EUCLIDES; MONTAGNER, 2017).

Além de ser adaptada a solos do Cerrado, sendo uma forrageira de alta qualidade, boa produtividade e manejo relativamente fácil, apresenta elevado grau de resistência às cigarrinhas típicas das pastagens e da cana-de-açúcar (*Mahanarva*), porém tem média tolerância ao estresse hídrico (VALLE; EUCLIDES; MONTAGNER, 2017).

O cultivo das plantas forrageiras como o capim-ipyoporã, está submetido às condições e fatores intrínsecos que causam grande interferência no seu desenvolvimento. Um dos fatores para seu desenvolvimento está relacionado ao regime hídrico que a planta é submetida, sendo que com a baixa disponibilidade hídrica podem ocorrer mudanças morfológicas e fisiológicas nas plantas (ECHEVERRIA et al., 2016).

Quando ocorre escassez de água, os mecanismos morfológicos e fisiológicos são severamente afetados e as plantas expostas a seca geralmente aumentam a produção das espécies reativas de oxigênio (EROs), intensificando à peroxidação lipídica (PxL) e danificando os pigmentos, as proteínas e os ácidos nucléicos. As plantas minimizam a formação dos radicais livres e dos danos causados pelo estresse oxidativo removendo o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) através das enzimas de varredura como a catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), superóxido dismutase (SOD) e algumas enzimas do ciclo ascorbato/glutationa (VIANA et al., 2001).

Adicionalmente as condições climáticas, a nutrição mineral e os atributos químicos do solo também são fatores de grande influência para o desenvolvimento das plantas, onde as mesmas não se desenvolvem adequadamente em ambientes extremos quanto à acidez do solo, devido principalmente, à menor absorção de macro e micronutrientes e presença de alumínio tóxico, sendo necessário utilizar corretivos de acidez de solo. Um dos corretivos de acidez mais utilizados na agricultura é o calcário por meio da prática da calagem, mas pode se utilizar também os silicatos.

Os silicatos são provenientes das escórias de indústria siderúrgica e são uma das principais fontes de silício, ao mesmo tempo que neutralizam a acidez do solo, fornecem o cálcio e magnésio como o calcário, mas também fornecem o silício (Si), sendo uma alternativa ao calcário (MEHARG: MEHARG, 2015).

Apesar do silício não ser nutriente de planta, ele é um elemento benéfico, que vem proporcionando melhorias nas características morfoanatômicas das plantas e conseqüentemente, melhor adaptação às condições de estresses bióticos e abióticos. O silício acumula-se nas folhas na forma de opala e forma uma barreira protetora logo abaixo da cutícula da folha. Isso reduz as perdas de água por transpiração, além de ajudar na abertura e fechamento dos estômatos fazendo que a planta consiga regular melhor as quantidades de gases e água nos seus sistemas fisiológicos, minimizando possíveis efeitos do estresse hídrico as plantas que se adaptam rapidamente às novas condições (TAIZ et al., 2017).

Sabendo que o capim-ipyporã é considerado um híbrido de média tolerância a deficiência hídrica, levantou-se a hipótese que o uso do silicato de cálcio e magnésio, por fornecer Si, poderia aliviar os efeitos negativos do déficit hídrico na forrageira.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar as características agronômicas, enzimáticas do estresse oxidativo e concentração de silício foliar do capim-ipyporã cultivado após correção da acidez do solo com silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico submetido a regimes hídricos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Híbrido BRS RB331 Ipyporã

Nas últimas décadas, em face das mais diversas necessidades, como novas demandas por tolerância ao alagamento, seca, sombreamento, variedades de alta produtividade e maior tolerância a pragas e doenças, o desenvolvimento de novas variedades de forragem tem proporcionado aos produtores múltiplas escolhas (ECHEVERRIA et al., 2016).

Nesse sentido, o híbrido BRS RB331 Ipyporã é resultado de um cruzamento entre *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* realizado pela EMBRAPA e lançado em 2017, tem características como boa produtividade e vigor, alta qualidade e adaptação a solos de Cerrados. Essa gramínea forrageira veio para diversificar variedades como o capim-marandu e outras cultivares de *Urochloa brizantha*. Apresenta bom desempenho agrônomico, com alta quantidade de folhas e ótima relação folha:colmo, mas sobretudo, maior valor nutritivo (VALLE; EUCLIDES; MONTAGNER, 2017).

As principais características morfológicas do capim-ipyoporã são que o mesmo forma touceiras de porte baixo, prostradas, com pouca emissão de estolões e com alto perfilhamento basal; os colmos são curtos e delgados e com alta pilosidade nas bainhas; as folhas são lanceoladas e eretas com presença de tricomas em ambas as faces, inflorescências curtas com 4 a 5 racemos e os estigmas são roxos e as espiguetas são uniseriadas com muito pouca ou nenhuma pilosidade (VALLE; EUCLIDES; MONTAGNER, 2017).

A *Urochloa* spp. cv. BRS Ipyoporã é considerada uma cultura perene com produção de 8 a 14 t ha<sup>-1</sup> por ano de massa seca, elevada quantidade de folhas em relação aos colmos e que se adaptam bem a solos de média e alta fertilidade. O seu crescimento é ereto e cespitoso onde chega a altura de 0,4 a 0,6 m. O uso dessa gramínea forrageira é direcionado ao pastejo direto ou para a fenação, com excelente digestibilidade e palatabilidade e muito aceita pelos animais. Porém, é uma gramínea de média tolerância à seca e frio, necessitando de precipitação anual de 800 mm (ECHEVERRIA et al., 2016).

## 2.2 Silício no solo e na planta

O silício é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre ficando atrás apenas do oxigênio, apesar de não ser um elemento essencial no desenvolvimento das plantas, por não apresentar os critérios diretos e indiretos de essencialidade, o mesmo é classificado como elemento benéfico ou útil para as plantas. Entretanto, muitas pesquisas comprovam a eficiência do silício como melhorias na morfologia e estruturação das plantas, principalmente àquelas que são consideradas acumuladoras de silício, como a gramíneas (CRUSCIOL et al., 2009; MENEGALE; CASTRO; MANCUSO, 2015).

Apesar do silício ser o principal constituinte das rochas, dos minerais silicatados e dos solos, seus teores solúveis e disponíveis às plantas podem ser baixos em alguns solos, devido principalmente, à sua mineralogia, textura e teor de argila. Assim, solos com maior teor de óxidos de ferro e alumínio e solos arenosos e de textura média apresentam menor teor de silício solúvel. Entretanto, alguns solos com baixos teores de argila contêm teores suficientes de silício para as plantas, tal como o Argissolo de textura média ( $> 8 \text{ mg kg}^{-1}$  de silício solúvel em  $\text{CaCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), e não respondem à adubação silicatada (CAMARGO, 2016).

O silício é absorvido pelas raízes das plantas na forma neutra, como ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), por processo passivo ou ativo, através de transportadores de membrana específicos para este fim. O silício tem baixa mobilidade dentro da planta e é depositado geralmente nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, sendo que nas lâminas foliares o acúmulo é relativamente maior que nas outras partes da planta (TANAKA; PARK, 1966). O transporte do ácido monossilícico é feito via xilema, e pode ser regulado pela transpiração ou por processo ativo. O ácido monossilícico, depois de absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes das células da epiderme, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar a resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, além de diminuir a transpiração (RODRIGUES et al., 2011).

Após o silício ser absorvido pelas raízes das plantas este é transferido para as partes aéreas através fluxos de transpiração. Naturalmente, seu acúmulo nas partes aéreas aumenta sua polimerização no sistema intercelular e abaixo das cutículas cria uma barreira contra o ataque de patógenos (BAKHAT et al., 2018).

Vale destacar que é comprovado também sua eficiência em reduzir o estresse causado pela seca, que é um dos grandes desafios da atualidade. Como justificativa pode-

se ressaltar que com a absorção do silício, reduz-se a compressão dos vasos em altas taxas de transpiração pelas plantas, reduzindo o estresse hídrico.

Além do efeito benéfico do silício em condições de estresse hídrico, os ânions silicatos aumentam o pH do solo, podendo fazer com que a atividade dos elementos tóxicos seja diminuída, precipitando-os em compostos insolúveis ou formando polímeros de baixa disponibilidade para as plantas (RODRIGUES et al., 2011).

A diminuição da toxidez pelo Al pode ocorrer dentro da planta por estímulo do sistema de antioxidantes, complexação dos íons metálicos, imobilização destes metais durante o crescimento vegetal ou compartimentação em vacúolos, citoplasma (NEUMAM; NIEDEN, 2001) ou na parede celular (LIANG et al., 2007).

Apesar de todos esses efeitos benéficos do silício para diminuição dos estresses bióticos e abióticos, este elemento benéfico ainda precisa ser mais pesquisado, principalmente em gramíneas forrageiras.

## **2.3 Estresse hídrico em plantas**

### **2.3.1 O silício e o déficit hídrico**

A água é essencial para o metabolismo das plantas, e a redução do suprimento da mesma no solo, afetará o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (MARTINS et al., 2008). Sob influência da desidratação causada pela falta de água nas células dos vegetais, ocorre a diminuição do potencial hídrico e osmótico diminuindo assim a sua resistência hídrica dos vasos xilemáticos. Os principais efeitos causados são: inibição fotossintética devido ao fechamento estomático, abscisão das folhas fazendo com que não ocorra os principais fenômenos fisiológicos das plantas, impedindo toda a formação e crescimento das mesmas (TAIZ et al., 2017).

A escassez de água na planta durante a diferenciação das células foliares determina a redução irreversível da área foliar, espessamento das folhas e aumento da densidade estomática. Mediante isso, a indução da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos vem cobrindo diferentes culturas por mais de um século e se mostrando ótima ferramenta no aumento das produtividades em locais com alta incidência de saís, baixa pluviosidade e com alto ataque de pragas ou doenças. As defesas das plantas podem ser ativadas pelo tratamento com agentes bióticos ou abióticos de natureza inorgânica ou orgânica. Os mesmos que são capazes de ativar respostas de

defesas nas plantas são chamadas de elicitores ou indutores, onde induzem resposta de resistência e defesa quando se ligam a receptores na membrana da parede celular do celular vegetal (BERTOLDO; MAZARO, 2018).

Um desses indutores é o silício, sendo que as plantas com presença de silício no citosol desencadeiam a produção de compostos orgânicos como o ácido jasmônico ao serem injuriadas por algum fator externo como o ataque de pragas. A combinação desses processos físicos e bioquímicos mediados pelo silício melhoram a capacidade das plantas de resistir a estresses naturais (BAKHAT et al., 2018).

O silício na agricultura esta se tornando ótima estratégia sustentável para o alívio de estresses bióticos e abióticos, proporcionando melhorias para a agricultura sustentável. Dentro da comunidade científica ainda faltam esclarecer vários aspectos relacionados com a adubação silicatada, principalmente como o silício atua nos mecanismos que relacionam para a melhoria relacionadas com os estresses bióticos e abióticos, onde deve-se descobrir como o silício atua na fisiologia das plantas (ETESAMIA; JEONG, 2018).

Dentre muitas das vantagens já comprovadas com o uso do silício, a mais relevante, é o aumento significativo da produtividade das culturas com a adição do silício ao solo, conforme já constatada para arroz, cana-de-açúcar, trigo, aveia e várias forrageiras, pois o silício comprovadamente melhora a arquitetura das folhas, como o aumento da espessura das folhas, aumento da área foliar e conseqüentemente, aumento na interceptação da luz solar e a capacidade fotossintética da planta (CAMARGO, 2017).

Dentro os efeitos benéficos observados no uso do silício em gramíneas sob estresse hídrico estão diretamente ligados com o aumento da resistência mecânica das células, devido ao depósito na parede celular de silício na forma de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), que forma uma dupla camada de silício, com esse acúmulo ocorre melhor ajuste osmótico, diminuindo a transpiração e perda de água e melhorando a capacidade fotossintética (FATIMA et al., 2019).

### **2.3.2 Estresse oxidativo em plantas sob condições de estresse hídrico**

Modelos de mudanças climáticas prevêm que a ocorrência e intensidade de seca e ondas de calor aumentarão no futuro, levando à redução da produção agrícola. Alta temperatura e seca são considerados os fatores mais importantes, onde as mesmas diminuem significativamente a produtividade das plantas, como o crescimento e a produção da safra global (SUZUKI et al., 2014).

A falta de água pode causar uma série de reações em cadeia, como a inibição da fotossíntese, que por sua vez leva a redução do uso da radiação incidente, o que leva ao acúmulo de potência redutora (NADPH) e à redução final dos receptores. Cadeia de transporte de elétrons (NADP<sup>+</sup>), que cria condições para redução excessiva da cadeia de transporte de elétrons, de modo que os elétrons que podem reagir com o oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) e formar o oxigênio ativo (EROs) que escapem (KIM et al., 2017).

Portanto, para atender à demanda global atual e futura da população por alimentos e energia, é necessário o desenvolvimento de lavouras mais resistentes à seca. No entanto, o programa de melhoramento genético é demorado e exige grande investimento financeiro. Com isso chega-se a um consenso que é necessário desenvolver outras estratégias para lidar com esse estresse abiótico (CAMARGO, ROCHA, KORNDÖRFER, 2013).

Uma estratégia é a utilização do silício, sendo que o mesmo protege as plantas de três maneiras: bioquímica, fisiológica e física. Levando em consideração os dois primeiros, o acúmulo de silício nas plantas pode melhorar a resistência à seca e manter o potencial hídrico das folhas. O ajuste da osmose, modifica as propriedades de troca gasosa, como assimilação de CO<sub>2</sub> e a taxa de transpiração e reduz o estresse oxidativo, causando mudanças permanentes nos hormônios vegetais e nas expressões gênicas das plantas (FAROOQ; KARL-JOSEF, 2015). Fisicamente, ao melhorar a estrutura da lâmina (fornecida por uma abertura menor do ângulo da lâmina), a lâmina pode ser feita mais vertical, reduzindo assim o autos-sombreamento. Além disso, o silício pode ser depositado no porta-lâmina para melhorar a resistência a danos mecânicos (MA; YAMAJI, 2015).

A intensidade do estresse oxidativo pode ser avaliada pela atividade da P<sub>x</sub>L, que desempenha papel vital na degradação da membrana. O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é um tipo de ERO, um produto do metabolismo vegetal. Em condições desfavoráveis, como o estresse hídrico controlado, pode haver desequilíbrio entre a formação de EROs e o metabolismo de defesa antioxidante, de forma que o primeiro aumenta e o segundo é desfavorável, causando danos a toda a planta. A produção, metabolismo e remoção de EROs são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A regulação e eliminação desses compostos fazem parte do mecanismo de defesa da planta e podem melhorar a tolerância a diversos estresses ambientais (BRANDÃO et al., 2016).

As EROs podem causar danos, mas também podem sinalizar e ativar uma variedade de respostas de defesa e dentro dos fatores que define esses resultados, o nível

e o tipo de EROs são os principais. O  $H_2O_2$  e o superóxido ( $O_2^-$ ) podem estimular diferentes genes independentemente se estão juntos ou separados, disponibilizando assim uma maior flexibilidade na sinalização de EROs e em baixas concentrações a capacidade do EROs induz genes de defesa e a resposta adaptativa é maior (SOARES; MACHADO, 2007).

Todos os processos metabólicos de forma direta ou indireta, depende de oxigênio de modo geral (como respiração aeróbia, fotossíntese e fotorrespiração) e à produção de EROs na mitocôndria, cloroplastos e peroxissomos, respectivamente são situações comuns ao decorrer desses processos. Os cloroplastos e as mitocôndrias são as verdadeiras "fontes de energia" das células fotossintéticas. Nessas organelas, a cadeia do transportador de elétrons (CTE) não é apenas a força motriz do metabolismo celular, mas também gera sinais redox, que participam e regulam os processos biológicos das plantas, formando EROs (FOYER; NOCTOR, 2003). Contudo a formação do  $O_2$  nos cloroplastos também pode ser estimulada pela baixa concentração de  $CO_2$ , em consequência do fechamento dos estômatos, resultado de condições de estresse como déficit hídrico, salinidade ou temperatura elevada (BARBOSA et al., 2014).

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Local de condução do experimento, escolha e coleta do solo**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FCA/UFGD), em Dourados - MS (22° 12' S, 54° 49' W e 430 m) no período de julho 2019 a novembro de 2020. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2018) coletado na camada de 0-20 cm, com os seguintes atributos químicos e granulométricos: M.O.: 24,51 g dm<sup>-3</sup>; pH CaCl<sub>2</sub>: 3,90; P Mehlich 1 e S: 3,90 e 4,51 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg, K, Al, H+Al e CTC: 0,72; 0,39; 0,15; 2,79; 24,53 e 25,79 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V%: 5% e areia, silte e argila: 17,50; 16,25 e 66,25%, respectivamente.

### **3.2 Tratamentos e delineamento experimental**

Os vasos utilizados para a condução do experimento possuíam a capacidade de 3,8 kg de solo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados num fatorial com 5 x 2 com 4 repetições, perfazendo total de 40 unidades experimentais, sendo: cinco regimes hídricos controlados com as reposições de água baseadas na capacidade de campo (CC) para manutenção de água nos vasos (30, 40, 50, 60 e 70% da CC) com o uso de silicato de cálcio e magnésio (65% de PRNT, 45,58% de CaO e 6,77% de MgO) e calcário dolomítico (86% de PRNT, 31% de CaO e 21% de MgO) para elevar a saturação por bases para 70% de acordo com metodologia de elevação da V%. Como os teores de cálcio e magnésio desses corretivos de acidez eram diferentes estes foram ajustados com o uso de outros fertilizantes (CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub>) para que se igualassem.

Os tratamentos com o regime hídrico foram controlados através da aferição do peso dos vasos, diariamente, através de uma balança analítica. Os tratamentos com 30 e 40% da CC foram perdidos devido a morte das plantas após o primeiro corte, por isso a partir do segundo corte permaneceram apenas os tratamentos com 50, 60 e 70% da CC.

### **3.3 Execução do experimento**

Em julho de 2019, o solo foi coletado na camada de 0-20 cm, colocado para secar ao sol, peneirado em peneira de malha de 2mm, acondicionado 3,8 kg de solo nos vasos.

Os corretivos foram incubados por 120 dias e o solo nos vasos mantidos irrigados com 70% da CC para que o silicato e o calcário pudessem reagir e fazer a correção da acidez e aumento do pH, assim como a elevação do V% do solo.

As sementes do capim-ipyporã foram semeadas em sementeira com areia lavada com água deionizada e posteriormente foram transplantadas 10 plantas por vaso. Os desbastes periódicos foram realizados até permanecerem três plantas bem desenvolvidas por vaso.

Após os desbastes foi realizada adubações baseadas em Malavolta (1980), com fósforo ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na forma de superfosfato simples (18% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), nitrogênio ( $100 \text{ mg dm}^{-3}$ ) - ureia (45% de N) e potássio ( $50 \text{ mg dm}^{-3}$ ) - cloreto de potássio (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ), sendo que as adubações com nitrogênio e potássio foram realizadas também após o primeiro e segundo cortes, totalizando  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  de N e  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K, todos os fertilizantes foram diluídos em água e aplicadas ao solo.

Para o cálculo da quantidade de água a ser repostada, fez o teste da CC no qual o solo foi saturado com água, depois foi pesado e obteve-se 100% da CC, desse valor foi descontado as CC de interesse e feita a reposição de água. Para cada reposição hídrica de acordo com o tratamento hídrico específico as unidades experimentais foram aferidas com as massas em balança analítica calibrada.

As irrigações baseadas em 70% da CC foram mantidas até 20 dias depois do transplante, após esse período iniciaram-se as irrigações baseadas nas CC de cada tratamento.

### **3.4 Avaliações agronômicas, concentração de silício nas folhas diagnósticas, valor SPAD e estresse oxidativo**

#### **3.4.1 Avaliações agronômicas e valor SPAD**

No dia anterior ao corte da forrageira foram quantificados: a altura média de plantas, definida como sendo a distância (cm) do nível do solo ao ápice da maior folha de três plantas, o número de perfilhos por vaso e o número de folhas por vaso. No dia anterior ao corte também foram realizadas as leituras do valor SPAD no terço médio de dez folhas diagnósticas (folhas recém-expandidas com lígula visível) de cada perfilho, e foi utilizado o medidor de clorofila (SPAD-502 Minolta Corp., Ramsey, New Jersey, EUA).

A definição do momento do corte foi quando 50% das folhas maduras do capim-

ipyporã estavam senescendo. No dia da colheita, as plantas foram cortadas a altura de 5 cm do solo, separando-se a parte aérea em folhas diagnósticas (folhas recém-expandidas com lígula visível) e demais partes (folhas do ápice da planta, folhas maduras e colmos mais bainhas). As produções de massa seca da parte aérea (MSPA) foram quantificadas pela soma da massa seca dos seus componentes (folhas diagnósticas e demais partes), nos três cortes realizados do capim-ipyporã. Após o corte e a separação dos componentes, a parte aérea das plantas foram levadas ao laboratório e acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa para secagem à 65 °C, por 72 horas. Posteriormente, esse material foi pesado em balança semi-analítica para obtenção da produção de massa seca da parte aérea total.

### **3.4.2 Concentração de silício nas folhas diagnósticas**

A determinação da concentração de silício nas folhas diagnósticas foi realizada conforme metodologia descrita em Miyazawa et al. (2009), tendo como princípio do método a formação de  $\text{SiO}_2$  pela incineração do tecido vegetal que é dissolvido com solução alcalina e determinado por espectrofotometria com azul-de-molibdênio a 660 nm.

### **3.4.3 Estresse oxidativo**

Um dia antes da realização dos cortes, também foram coletadas três folhas diagnósticas, colocadas em sacos plásticos identificados e levadas para o congelador para posterior análise.

Para o preparo do extrato enzimático, cerca de 50 mg de amostras de cada parcela foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido, e o pó resultante foi homogeneizado com tampão fosfato de sódio, pH 7,0 (50 mM), contendo EDTA 2 mM e polivinilpirrolidona (PVP) 1,0%. O sobrenadante foi recolhido e utilizado como extrato bruto para as dosagens descritas a seguir, sendo o precipitado descartado (MARQUES; XAVIER-FILHO, 1991). Os extratos foram acondicionados a -18°C até o momento da análise. As preparações para a extração das enzimas foram realizadas a 4 °C. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

A determinação da quantidade total de proteínas (PT) presentes foi realizada através da preparação do reagente em laboratório. A concentração da proteína nos extratos

foi determinada por comparação com curva padrão com albumina de soro bovino (BSA), e a atividade determinada por espectrofotometria a 594 nm (BRADFORD, 1976).

O volume de solução do extrato enzimático, seguiu a metodologia descrita em Bracht e Ishii-Iwamoto (2003), onde os mesmos citam que a quantidade de proteína utilizada em um ensaio deve ser padronizada para todas as amostras em um volume de solução. Nos ensaios propostos, essa quantidade foi de 0,1-0,4 mg de proteína no extrato, uma vez que o volume de solução nos ensaios foi de 500  $\mu$ L a 1,5 mL de solução. A variação na quantidade de proteínas em uma amostra pode interferir no resultado da avaliação, levando a um erro quantitativo.

A atividade da  $\beta$  1,3-Glucanase (GLU) foi determinada segundo Saeki et al. (1994). Utilizou-se uma mistura de reação contendo extrato enzimático (0,1-0,4 mg de proteína no extrato), seguido de 1,5 mL de tampão acetato de sódio 0,5 M, contendo laminarina a 0,25%. A mistura de reação foi encubada a 40°C por 20 minutos, e após resfriamento, a atividade da enzima foi mensurada a 540 nm.

A atividade da catalase (CAT) foi medida em meio contendo tampão fosfato de potássio 67 mM (pH 7,0), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10 mM), e 0,1-0,4 mg de proteína de proteína do extrato enzimático. O consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi monitorado a 240 nm ( $\epsilon$ , 0,036 mM<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>) (AEBI, 1984).

A atividade da guaiacol peroxidase (GPX) foi medida em meio contendo tampão fosfato de potássio 25 mM (pH 6,8), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10 mM) guaiacol (2,6 mM) e 0,1-0,4 mg de proteína do extrato enzimático. A formação de tetraguaicol ( $\epsilon$ , 25,5 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>) foi monitorada a 470 nm (PUTTER, 1974).

Atividade de superóxido dismutase (SOD) foi medida de acordo com Giannopolitis e Ries (1977). O meio continha tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8) e L-metionina 6,5 mM, NBT (nitroblue tetrazolium) 150  $\mu$ M, riboflavina 4  $\mu$ M e 0,02-0,1 mg de proteína do extrato enzimático. A reação foi iniciada pela ativação de uma luz (20 W) e iluminando o meio durante 20 minutos a 30 °C. Uma unidade de atividade de SOD (U) foi definida como a quantidade de enzima necessária para causar inibição de 50% da taxa de fotorredução (NBT) a 560 nm, e os resultados foram expressos como unidades de SOD  $\mu$ g proteína<sup>-1</sup>.

A peroxidação lipídica (PxL) foi medida num meio contendo 0,1% de ácido tricloroacético, 0,5% de ácido tiobarbitúrico e 0,1-0,4 mg de proteína do extrato enzimático (GOMES-JÚNIOR et al., 2006). A formação de MDA foi monitorada a 534 nm ( $\epsilon$ , 0,153 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>).

A partir dos dados obtidos pelas leituras das absorvâncias, foi possível calcular a atividade em  $\mu\text{mol}$  por minuto pelo uso da equação:

$$\text{Atividade } (\mu\text{mol min}^{-1}) = \frac{\text{volume de incubação (mL)} \times \text{tg}\alpha (\text{min}^{-1})}{\text{Coeficiente de extinção molar da enzima } (\epsilon)} = \text{unidades de enzima}$$

A atividade específica para cada enzima foi calculada de posse da seguinte fórmula:

$$\text{Atividade específica (unidades mg de proteína)} = \frac{\text{Unidades de enzima calculada em } \mu\text{mol}}{\text{Quantidade de proteína na cubeta}^*}$$

### **3.5 Análise estatística**

Os resultados foram analisados pela análise de variância (teste F). Para o efeito de corretivos de acidez do solo para todos os cortes, aplicou-se o teste de Tukey, para o déficit hídrico controlado no primeiro corte utilizou-se a regressão polinomial, no entanto para o segundo e terceiros cortes da forrageira foi utilizado o teste de Tukey devido à perda de tratamentos. Utilizou-se o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2014).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interação corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico não foi significativa para o número de perfilhos em todos os cortes (Quadro 1). Os corretivos de acidez não influenciaram o número de perfilhos, somente o regime hídrico. Para o primeiro corte, à medida que aumentaram as reposições de água baseadas nas CC, aumentaram o número de perfilhos, para o segundo corte, os maiores números de perfilhos foram com 60 e 70% da CC, enquanto para o terceiro corte, o maior número de perfilhos foi com 70% da CC.

Quadro 1. Número de perfilhos do capim-ipyoporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Número de Perfilhos		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	15,95 a	25,50 a	33,50 a
<b>Silicato</b>	17,20 a	27,25 a	34,41 a
<b>DMS</b>	1,99	5,10	3,20
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	10,50 <sup>(1)</sup>	-	-
<b>40</b>	11,25	-	-
<b>50</b>	16,50	21,00 b	28,62 c
<b>60</b>	18,63	27,87 a	34,00 b
<b>70</b>	26,00	30,25 a	39,25 a
<b>CV (%)</b>	18,56	14,88	10,85
<b>DMS</b>	-	3,41	4,78
<b>Média Geral</b>	16,58	26,37	33,95

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

$$^{(1)} \text{ N}^\circ \text{ de Perfilhos} = -2,6125 + 0,3838x \quad (R^2 = 0,93).$$

O efeito do regime hídrico sobre o número de perfilhos é devido à escassez de água durante a fase inicial de desenvolvimento, como a germinação e a produção de perfilhos, pode comprometer o vigor vegetativo, a produtividade e o estande inicial das gramíneas, além de ser um fator de grande influência no desenvolvimento em geral das plantas (TEIXEIRA et al., 2020).

Semelhante ao presente trabalho, Stocco et al. (2010), avaliando o perfilhamento e massa seca de duas pastagens degradadas de *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu com o uso de doses de duas escórias de siderurgia, observaram que com o uso da escória de maior teor de silício, à medida que aumentaram as doses da escória, aumentaram o número de perfilhos e a massa seca. Os autores concluíram que as escórias de siderurgia avaliadas se constituem em alternativas visando aumentar a produção das gramíneas do gênero *Brachiaria*, bem como minimizar o passivo ambiental gerado pelo acúmulo das escórias nos pátios das siderúrgicas, desde que realizadas análises dos teores de metais pesados no material.

Ao contrário, Fortes et al. (2008), ao avaliar o efeito da correção da acidez do solo por meio da utilização de doses de silicato de cálcio e magnésio para a produção de gramíneas *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Megathirsus maximus* cv. Tanzânia em Neossolo, observaram diminuição no número de perfilhos com o aumento das doses de silicato. Os autores justificaram essa queda no número de perfilhos por ter havido compensação entre peso e número de perfilhos, uma vez que essas variáveis normalmente exibem correlação inversa, pois foram observados aumentos na produção de massa seca e altura de perfilhos no terceiro corte, supõe-se que tenha ocorrido aumento no peso de perfilhos do capim-tanzânia.

Teixeira et al. (2020) concluíram que para as mudas de cana-de-açúcar pré-brotadas na ausência de silício, a deficiência hídrica diminuiu o número de perfilhos de forma significativa, mas a nutrição com silício antes do transplante aumentou o número de perfilhos quando comparado ao controle (sem silício), diferentemente do presente trabalho, a interação dos regimes hídricos com os corretivos não foi significativa. Talvez os resultados foram distintos porque a cana-de-açúcar é considerada uma cultura hiperacumuladora de silício.

De acordo com Patês et al. (2007) a produtividade do capim está relacionada a sua produção de folhas e perfilhos. Sendo que a capacidade das gramíneas em originar novos perfilhos auxilia o estabelecimento e a perenidade das gramíneas forrageiras, assegura maior proteção do solo contra a ação de fatores ambientais, confere maior resistência a pragas e doenças, controla a ausência de plantas daninhas e determina a produção de forragem (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001). Nesse sentido, o número de perfilhos é, frequentemente, utilizado como indicador de vigor ou persistência da gramínea na pastagem (SILVA; PEDREIRA, 1997).

A partir do segundo corte, não teve mais os tratamentos com 30 e 40% da CC, pois as plantas não rebrotaram devido as baixas reposições de água. De acordo com Santos e Carlesso (1998), o déficit hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta. As plantas com déficit hídrico reduzem a sua área foliar e o turgor das células fazendo que com diminuam os processos de fotossíntese, crescimento vegetal, expansão e divisão celular levando a planta a senescência.

A interação corretivos de acidez  $\times$  regime hídrico não foi significativa para o número de folhas no primeiro e segundo cortes, somente para o terceiro corte (Quadros 2 e 3). Para o primeiro corte, o silicato proporcionou maior número de folhas (60,70 folhas), enquanto o calcário produziu (52,35 folhas). Para o segundo corte, os corretivos não influenciaram o número de folhas.

Quadro 2. Número de folhas do capim-ipyorã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Número de Folhas		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	52,35 b	68,41 a	77,75
<b>Silicato</b>	60,70 a	72,66 a	96,58
<b>DMS</b>	7,18	10,66	9,83
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	41,25 <sup>(1)</sup>	-	-
<b>40</b>	48,25	-	-
<b>50</b>	51,75	55,75 c	71,00
<b>60</b>	58,63	68,75 b	86,12
<b>70</b>	82,75	87,12 a	104,37
<b>CV (%)</b>	19,60	11,63	12,97
<b>DMS</b>	-	7,14	14,68
<b>Média Geral</b>	56,53	70,54	87,16

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

$$^{(1)} \text{ N}^\circ \text{ de Folhas} = 9,8375 + 0,9338x \quad (R^2 = 0,86).$$

Quadro 3. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para o número de folhas do capim-ipyporã referente ao terceiro corte

Regime hídrico (% CC)	Número de Folhas	
	Corretivos de acidez	
	Calcário	Silicato
<b>50</b>	60,50 Bb	81,50 Ab
<b>60</b>	69,50 Bb	102,75 Aa
<b>70</b>	103,25 Aa	105,50 Aa
<b>DMS</b>	17,03 (linha) /20,77 (coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao regime hídrico, para o primeiro corte, à medida que aumentou a manutenção de água baseada na CC, aumentaram-se o número de folhas, para o segundo corte, o maior número de folhas foi com a de 70% CC (Quadro 2).

Para o desdobramento da interação corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico para o número de folhas, observou-se que para a reposição hídrica de 50 e 60 da CC o silicato proporcionou maior número de folhas, enquanto para a de 70% CC os dois corretivos foram semelhantes (Quadro 3).

A interação corretivos de acidez  $\times$  regime hídrico não foi significativa para a altura de plantas em todos os cortes. Para o primeiro corte, o silicato proporcionou plantas maiores (52,71 cm) quando comparado ao calcário (47,15 cm), para o terceiro corte, o silicato também proporcionou plantas maiores (31,98 cm) quando comparado ao calcário 27,99 cm) (Quadro 4).

Para o primeiro corte à medida que aumentou a manutenção de água baseada na CC, aumentaram-se a altura de plantas, para o segundo e terceiro cortes, o regime hídrico não influenciou a altura de plantas.

O número de perfilhos, número de folhas e altura de plantas para o primeiro corte foram influenciados pelo regime hídrico. Observou-se maior número de perfilhos, número de folhas e altura de plantas ao aumentar as porcentagens da CC de forma linear. Esses resultados podem ser justificados, pois dentre todos os fatores responsáveis pelo adequado desenvolvimento das plantas, a água é um dos principais, desempenhando grande papel, principalmente em disponibilizar nutrientes, turgor para as mesmas e realização de todas as atividades metabólicas.

Quadro 4. Altura de plantas do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Altura de plantas (cm)		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	47,15 b	44,55 a	27,99 b
<b>Silicato</b>	52,71 a	48,15 a	31,98 a
<b>DMS</b>	3,03	3,99	3,88
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	44,45 <sup>(1)</sup>	-	-
<b>40</b>	47,94	-	-
<b>50</b>	49,42	44,12 a	28,78 a
<b>60</b>	50,55	45,66 a	30,01 a
<b>70</b>	57,30	49,27 a	31,17 a
<b>CV (%)</b>	9,36	9,90	14,89
<b>DMS</b>	-	5,96	5,80
<b>Média Geral</b>	49,93	46,35	29,98

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

$$^{(1)} \text{ Altura de plantas} = 35,7805 + 0,2830x \quad (R^2 = 0,90).$$

Melo (2020), trabalhando com capim-ipyporã e intervalos de irrigação (5, 15, 30 e 45 dias) após a incorporação do calcário, observou que o número de folhas, o número de folhas por perfilho, a taxa de aparecimento de folhas e o filocrono foram sim afetados pelos tratamentos empregados, corroborando com o presente trabalho. O autor justifica esses resultados pelos incrementos nos teores de Ca e Mg no solo, mas não modificou a massa da forragem, o que configura plasticidade fenotípica. Além disso, o autor concluiu que ao usar uma lâmina que atinja a máxima CC foi suficiente para obter boa eficiência dos corretivos, neutralizar o alumínio e garantir a disponibilidade dos outros nutrientes e consequentemente garantir a implantação adequada do capim-ipyporã.

A interação corretivos de acidez  $\times$  regime hídrico foi significativa para a MSPA para o primeiro e segundo cortes (Quadros 5, 6 e 7). Para o terceiro corte, a maior MSPA foi com a utilização de silicato (10,33 g por vaso) comparado ao calcário (9,00 g por vaso), com relação ao regime hídrico, a maior MSPA foi com a manutenção de água baseada em 70% da CC.

Quadro 5. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	MSPA (g por vaso)		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	18,06	23,00	9,00 b
<b>Silicato</b>	23,85	24,16	10,33 a
<b>DMS</b>	3,11	1,30	1,29
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	3,50	-	-
<b>40</b>	4,17	-	-
<b>50</b>	7,65	19,25	8,50 b
<b>60</b>	27,81	24,75	9,50 ab
<b>70</b>	61,66	26,75	11,00 a
<b>CV (%)</b>	22,85	6,37	15,42
<b>DMS</b>	-	1,95	1,93
<b>Média Geral</b>	20,96	23,58	9,66

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 6. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico baseado na capacidade de campo (CC) para a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã referente ao primeiro corte

Regime hídrico (% CC)	MSPA (g por vaso)	
	Corretivos de acidez	
	Calcário	Silicato
<b>30</b>	3,25 a <sup>(1)</sup>	3,75 a <sup>(2)</sup>
<b>40</b>	3,55 a	4,80 a
<b>50</b>	6,01 a	9,30 a
<b>60</b>	23,83 b	31,80 a
<b>70</b>	53,70 b	69,63 a
<b>DMS</b>	6,95	

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(1)  $MSPA_{\text{calcário}} = -42,5188 + 1,2117x$   $R^2=0,99$ ;

(2)  $MSPA_{\text{silicato}} = -55,5200 + 1,5875x$   $R^2=0,99$ .

Quadro 7. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a produtividade de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-ipyporã referente ao segundo corte

Regime hídrico (% CC)	MSPA (g por vaso)	
	Corretivos de acidez	
	Calcário	Silicato
<b>50</b>	18,50 Ac	20,00 Ab
<b>60</b>	23,00 Bb	26,50 Aa
<b>70</b>	27,50 Aa	26,00 Aa
<b>DMS</b>	2,75 (linha)/2,26 (coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a interação corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico com relação à MSPA do primeiro corte, observou-se que não houve diferença entre os corretivos para as CC de 30, 40 e 50%, mas para os controles de 60 e 70% da CC, sendo que as maiores MSPA foram obtidas com o uso do silicato (31,80 e 69,63 g por vaso) quando comparadas ao calcário (23,83 e 53,70 g por vaso), respectivamente para 60 e 70% da CC. Tanto para o silicato quanto para o calcário à medida que aumentaram as CC, aumentaram as MSPA (Quadro 6).

Quanto aos desdobramentos da interação dos corretivos  $\times$  déficit hídrico para a MSPA do segundo corte, observou-se que com a de 60% CC, o uso silicato proporcionou maior MSPA do que o calcário, já para as de 50 e 70% CC as MSPA foram semelhantes com o uso desses dois corretivos (Quadro 7). Em relação ao regime hídrico com o uso de calcário, observou-se maior MSPA com a de 70% CC, seguida de 60 e 50% CC, já para o silicato, as maiores MSPA foram com as de 60 e 70% CC.

Semelhante ao presente trabalho, estudos têm demonstrado e justificado que o silício pode aliviar o estresse das plantas em condições de baixa reposição hídrica, pois desempenha papel importante na proteção física e química das plantas, favorecendo o desempenho dos sistemas fisiológicos e melhorando o sistema antioxidante, com isso, consequentemente ocorre o aumento da produção de biomassa das plantas acumuladoras de silício (TEIXEIRA et al., 2020; CHEN et al., 2018; CAMARGO, 2017).

Outro aspecto importante a ser destacado é a relação entre estresse hídrico  $\times$  plantas nutridas com silício. As plantas fertilizadas com esse elemento benéfico apresentam folhas mais retas, o que aumenta a taxa de fotossíntese e reduz a perda de

água pela transpiração e conseqüentemente obtêm melhor eficiência no uso da água para o seu desenvolvimento (MORO, 2012).

Os maiores valores de número de folhas, altura de plantas e MSPA observados com o uso de silicato, deve-se ao fato de que as plantas forrageiras acumulam o silício em alta concentração em seus tecidos vegetais, principalmente nas folhas, melhorando de forma significativa o desenvolvimento celular das folhas, mantendo as ações primordiais dos sistemas fisiológicos das plantas. As gramíneas são consideradas acumuladoras porque realizam a migração do silício das raízes para as folhas e assim armazenando (MITANI; CHIBA; YAMAJI, 2009). Portanto, a deposição do silício ocorre no apoplasto, onde é formada uma dupla camada de sílica nas células foliares (PEI et al., 2010), promovendo assim, maior resistência a perda de água pelas lâminas foliares (MA; YAMAJI, 2015).

Cassol et al. (2021), estudando três condições hídricas do solo (50 e 100% da capacidade de retenção de água no solo (CRA) e lâmina d'água de 5,0 cm), duas cultivares de arroz (IRGA 424 RI e Guri INTA CL), duas fontes de silício (metassilicato de sódio e metassilicato de potássio) e quatro doses de silício (0; 4,0; 8,0 e 16 g L<sup>-1</sup>), observaram que a clorofila a e b, a área foliar e a massa seca da parte aérea e da raiz aumentaram com as maiores doses de silício nos três regimes de água no solo.

Gama (2018), trabalhando com três lâminas de irrigação (100, 50 e 0 % da irrigação total necessária para a cultura) e duas doses de silício (0 e 5 mM) via foliar 25 dias após a semeadura do trigo, observaram que não houve diferença no crescimento de plântulas do trigo, no comprimento e na matéria seca da parte aérea. Da mesma maneira, Silva et al. (2019), trabalhando com as cultivares 7110 e 8473 de soja sob déficit hídrico também não observaram diferença e, concluíram que o silício não aumentou a quantidade de peso seco dos órgãos das plantas soja e que o silício induziu somente as plantas sob 100% da CC aumentando as massas secas das folhas, caules e raízes e massa seca total da planta.

Leite et al. (2020), aplicando três doses de silicato de cálcio e magnésio para três cortes do capim-mombaça, observaram que a aplicação do silicato não foi capaz de modificar a altura da planta, o número de perfilhos, a área foliar específica, a massa de forragem, a massa de folha, a massa de caule, a massa de matéria morta e a massa de raiz. Os autores concluíram que com o solo estudado (Neossolo Quartzarênico), a aplicação de silicato não é recomendada para aumentar a produtividade do capim-mombaça, mas

estudos semelhantes de longo prazo são necessários em solos com baixos teores de Ca e Mg.

A interação corretivos de acidez x déficit hídrico não foi significativa para a concentração de silício nas folhas diagnósticas em todos os cortes (Quadro 8). Os corretivos de acidez influenciaram a concentração de silício apenas para o primeiro corte, sendo as maiores concentrações obtidas com o uso do calcário.

Quadro 8. Concentração de silício nas folhas diagnóstica do capim-ipyorã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Silício (g kg <sup>-1</sup> )		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	1,4 a	1,0 a	1,0 a
<b>Silicato</b>	1,1 b	1,0 a	1,0 a
<b>DMS</b>	0,16	0,03	0,04
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	1,4 <sup>(1)</sup>	-	-
<b>40</b>	1,3	-	-
<b>50</b>	1,2	1,0 a	1,0 a
<b>60</b>	1,1	1,0 a	1,0 a
<b>70</b>	1,0	1,0 a	1,0 a
<b>CV (%)</b>	20,32	3,81	4,56
<b>DMS</b>	-	0,05	0,06
<b>Média Geral</b>	1,2	1,00	1,0

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

<sup>(1)</sup> Silício = 1,7053 - 0,0097

R<sup>2</sup> = 0,99.

Com relação ao regime hídrico, no primeiro corte, à medida que aumentaram as reposições de água baseadas nas CC, diminuíram a concentração de silício, para o segundo e terceiro cortes, não ocorreu diferença significativa entre as CC.

A menor concentração de silício com o aumento de reposição hídrica, deve-se ao efeito diluição, pois as plantas tiveram maior MPSA (Quadros 5 e 6), ou seja, sendo este efeito caracterizado quando a taxa de crescimento relativo de massa seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente.

A interação corretivos de acidez x regime hídrico foi significativa para o valor SPAD somente para o primeiro corte (Quadros 9 e 10). Para o segundo e terceiro cortes os corretivos de acidez não influenciaram os valores SPAD. O regime hídrico influenciou os valores SPAD para o segundo corte, sendo o maior valor obtido com 70% da CC.

Quadro 9. Valor SPAD do capim-ipyoporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Valor SPAD		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	33,58	36,74 a	42,21 a
<b>Silicato</b>	35,76	36,87 a	40,57 a
<b>DMS</b>	2,23	4,66	3,35
<b>Regime hídrico (%CC)</b>			
<b>30</b>	21,31	-	-
<b>40</b>	30,12	-	-
<b>50</b>	38,11	31,61 b	40,42 a
<b>60</b>	37,60	35,60 b	40,70 a
<b>70</b>	46,21	43,22 a	43,05 a
<b>CV (%)</b>	9,92	14,58	9,33
<b>DMS</b>	-	6,97	5,01
<b>Média Geral</b>	34,67	36,81	41,39

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao desdobramento da interação dos corretivos x déficit hídrico para o valor SPAD do primeiro corte, o maior valor SPAD foi quando se utilizou calcário (29,20) comparado ao silicato (13,42) para 30% da CC, já para 70% da CC foi o inverso, sendo o valor SPAD maior quando se utilizou o silicato (49,55) comparado ao calcário (42,87) e para as demais CC, os valores SPAD não foram significativos. Tanto para o calcário quanto para o silicato, à medida que aumentaram as CC, aumentaram os valores SPAD (Quadro 10).

Em condições de estresse (estresse hídrico) pode promover redução na fotossíntese líquida. Este efeito é geralmente associado a uma limitada capacidade de síntese e maior degradação de clorofilas totais, clorofila a e clorofila b, indicando que sob estresse as plantas parecem necessitar de rotas alternativas de dissipação de energia a fim de evitar problemas de fotoinibição e fotoxidação (MARQUES, 2009).

Quadro 10. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato) com controle hídrico baseado na capacidade de campo (CC) para o valor SPAD do capim-ipyporã referente ao primeiro corte

Déficit hídrico (% CC)	Valor SPAD	
	Corretivos de acidez	
	Calcário	Silicato
<b>30</b>	29,20 a <sup>(1)</sup>	13,42 b <sup>(2)</sup>
<b>40</b>	32,07 a	28,17 a
<b>50</b>	38,25 a	37,97 a
<b>60</b>	36,40 a	38,80 a
<b>70</b>	42,87 b	49,55 a
<b>DMS</b>	4,98	

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>(1)</sup> SPAD calcário=  $19,9225 + 0,167x$  ( $R^2 = 0,88$ );

<sup>(2)</sup> SPAD silicato=  $-7,8525 + 0,8287x$  ( $R^2 = 0,93$ ).

Moro, Broetto e Moro (2015), estudando quatro potenciais mátricos de água no solo (-10, -30, -50 e -70 kPa) combinadas com dois corretivos da acidez do solo (calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio) para dois cultivares de arroz, observaram que os valores de clorofila a e b foram menores com o estresse hídrico, diminuindo os pigmentos foliares, corroborando com o presente trabalho.

Os resultados observados por Bonfim-Silva et al. (2011) quando trabalharam com o desenvolvimento inicial de plantas de milho, sorgo e milheto corroboram com os do presente trabalho, onde os autores observaram que ambas as plantas apresentam maior desenvolvimento inicial na disponibilidade hídrica de 60% da CC, proporcionando também maior leitura no valor SPAD.

Estudo feito com a cultura do tomate submetido ao estresse hídrico e doses de silicato de potássio (0, 25, 50, 75 e 100 ml L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), diferentemente do presente trabalho, comprovaram a eficácia do silício no aumento dos teores de clorofila (NUNES et al., 2019). Para a cultura do trigo, os autores Gong et al. (2005), também observaram resultados diferentes do presente trabalho, onde os mesmos trabalharam com três tratamentos (controle, 2,11 mmol de sulfato de sódio kg<sup>-1</sup> solo), (seca, 2,11 mmol de sulfato de sódio kg<sup>-1</sup> solo) e (seca + silício, 2,11 mmol de silicato de sódio kg<sup>-1</sup> solo) e o estresse hídrico foi aplicado mantendo 75% do conteúdo relativo de água no solo e 50% do conteúdo relativo de água nos tratamentos de seca por 12 dias, observaram que o silício

aplicado no solo aumentou significativamente o teor de pigmentos fotossintéticos nas folhas das plantas em condições de deficiência hídrica.

De acordo com Silva et al. (2011), trabalhando com reposições hídricas (30, 60% da CC e alagado) e gramíneas (milho, sorgo e milheto), observaram que o milho, o sorgo e o milheto apresentaram desenvolvimento inicial maior na disponibilidade hídrica de 60% da CC, sendo essa a CC que proporcionou maior leitura no valor SPAD. Porém, o sorgo apresentou maior tolerância ao alagamento e ao déficit hídrico, diferentemente do milho que é sensível a essas duas condições e, o milheto foi tolerante apenas ao déficit hídrico.

O nível hídrico da planta estabelece uma relação direta entre seus aspectos fisiológicos e suas capacidades de desenvolvimento e crescimento. A falta de água a longo prazo reduziria o conteúdo de água do mesófilo. No entanto, esses dados revelam que essa espécie possui capacidade de ajuste osmótico para manter a água nos tecidos vegetais, de forma que a planta pode tolerar certo nível de escassez de água (SILVA et al., 2018). Onde justifica-se que independentemente dos corretivos trabalhados, não ocorreram resultados significativos quando a capacidades de campo era extremamente baixa (30 e 40% da CC).

A interação dos corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico foi significativa para as PT para o segundo e terceiros cortes (Quadros 11 e 12). Os corretivos de acidez influenciaram as proteínas totais para o primeiro corte, o silicato proporcionou menor quantidade de proteínas totais (1,13 UAE por mg de proteína), enquanto o calcário produziu (2,16 UAE por mg de proteína). A quantidade de PT também foi influenciada pelo déficit hídrico. Observou-se maior quantidade com 60 e 70% da CC, respectivamente (1,80 e 1,77 UAE por mg de proteína) (Quadro 12).

Para o desdobramento da interação corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico do segundo e terceiro cortes para as proteínas totais (Quadro 12), para o segundo corte, o silicato proporcionou maior quantidade de proteínas totais (5,23 UAE por mg de proteína) em relação ao calcário (3,29 UAE por mg de proteína) com 50% da CC, já para 60 e 70% da CC os valores foram semelhantes. Para o calcário, as CC não interferiram nas PT, enquanto para o silicato, as PT foram maiores com 50% da CC.

Para o terceiro corte, observou-se que os corretivos não diferiram entre si em nenhuma das CC, contudo, o calcário obteve maior quantidade de PT na CC de 70% e menor na CC de 60. Quando utilizou o silicato, as PT não diferiram para as CC (Quadro 12).

Quadro 11. Proteínas totais (PT) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Proteínas Totais (PT) UAE por mg de proteína		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	2,16 a	2,84	9,09
<b>Silicato</b>	1,13 b	3,62	7,70
<b>DMS</b>	0,24	0,66	0,70
Regime hídrico (% CC)			
<b>50</b>	1,36 b	4,26	8,36
<b>60</b>	1,80 a	2,41	8,26
<b>70</b>	1,77 a	3,02	8,56
<b>DMS</b>	0,35	0,97	1,03
<b>CV (%)</b>	30,36	33,11	17,76
<b>Média Geral</b>	1,64	3,23	8,39

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 12. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para as proteínas totais (PT) do capim-ipyporã referente ao segundo e terceiro cortes

Déficit hídrico (% CC)	Proteínas Totais (UAE por mg de proteína)			
	Corretivos de acidez		Calcário	Silicato
	Calcário	Silicato		
	1º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	3,29 Ba	5,23 Aa	8,71 Aab	8,00 Aa
<b>60</b>	2,23 Aa	2,59 Ab	8,50 Ab	8,00 Aa
<b>70</b>	3,02 Aa	3,03 Ab	10,05 Aa	7,07 Aa
<b>DMS</b>	1,14 (linha)/1,37 (coluna)		2 (linha)/1,47 (coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo Piza, Lima e Brasil (2003), o decréscimo no conteúdo de proteína pode refletir retardamento na síntese protéica ou aceleração na sua degradação, levando ao aumento na quantidade de aminoácidos livres ou à inibição da incorporação destes aminoácidos nas proteínas.

Souza (2019) avaliou a cultura do mamoeiro submetido a regimes hídricos (20, 40, 60 e 80% da CC) e tratamentos com silicato de potássio em concentrações de (0; 1,5

e 2,5 mL L<sup>-1</sup>) e observou que a quantidade de PT não foi significativa para os regimes hídricos, entretanto com os tratamentos com 1,5 mL L<sup>-1</sup> e 2,5 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio ocorreu aumento de PT nas lâminas de 20 e 40% da CC, concluindo que o déficit hídrico proporcionou aumento significativo na quantidade de PT durante o ajuste osmótico.

Para os desdobramentos da interação dos corretivos x déficit hídrico para a GLU para o primeiro corte, com 60% da CC, o uso do calcário proporcionou maior quantidade de GLU (0,19 UAE por mg de proteína) do que o silicato (0,07 UAE por mg de proteína), no entanto para 50% e 70% da CC a GLU foram iguais com o uso desses dois corretivos. Em relação ao déficit hídrico com o uso de calcário, não houve diferença significativa, já para o silicato, observou-se maior valor de GLU com 70% da CC, quando comparadas com 50 e 60% da CC (Quadro 13).

Quadro 13. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato) com déficit hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da enzima glucanase (GLU) do capim-ipyporã referente ao primeiro corte

Regime hídrico (% CC)	GLU (UAE por mg de proteína)					
	Corretivos de acidez					
	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
	1º Corte		2º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	0,16 Aa	0,12 Aab	0,06 Ab	0,08 Ab	0,01 Ba	0,02 Aa
<b>60</b>	0,19 Aa	0,07 Bb	0,10 Aa	0,10 Aab	0,01 Aa	0,008 Bb
<b>70</b>	0,13 Aa	0,16 Aa	0,06 Bb	0,14 Aa	0,01 Aa	0,007Bb
<b>DMS</b>	0,05(linha)/0,06(coluna)		0,03(linha)/0,04(coluna)		0,003(linha)/0,004(coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os desdobramentos da interação dos corretivos x déficit hídrico para a GLU no segundo corte, com 70% da CC, o uso silicato proporcionou maior GLU do que o calcário. Contudo, para 50 e 60% da CC as atividades de GLU foram semelhantes com o uso desses dois corretivos. Para o déficit hídrico com o uso de calcário, observou-se maior atividade de GLU com 60% da CC quando comparada a 50 e 70% da CC, já para o silicato os maiores valores de GLU foram com 60 e 70% da CC ao comparar com 50% da CC (Quadro 13).

A atividade da GLU do capim-ipyporã no terceiro corte foi maior com 50% da CC e menor com 60 e 70% da CC, quando utilizado o silicato. Com a utilização de calcário para as CC não houve diferença significativa, entretanto, para o silicato, a maior atividade de GLU foi com 50% da CC (Quadro 13).

Lima et al. (2020), ao trabalharem com tomate e utilização de indutores de resistência (Acibenzolar-S-metil ASM) ao estresse hídrico com solo esterilizado e não esterilizado, observaram que o indutor de resistência foi capaz de atuar sobre o estresse hídrico, ativando a atividade enzimática da peroxidase, polifenoloxidase, fenilalanina amônialiase e glucanase em tomateiros.

A interação dos corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico foi significativa para a atividade da GPX para o primeiro e terceiro cortes (Quadros 14 e 15). Para o segundo corte, os corretivos de acidez não influenciaram a atividade da GPX, no entanto, para o regime hídrico, o maior valor de GPX foi obtido com 60% da CC (Quadro 14).

Quadro 14. Atividade da guaiacol peroxidase (GPX) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Guaiacol Peroxidase (GPX) UAE por mg de proteína		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	0,45	0,15 a	0,06
<b>Silicato</b>	0,10	0,16 a	0,009
<b>DMS</b>	0,05	0,03	0,007
<b>Regime hídrico (% CC)</b>			
<b>50</b>	0,37	0,14 b	0,05
<b>60</b>	0,24	0,19 a	0,04
<b>70</b>	0,31	0,13 b	0,02
<b>DMS</b>	0,07	0,05	0,01
<b>CV (%)</b>	34,36	43,25	31,48
<b>Média Geral</b>	0,27	0,15	0,04

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No primeiro corte, independente da CC, o uso de calcário proporcionou maiores quantidades de GPX, enquanto para os corretivos dentro das CC, o calcário e silicato obtiveram os maiores valores com 50% da CC (Quadro 15).

No terceiro corte também foi observado que independente da CC, o uso de calcário proporcionou maior atividade da GPX do que o silicato. O uso de silicato não diferiu significativamente as quantidades de GPX dentro das CC, entretanto, com o uso de calcário com 50 e 60% da CC as atividades da GPX foram maiores (Quadro 15).

Quadro 15. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da guaiacol peroxidase (GPX) do capim-ipyporã referente ao primeiro e terceiro cortes

Déficit hídrico (% CC)	GPX (UAE por mg de proteína)			
	Corretivos de acidez			
	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
	1º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	0,58 Aa	0,15 Ba	0,10 Aa	0,01 Ba
<b>60</b>	0,41 Ab	0,07 Bb	0,08 Aa	0,005 Bb
<b>70</b>	0,36 Ab	0,07 Bb	0,03 Ab	0,008 Bb
<b>DMS</b>	0,08 (linha)/0,09 (coluna)		0,01 (linha)/0,01 (coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas que receberam calcário e as que estavam submetidas a reposição hídrica em 50% da CC tiveram os maiores valores de GPX, demonstrando estarem mais estressadas.

O estresse causado pela menor reposição de água tem sido amplamente estudado, onde o mesmo causa estresse oxidativo em plantas, induzido por excesso de produção de EROs, como radicais superóxidos ( $O_2^-$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e estas EROs também podem danificar lipídios de membrana essenciais como proteínas e ácidos nucleicos de células. Entretanto, o  $H_2O_2$  é tóxico e também devem ser eliminados através da conversão em  $H_2O$  em reações subsequentes envolvendo CAT, ascorbato peroxidase (APX), GPX e peroxidase, que regula os níveis de  $H_2O_2$  nas plantas (ZHANG et al., 2017), corroborando com o presente trabalho, onde foi observado que as plantas que receberam menor quantidade de água, ou seja, estavam estressadas pela falta de água, tiveram os maiores valores de GPX.

De acordo com Foyer e Noctor (2003), a GPX e o ácido ascórbico estão envolvidos na eliminação direta de  $H_2O_2$ , sendo que a primeiro atua no citoplasma, vacúolos e paredes celulares e o segundo nas organelas que necessitam de desintoxicação. De acordo com os resultados observados, a alta atividade em condições de menor reposição hídrica pode estar relacionada à utilização massiva do  $H_2O_2$ , logo a GPX será a principal enzima para a decomposição do  $H_2O_2$  por estar localizado na parede celular (BAZZO et al., 2011).

A SOD do primeiro corte foi maior com a utilização do calcário quando comparado ao silicato independente da CC. Em relação as reposições hídricas a SOD, para o calcário foi maior com 60 e 70% da CC (19,21 e 17,82 UAE por mg de proteína), respectivamente, sendo a de 50% da CC a de menor valor (9,91 UAE por mg de proteína). Com o uso do silicato o maior valor de SOD foi com 70% da CC (8,95 UAE por mg de proteína) quando comparadas com as 50 e 60% da CC (5,16 e 6,85 UAE por mg de proteína), respectivamente (Quadro 16).

Quadro 16. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da superóxido dismutase (SOD) do capim-ipyporã referente ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Regime hídrico (% CC)	Superóxido dismutase (UAE por mg de proteína)					
	Corretivos de acidez					
	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
	1º Corte		2º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	9,91 Ab	5,16 Bb	16,13 Aa	13,72 Aa	20,35 Ab	16,30 Aa
<b>60</b>	19,21 Aa	6,85 Bb	12,05 Bb	16,20 Aa	21,28 Ab	12,28 Ba
<b>70</b>	17,82 Aa	8,95 Ba	12,62 Ab	14,90 Aa	34,19 Aa	9,62 Ba
<b>DMS</b>	1,48(linha)/1,78(coluna)		3,35(linha)/4,03(coluna)		6,91(linha)/8,32(coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A atividade da SOD do capim-ipyporã referente ao segundo corte para os corretivos, diferiram apenas de 60% da CC, onde o silicato (16,20 UAE por mg de proteína) apresentou maior atividade quando comparada com o calcário (12,05 UAE por mg de proteína). Para o calcário, o déficit hídrico em relação à atividade da SOD foi maior com 50% da CC em comparação com 60 e 70% da CC, já para o silicato não houve diferença significativa entre as CC (Quadro 16).

A atividade da SOD do capim-ipyporã referente ao terceiro corte diferiu apenas com 60 e 70% da CC, sendo que o calcário apresentou maior atividade de SOD. A maior atividade de SOD foi obtida com a de 70% CC para o calcário e não teve diferença significativa entre as CC para o silicato (Quadro 16).

A SOD e CAT são considerados as enzimas antioxidantes mais eficazes. Ambos têm funções comuns e correlatas, a CAT atua no H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, que é derivado da função da atividade da SOD, e o transforma em H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> (SCANDALIOS, 1993; BARBOSA et

al., 2014, CORRÊA, 2019), neste sentido as plantas que receberam o silicato aparentemente estariam menos estressadas pela menor quantidade de SOD produzida.

Gong et al. (2005), trabalhando com três tratamentos (controle; 2,11 mmol de sulfato de sódio kg<sup>-1</sup> solo), (seca; 2,11 mmol de sulfato de sódio kg<sup>-1</sup> solo) e (seca + silício, 2,11 mmol de silicato de sódio kg<sup>-1</sup> solo) e estresse hídrico aplicado mantendo 75% do conteúdo relativo de água no solo e 50% do conteúdo relativo de água nos tratamentos de seca por 12 dias para a cultura do trigo, observaram que a aplicação de silício aumentou as atividades de algumas enzimas antioxidantes: SOD, CAT e glutationa redutase (GR), e o estresse oxidativo das proteínas foi diminuído pela aplicação de silício em comparação com os tratamentos sem silício sob seca, diferentemente dos resultados do presente trabalho. Os autores concluíram ainda que a melhoria do silício na tolerância à seca das plantas de trigo estava associada ao aumento das habilidades de defesa antioxidante, aliviando, portanto, o dano oxidativo das moléculas funcionais celulares induzidas por EROs superproduzidas durante a seca e mantendo muitos processos fisiológicos de plantas estressadas.

Schmidt, Zhang e Chalmers (1999), estudando silicato de potássio sob baixo regime hídrico para gramado (*Agrostis palustris* Huds. A.), observaram que o silício aumentou a atividade da enzima SOD, aumentou a capacidade fotossintética e aumentou o conteúdo de clorofila, sendo que a maior concentração de SOD em plantas fertilizadas com silício parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse.

Moro (2012), estudando quatro potenciais mátricos de água no solo (-10, -30, -50 e -70 kPa) combinadas com dois corretivos da acidez do solo (calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio) para dois cultivares de arroz, observou que o silício proporcionou aumento da atividade enzimática da SOD e CAT e os regimes hídricos causaram aumento no decorrer das coletas das atividades enzimáticas da SOD e da CAT, e diminuição nas maiores tensões, a POD e a APx não apresentaram diferenças significativas com maiores tensões de água.

A interação dos corretivos de acidez  $\times$  déficit hídrico foi significativa para a atividade da CAT para o primeiro e terceiro cortes (Quadros 17 e 18). Para o segundo corte, a atividade da CAT não teve diferença com os corretivos de acidez e com 60% da CC (2,55 UAE por mg de proteína) e 70% da CC (2,80 UAE por mg de proteína) apresentaram as maiores atividades de CAT quando comparada com 50% da CC (1,59 UAE por mg de proteína).

Quadro 17. Atividade da catalase (CAT) do capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) sob regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Corretivos de acidez	Catalase (CAT) UAE por mg de proteína		
	1º Corte	2º Corte	3º Corte
<b>Calcário</b>	1,86	2,22 a	0,20
<b>Silicato</b>	5,85	2,41 a	1,04
<b>DMS</b>	0,44	0,43	0,10
<b>Regime hídrico (% CC)</b>			
<b>50</b>	4,13	1,59 b	0,69
<b>60</b>	3,70	2,55 a	0,48
<b>70</b>	3,74	2,80 a	0,69
<b>DMS</b>	0,64	0,63	0,15
<b>CV (%)</b>	24,00	39,03	35,23
<b>Média Geral</b>	5,25	2,32	0,62

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o primeiro corte, os valores de CAT foram maiores quando se utilizou o silicato quando comparados ao silicato para todas as CC. Quando se utilizou o calcário foi observado maior valor de CAT para 60% da CC quando comparado a 50% da CC e não diferindo de 70% da CC, por outro lado para o silicato, o maior valor de CAT foi para 50% da CC, seguido de 70 e 60% da CC (Quadro 18).

Quadro 18. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a atividade da enzima catalase (CAT) do capim-ipyporã referente ao primeiro e terceiro cortes

Déficit hídrico (% CC)	Catalase (UAE por mg de proteína)			
	Corretivos de acidez		Calcário	Silicato
	Calcário	Silicato		
	1º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	1,02 Bb	7,24 Aa	0,21 Ba	0,18 Aa
<b>60</b>	2,72 Ba	4,69 Ac	0,16 Ba	0,80 Ab
<b>70</b>	1,85 Bab	5,63 Ab	0,24 Ba	1,14 Aa
<b>DMS</b>	0,91 (linha)/1,25 (coluna)		0,18 (linha)/0,22 (coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação a CAT do terceiro corte, o uso de silicato apresentou maiores atividades do que o calcário em todas as CC. O déficit hídrico para o calcário não foi significativo em nenhuma da CC. O silicato teve diferenças significativas, onde 50 e 70% da CC obtiveram maiores atividades de CAT do que 60% da CC (Quadro 18).

A CAT é uma das principais enzimas para eliminar o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> produzido durante a fotorrespiração e β-oxidação de ácidos graxos. Atua nos peroxissomos e glioxilatos, e também pode ser encontrada nas mitocôndrias. Ela converte duas moléculas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>O e oxigênio molecular. As plantas têm várias isoformas de CAT, elas podem se decompor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> direto ou oxidação de substratos como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (BARBOSA et al., 2014). De acordo com DUBEY (2011), a atividade da CAT é efetiva, diretamente, em concentrações altas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mM), por isso são consideradas extremamente importantes para a desintoxicação de EROs, especialmente em condições de estresse severo, como o de déficit hídricos e salinos, quando os níveis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> estão maiores.

De acordo com Viana et al. (2001), trabalhando com a cultura do milho e níveis de déficit hídrico (-0,010 MPa (100% água disponível total, ADT), -0,024 MPa (80% ADT), -0,048 MPa (65% ADT), e -0,10 MPa (50% ADT)), não obtiveram resultados significativos para as atividades da CAT e GPX nos níveis de déficit hídrico. Como justificativa, os autores ressaltam que a variedade utilizada é de uma linhagem tolerante à seca e que a mesma, para induzir os mecanismos de defesa antioxidantes, provavelmente precisaria passar por estresse hídrico mais drástico, correspondendo a valores abaixo de 50% da CC.

Zhang et al. (2017), trabalhando com silício na forma de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> para sementes de *Glycyrrhiza uralensis* na mitigação do estresse hídrico e salino, observaram que a SOD e o POD aumentaram significativamente sob tensões de seca combinadas com sal (NaCl-10% PEG e NaCl - 20% PEG) em comparação com o controle e, a CAT e as atividades de APX aumentaram sob NaCl - 20% PEG quando o silício estava ausente. Esses resultados confirmam que estresses abióticos podem alterar as atividades enzimáticas antioxidantes e o silício contribui significativamente para minimização dos efeitos estressantes do sal e da seca nas mudas de *Glycyrrhiza uralensis*, alterando o metabolismo antioxidante e osmótico.

A PxL no primeiro corte foi maior para o calcário (5,60 UAE por mg de proteína) quando comparada ao silicato (2,94 UAE por mg de proteína) para 60% da CC, no entanto para as demais CC os valores foram semelhantes (Quadro 19).

Quadro 19. Desdobramento da interação corretivos de acidez (calcário e silicato de cálcio e magnésio) com regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) para a peroxidação lipídica (PxL) do capim-ipyporã referente ao primeiro, segundo e terceiro cortes

Regime hídrico (% CC)	Peroxidação lipídica (UAE por mg de proteína)					
	Corretivos de acidez					
	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
	1º Corte		2º Corte		3º Corte	
<b>50</b>	2,22 Ab	2,97 Aa	0,66 Ba	2,02 Ab	0,15 Aab	0,15 Aa
<b>60</b>	5,60 Aa	2,94 Ba	1,24 Ba	3,73 Aa	0,15 Ab	0,09 Bb
<b>70</b>	3,27 Ab	4,00 Aa	0,91 Ba	3,68 Aa	0,20 Aa	0,09 Bb
<b>DMS</b>	1,04(linha)/1,25(coluna)		0,87(linha)/1,05(coluna)		0,04(linha)/0,05(coluna)	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A PxL no segundo corte para todas as CC foi maior com o uso de silicato. Quando utilizou o calcário não teve diferença significativa entre as CC, já para o silicato com 60 e 70% da CC apresentaram os maiores valores de PxL (Quadro 19).

A atividade da PxL foi maior com o calcário do que o silicato para 60 e 70% da CC, não diferindo entre calcário e silicato para 50% da CC para o terceiro corte. O déficit hídrico para o calcário diferiu entre si nas quantidades de PxL, onde com 70% da CC apresentou maior valor de PxL em comparação com 50 e 60% da CC. Enquanto para o silicato, a maior atividade de PxL foi com 50% da CC em comparação com 60 e 70% da CC (Quadro 19).

Mediante o fechamento estomático, ocorre a queda nas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> e de manutenção das taxas de transporte de elétrons e conseqüentemente, pode gerar sobrecarga de energia no sistema fotoquímico das plantas, resultando na produção de EROs (WAHID et al, 2007). Essa elevação nas quantidades de EROs ocasionam injúrias severas, como desintegração das clorofilas, fragmentação do DNA, extravasamento dos íons, modificações nas proteínas, aumento da PxL e, finalmente, morte das células (MOLLER; JENSEN; HANSSON, 2007). As EROs também podem danificar diretamente certos componentes celulares, como as membranas lipídicas e fotossistema II (KIM et al., 2017).

Brandão et al. (2016), estudando 6 clones de *Coffea canéfora* (clone 14, clone 22, A1, 8V, 8P e 30P) que passaram por um período de déficit hídrico controlado, observaram que todas as linhagens estudadas apresentaram taxas de estresse oxidativo ao sofrerem

déficit hídrico, e após a retomada da irrigação apresentam menores quantidades de  $H_2O_2$  e PxL.

Corrêa (2019) reportou que o uso do silício contribuiu de maneira significativa para redução da PxL das membranas e aumento na atividade de enzimas antioxidantes em plantas de tomate submetidas ao déficit hídrico controlado, diferentemente dos resultados observados nesse trabalho.

Cassol et al. (2021), ao avaliarem a produção de duas cultivares de arroz sob regimes hídricos e a aplicação de fontes e doses de silício, verificaram aumento na atividade das enzimas SOD e GPX nas cultivares estudadas à medida que as doses de silício aumentaram, diminuindo a PxL, causada pela restrição hídrica e concluíram que o silício atenua o estresse por déficit hídrico em plantas de arroz.

## 5. CONCLUSÕES

O silicato de cálcio e magnésio para alguns cortes propiciou maior número de perfilhos, folhas, altura de plantas e MSPA, assim como reduziu a atividade das enzimas relacionadas ao estresse oxidativo. Apesar da concentração foliar de silício não diferir entre os corretivos de acidez, o silício conferiu maior tolerância ao estresse hídrico às plantas do capim-ipyporã.

As reposições de água baseadas em 60 e 70% da CC foram as que promoveram os maiores valores das características agronômicas da forrageira, mesmo com valores divergentes entre os cortes com relação à atividade das enzimas.

Neste sentido, mais estudos a campo são necessários para comprovar o efeito benéfico do silício em reduzir danos causados pelo estresse hídrico em gramíneas forrageiras.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEBI, H. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology**, v. 105, p. 121-126, 1984.
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.
- BARBOSA, M. R.; MEDEIROS A. S. M.; WILLADINO L.; ULISSES C.; RANGEL C. T. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BAZZO, B. R.; LAAT, D.; LIMA, P. F.; COLOMBO, C. **Atividade das enzimas guaiacol peroxidase e ascorbato peroxidase em duas variedades de *Coffea arabica* L.** submetidas ao estresse induzido por alumínio. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 22 a 25 de Agosto de 2011, Araxá – MG.
- BERTOLDO, E.; E MAZARO, S. M.  $\beta$ -1,3 Glucanases: uma revisão sob a ótica da defesa vegetal. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2018.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.
- BRACHT, A.; ISHII-IWAMOTO, E. L. **Métodos de laboratório em Bioquímica**, v.1, Manole, 2003.
- BRADFORD, M. M. A rapid e sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 7, n. 72, p. 248-254, 1976.
- BRANDÃO, R.; RODRIGUES, G. C.; VEIGA, A. D.; BARTHOLO, G. F.; MARRACCINI, P.; FREITAS, T.; MATOS, N. M. S.; LOPES A.; CARVALHO, M. **Estresse oxidativo de plantas de *Coffea canephora* em condições de cerrado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42., 2016, Serra Negra, SP. Produzir mais café, com economia, só com boa tecnologia. Serra Negra: Fundação Procafé, 2016.
- CAMARGO, M. S. **Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. informações agronômicas.** Publicação trimestral gratuita do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil, n. 155, p. 1-9, 2016.
- CAMARGO, M. S. Silício auxilia as plantas na defesa contra os estresses ambientais. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 1-4, 2017.
- CAMARGO, M. S.; ROCHA, G.; KORNDÖRFER, G. H. Silicate fertilization of tropical soils: silicon availability and recovery index of sugar cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 602-612, 2013.

CASSOL, J. C.; SPONCHIADO, D.; DORNELLES, S. H. B.; TABALDI, L. A.; BARRETO, E. P. M.; PIVETTA, M.; LOPES, S. J. Silicon as an attenuator of drought stress in plants of *Oryza sativa* L. treated with dietholate. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 4, p.1061-1072, 2021.

CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? **Frontiers in Plant Science**, v. 9. p.281, 2018.

CORREIA, C. V. **Aplicação de silício em plantas de tomate cultivar micro-tom sob déficit hídrico**. 2019. 112f. Tese (Doutorado em Agricultura – Programa de Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, Botucatu. 2019.

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.

DUBEY, R.S. **Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants**. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: Science Publishers, 2011. Chap.9, p.178-203.

ECHEVERRIA, J. R.; EUCLIDES, V. P. B.; SBRISSIA, A. F. Acúmulo de forragem e valor nutritivo do híbrido de *Urochloa* 'BRS RB331 Ipyporã' sob pastejo intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 7, p.880-889, 2016.

ETESAMIA, H.; JEONGB, B. R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, n. 147, p. 881-896, 2018.

FAROOQ, M. A.; KARL-JOSEF, D. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 994, p. 1-14, 2015.

FATIMA, R. T.; JESUS, E. G.; GUERRERO, A. C.; ROCHA, J. L. A.; BRITO, M. E. B. Adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e trocas gasosas do alface. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 170-179, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p.109-112, 2014.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v. 119, n. 119, p. 355-364, 2003.

FORTES, C. A.; PINTO, J. C.; NETO, A. E. F.; MORAIS, A. R.; EVANGELISTA, A. R.; SOUZA, R. M. Level of calcium and magnesium silicate in the yield of Marandu grass and Tanzania grass cultivated in one Quartsandy Neosoil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 267-274, 2008.

GAMA G. F. V. **Déficit hídrico e silício na qualidade de sementes de trigo**. 2018. 61f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2018.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GOMES-JÚNIOR, R.A.; MOLDES, C. A.; DELITE, F. S.; POMPEU, B.; GRATÃO, P. L.; MAZZAFERA, P.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Antioxidant metabolism of coffee cell suspension cultures in response to cadmium. **Chemosphere**, v. 65, n. 8, p. 1330-1337, 2006.

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.

KIM, Y-H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; LEE, I-J. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 510, 2017.

KORNDÖRFER, G.H. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 39 p, 2004. (Boletim Técnico, 02).

LEITE, R. C.; OLIVEIRA, A. K. L.; SANTOS, D. V.; LEITE, R. C.; SANTOS, A. C. Calcium and magnesium silicate in the production of Mombasa grass. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 7, n. 3, p. 1-8, 2020.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 147, n.2, p. 422-428, 2007.

LIMA, L. D.; BARBOSA, J. M. P.; MEDEIROS, M. B. C. L.; OLIVEIRA, M.; CARVALHO, J. S. B.; MOREIRA, K. A. Avaliação bioquímica e fisiológica em tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*) submetida ao indutor de resistência acibenzolar-s-metil. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 4, p. 2374-2393, 2020.

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperated system of silicon transport in plants. **Trends of Plant Science**, v. 20, n.7, p. 435-442, 2015.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MARQUES, D. J. **Estresse mineral induzido por fertilizantes potássicos em plantas de berinjela (*Solanum melogena L.*) e seu efeito sobre parâmetros agronômicos e metabólicos**. 2009. 168f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Botucatu. 2009.

MARQUES, M. R.; XAVIER-FILHO, J. Enzymatic and inhibitory activities of cashew tree gum exudate. **Phytochemistry**, v. 30, n. 5, p. 1431-1433, 1991.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; SILVA, J. C.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1297-1306, 2008.

MELO, V. **Precipitação necessária para reação do calcário para implantação do capim BRS Ipyporã**. TCC (graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2020.

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.

MEHARG, C.; MEHARG A. A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? **Environmental and Experimental Botany**, v. 120, p. 8-17, 2015.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MURAOKA, T.; MELO, W.J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Distrito Federal, p.191-234, 2009.

MITANI, N.; CHIBA, Y.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification and characterization of maize and barley Isi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. **The Plant Cell**, v. 21, n. 7, p. 2133-2142, 2009.

MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, n.1, p. 459-481, 2007.

MORO, A. L. **Relação entre silício e deficiência hídrica sobre os aspectos bioquímicos e fisiológicos no arroz**. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual de São Paulo, Campus de Botucatu, Botucatu, 2012.

MORO, A. L.; BROETTO, F.; MORO, E. Relação hídrica e teor de clorofila em dois cultivares de arroz submetido à deficiência hídrica e adubação silicatada. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 570-586, 2015.

NEUMAM, D.; NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. **Phytochemistry**, v. 56, n. 7, p. 685-693, 2001.

NUNES, A. M. C.; NUNES, L. R. L.; RODRIGUES, A. J. O.; UCHÔA, K. S. A. Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 239, 2019.

PATÊS, N. M. D. S.; PIRES, A. J. V.; SILVA, C. C. F. D.; SANTOS, L. C.; CARVALHO, G. G. P. D.; FREIRE, M. A. L. Morphogenetic and structural characteristics of tanzaniagrass submitted to phosphorus and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1736-1741, 2007.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 772-807.

PEI, Z. F.; MING, D. F.; LIU, D.; WAN, G. L.; GENG, X. X.; GONG, H. 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, n. 1, p.106-115, 2010.

PIZA, I. M. T.; LIMA, G. P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 361-366, 2003.

PUTTER, J. Peroxidase. In: BERGMAYER, H. U. (ed.). **Methods of Enzymatic Analysis**. Verlag Chemie: Weinhan, 1974.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDORFER, A. P.; KORNDORFER G. H. **Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas**. Informações Agronômicas, n. 134 – junho/2011. p. 14.

SAEKI, K.; IWATA, J.; YAMAZAKI, S.; WATANABE, Y.; TAMAI, Y. Purification and characterization of a yeast lytic  $\beta$ -1,3-glucanase from *Oerskovia xanthineolytica* TK-1. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 78, p. 407-412, 1994.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, R. F. E.; CARLESSO R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide dismutases. **Plant Physiology**, v. 101, n.1, p. 7-12, 1993.

SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, n.11, p. 1763-1773, 1999.

SILVA, E. M. B.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH B, E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

SILVA, J. S.; PINTO, L. A.; FREITAS, M. G.; FEITOSA, A. J. S.; SILVA, C. L.; ALVAREZ-PIZARRO, J.C. Parâmetros morfológicos e fisiológicos de *Brachiaria brizantha* submetida ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 5, p. 71-81, 2018.

SILVA, M. A. V.; COSTA A. C.; SOARES F. A. L.; CASTOLDI G.; JOÃO PAULO DE OLIVEIRA MARTINS J. P. O. Efeito do silício na matéria seca de plantas de soja sob déficit hídrico. In: Semana de Ciências Agrárias e Jornada de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 16., 2019, Goiás. **Anais...** Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2019. p. 251-254.

SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-62.

SOARES, A. M S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n. 1, p. 9, 2007.

SOUZA, D. S. **Ação do silício nos mecanismos de osmoproteção e compartimentação de reservas em mamoeiros sob déficit hídrico**. Trabalho de Conclusão de curso. Catolô do rocha-PA, 2019.

SUZUKI, N.; RIVERO, R. M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, n.33, p. 32-43, 2014.

STOCCO, F. C.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F.; LIMA, J. S. S.; SANTOS, D. A.; MACHADO, R. V. Use of slags in development of dry matter in the aerial part and the number of tillers of two genus of *Brachiaria* grass in Haplustox. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 240-248, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 12, n. 5, p. 23-8, 1966.

TEIXEIRA, G. C.M.; ROCHA, A. M. S.; OLIVEIRA, K. S.; SARAH, M. M. S.; OLIVEIRA FILHO, A. S. B.; PRADO, R. M.; PALARETTI, L. F. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (Revisão Bibliográfica). **Científica**, v. 48, n. 2, p.170-187, 2020.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. B. P.; MONTAGNER, D. B. **BRS Ipyporã (“belo começo” em guarani): híbrido de *Brachiaria* da Embrapa**. Comunicado técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF Fevereiro, 2017. Acessado em 10/05/2019. Disponível em: <<http://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/cot/COT137.PDF>>.

VIANA, M. C. M.; QUEIROZ, C. G. S.; SOUZA, I. R. P.; DURÃES, F. O. M. **Atividade de enzimas antioxidantes em linhagem de milho (*Zea mays* L.) submetidas a déficit hídrico**. Apoio: Embrapa Milho e Sorgo. 2001.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 199–223, 2007.

ZHANG, W.; XIE, Z.; WANG, L.; LI, M.; LANG, D.; ZHANG, X. Silicon alleviates salt and drought stress of *Glycyrrhiza uralensis* seedling by altering antioxidant metabolism and osmotic adjustment. **Journal of Plant Research**, v. 130, n. 3, p. 611-624, 2017.

Anexo 1. Capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato de cálcio e magnésio, submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao primeiro corte



Anexo 2. Capim-ipyporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato de cálcio e magnésio, submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao segundo corte



Anexo 3. Capim-ipyoporã utilizando corretivos de acidez (A) calcário e (B) silicato de cálcio e magnésio, submetido ao regime hídrico controlado baseado na capacidade de campo (CC) referentes ao terceiro corte

