

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA DE
FÓSFORO EM VARIEDADES DE GRAMA**

VITOR VAZ DE LIMA MAIA

**JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA DE
FÓSFORO EM VARIEDADES DE GRAMA**

VITOR VAZ DE LIMA MAIA

Orientador: Prof. Dr. **Renato de Mello Prado**

Coorientadora: Dra. **Mariana Bonfim Soares**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal,
como parte das exigências para
graduação em Engenharia
Agrônômica.

JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2024

V393s

Vaz de Lima Maia, Vitor

Silício na mitigação do estresse por deficiência de fósforo em variedades de grama / Vitor Vaz de Lima Maia. -- Jaboticabal, 2024
44 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Renato de Mello Prado

Coorientadora: Mariana Bonfim Soares

1. Adubação Silicatada. 2. Estresse abiótico. 3. Deficiência nutricional. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO:

CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: SILÍCIO AO MODULAR MECANISMOS FISIOLÓGICOS E NUTRICIONAIS
MITIGA A DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO EM DUAS ESPÉCIES DE GRAMA

ACADÊMICO: Vitor Vaz De Lima Maia

CURSO: ENGENHARIA AGRÔNOMICA

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Dra. Mariana Bomfim Soares

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

Presidente Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Membro M.Sc, Cintia Cármen de Faria Melo
Membro Eng. Agr. Deyvielen Maria Ramos Alves

(Assinaturas)

Jaboticabal 6 / junho / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 13 / 06 / 2023 "Ad referendum"

Chefe do Departamento
Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho
Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola
FCAV/UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por sempre me apoiar e me incentivar apesar de todas as dificuldades que enfrentamos todos os dias.

Agradeço aos meus amigos da República Litrasso por sempre me apoiarem e mostrarem a vida de uma forma mais leve, com muito amor envolvido.

Agradeço ao meu professor Renato de Mello Prado, e à orientadora Mariana Bomfim Soares por me instruírem durante o processo do trabalho oferecendo toda a ajuda necessária, quando muitas vezes parecia muito difícil.

Agradeço a minha amiga Taís Rehder por me acompanhar durante todo o trabalho, por me instruir, orientar, todas as vezes que era necessário, o meu maior aprendizado da vida foi estar ao seu lado durante todo esse trabalho.

Agradeço a UNESP, campus de Jaboticabal por todo o conhecimento que ainda vou absorvendo nessa universidade incrível.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 A importância e caracterização das gramas Esmeralda e São Carlos	5
2.2 Importância do fósforo (P) para as plantas.....	7
2.3 Efeitos do silício na atenuação da deficiência de fósforo	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Material vegetal e Condições de crescimento.....	12
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	14
3.3 Avaliações	14
3.3.1 Altura da planta	14
3.3.2 Quantificação de clorofila total e carotenoides	14
3.3.3 Índice de vazamento de eletrólitos	15
3.3.4 Massa seca da parte aérea.....	15
3.3.5 Análise de silício (Si).....	16
3.3.6 Teor, acúmulo e eficiência de uso de P	16
3.4 Análise estatística	16
4. RESULTADOS	18
5. DISCUSSÃO.....	22
6. CONCLUSÕES	26

7. REFERÊNCIAS	27
-----------------------------	-----------

LISTA DE TABELAS

PÁGINA

Tabela 1. Médias do acúmulo de silício (Si) e de fósforo (P) em plantas de Grama Esmeralda e Grama São Carlos cultivadas em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si..... 19

Tabela 2. Médias do extravasamento de eletrólitos, fenóis totais, clorofila total (Chl total) e carotenóides de Grama Esmeralda e Grama São Carlos cultivadas em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si..... 20

Tabela 3. Resultados das eficiências de uso de Si e P, comprimento da folha e massa seca da parte aérea (MSPA) da Grama Esmeralda e da Grama São Carlos cultivada em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si 21

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. (A) Material vegetal fornecido para o experimento dividido em tapetes de grama de dimensões 62,5x40cm. Grama Esmeralda (à esquerda) e Grama São Carlos (à direita). (B) Unidade de grama cortada do tapete a ser plantada em cada vaso. (C) Grama São Carlos . (D) Plantio de Grama Esmeralda. 13

RESUMO

SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO EM VARIEDADES DE GRAMA

O mercado de grama no Brasil tem apresentado crescimento nos últimos anos, destacando-se as variedades Esmeralda (*Zoysia japônica*) e São Carlos (*Axonopus fissifolius*), conhecidas por suas diferentes capacidades de adaptação ao pisoteio e às condições climáticas. Essas variedades demandam alta nutrição, exigindo cuidados específicos com a fertilização. Uma alternativa na agricultura para mitigar deficiências nutricionais é o uso do silício (Si), um elemento benéfico que pode atenuar o estresse causado pela falta de fósforo (P) em gramíneas. Este estudo objetivou avaliar o efeito do Si na redução dos impactos da deficiência de P em espécies de grama. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial 2 x 2, incluindo duas concentrações de P (0,0 e 1,0 mmol L⁻¹) e duas de Si (0,0 e 2,0 mmol L⁻¹). As plantas foram cultivadas em substrato de areia, recebendo aplicações diárias de Si durante o período experimental. Foram avaliados parâmetros como altura das plantas, teores de clorofila total e carotenoides, índice de extravazamento de eletrólitos, massa seca da parte aérea, além dos teores e acúmulos de Si e P, e a eficiência de uso de P. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, considerando os efeitos principais e a interação entre P e Si. Médias significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Agroestat®. Como resultados, observou-se que a aplicação de Si proporcionou resultados positivos nas duas variedades de

gramas avaliadas. Na grama Esmeralda, o Si promoveu um aumento de 19,42% no comprimento das folhas e de 32,75% na massa seca da parte aérea. Além disso, reduziu o índice de extravazamento de eletrólitos em 18,89% e aumentou os teores de clorofila total em 17,14% e de carotenoides em 27,08%. Da mesma maneira, na grama São Carlos, o Si proporcionou incrementos de 20,79% no comprimento das folhas e de 40,85% na massa seca da parte aérea. O índice de extravazamento de eletrólitos foi reduzido em 29,43%, enquanto os teores de clorofila total aumentaram 22% e os de carotenoides 12,90%. Esses resultados indicam que o Si é uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos da deficiência de P em diferentes variedades de grama, atendendo ao objetivo da pesquisa.

Palavras-chave: Grama Esmeralda, Grama São Carlos, Nutrição de Plantas, Elemento Benéfico.

ABSTRACT

SILICON IN THE MITIGATION OF PHOSPHORUS DEFICIENCY STRESS IN GRASS VARIETIES

The turfgrass market in Brazil has experienced growth in recent years, with notable varieties such as Esmeralda (*Zoysia japonica*) and São Carlos (*Axonopus fissifolius*), recognized for their distinct abilities to adapt to trampling and various climatic conditions. These varieties require high nutritional input, necessitating specific fertilization practices. In agriculture, the use of silicon (Si) has emerged as a beneficial element to mitigate stress caused by phosphorus (P) deficiency in grasses. This study aimed to assess the effect of Si in reducing the impacts of P deficiency in turfgrass species. The experiment was conducted using a randomized block design with five replications in a 2 x 2 factorial scheme, encompassing two P concentrations (0.0 and 1.0 mmol L⁻¹) and two Si concentrations (0.0 and 2.0 mmol L⁻¹). Plants were cultivated in a sand substrate, receiving daily Si applications throughout the experimental period. Parameters evaluated included plant height, total chlorophyll and carotenoid content, electrolyte leakage index, shoot dry mass, as well as Si and P content and accumulation, and P use efficiency. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the F-test, considering main effects and the interaction between P and Si. Significant means were compared using Tukey's test at a 5% probability level, utilizing the Agroestat® software. Results indicated that Si application yielded positive outcomes in both turfgrass varieties evaluated. In Esmeralda grass, Si increased leaf length by 19.42% and shoot dry mass by 32.75%. Additionally, it reduced the electrolyte leakage index by 18.89% and

increased total chlorophyll content by 17.14% and carotenoid content by 27.08%. Similarly, in São Carlos grass, Si led to increases of 20.79% in leaf length and 40.85% in shoot dry mass. The electrolyte leakage index decreased by 29.43%, while total chlorophyll content rose by 22% and carotenoid content by 12.90%. These findings suggest that Si is an effective alternative for mitigating the effects of P deficiency in different turfgrass varieties, fulfilling the research objective.

Key words: Phosphorus deficiency, Emerald Grass, São Carlos Grass, Plant Nutrition, Beneficial Element

1. INTRODUÇÃO

A gramicultura brasileira passou por uma significativa evolução na última década, consolidando-se como um setor relevante para a economia nacional. Entre 2010 e 2015, o mercado de grama apresentou um crescimento de aproximadamente 43%, impulsionado, em grande parte, pelos grandes eventos esportivos realizados no Brasil nesse período. Além disso, houve um aumento na demanda pelo cultivo de gramíneas para diversas finalidades, incluindo paisagismo, recuperação de áreas degradadas, campos esportivos, pastagens e cobertura de taludes (ANTONIOLLI, 2015; ZANON, 2015).

No Brasil, entre as variedades de grama mais comercializadas, destacam-se a grama Esmeralda (*Zoysia japonica*), caracterizada pela resistência à seca e ao pisoteio, rápido enraizamento e boa adaptação ao clima tropical (MOTA et al., 2019), e a grama São Carlos (*Axonopus fissifolius*), que, embora apresente menor resistência ao pisoteio em comparação à Esmeralda, possui maior tolerância a baixas temperaturas (GURGEL, 2003; UNRUH, 2004).

A produção dessas e de outras variedades de grama exige uma série de manejos ao longo do ano, sendo a fertilização um dos mais importantes, dado que se trata de uma cultura com alta exigência nutricional. Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) desempenha papel fundamental no crescimento vegetativo, o fósforo (P) é indispensável para o desenvolvimento radicular, e o potássio (K) contribui para a resistência ao estresse e ao pisoteio (GODOY et al., 2020).

A realização de práticas de manejo, como a poda frequente pode acelerar a remoção de nutrientes da planta, aumentando a necessidade de reposição por meio da adubação (GODOY et al., 2020). Quando essa reposição não é feita de maneira adequada o cultivo em solos de baixa fertilidade se torna ainda mais desafiador, pois a deficiência de nutrientes pode comprometer o metabolismo da planta, reduzir seu crescimento e prolongar o tempo necessário para atingir o padrão comercial, dificultando a produção de tapetes de grama (ASSOCIAÇÃO NACIONAL GRAMA LEGAL, 2022).

Entre os nutrientes que mais impactam o desenvolvimento vegetal, o P se destaca, sendo, ao lado do N, um dos principais fatores limitantes para a produtividade das culturas (PRADO, 2020). A baixa disponibilidade de P nos solos tropicais justifica a importância da adubação fosfatada para garantir o adequado crescimento das plantas. Estudos prévios demonstraram que a deficiência de P pode reduzir o teor de clorofila total, a produção de massa seca na parte aérea e o crescimento de espécies como amendoim (LOBO, 2012), alface (TISCHER, 2012) e grama esmeralda (SANTOS; CASTILHO, 2018).

O silício (Si) tem se destacado como um elemento benéfico capaz de reduzir os impactos de deficiências nutricionais em diversas culturas. Sua aplicação via solução nutritiva tem sido associada à mitigação do estresse causado pela limitação de nutrientes essenciais, como N em *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Megathyrsus maximum* cv. Massai (ARAÚJO, 2021), manganês (Mg) em sorgo (OLIVEIRA, 2017) e K em feijoeiro (SARAH et al., 2021). Em gramíneas forrageiras, sua ação tem sido particularmente eficaz na

atenuação dos efeitos da carência de P, promovendo maior eficiência fotossintética e resultando em ganhos na produção de biomassa (ARAÚJO et al., 2021).

O Si promove benefícios às plantas ao fortalecer a rigidez celular por meio da indução da lignificação, um processo que contribui para o aumento da resistência estrutural dos tecidos vegetais (ALVAREZ et al., 2018; DEUS et al., 2019). Esse mecanismo também melhora a arquitetura foliar, proporcionando uma disposição mais eficiente das folhas e, conseqüentemente, favorecendo a captação de luz e a fotossíntese (FLORES et al., 2018).

Além disso, o Si especialmente na forma de silicato de cálcio, desempenha um papel importante na mitigação da deficiência de fósforo devido aos seus efeitos positivos no solo, como a correção da acidez por meio do efeito de calagem. A aplicação de silicatos contribui para a maior disponibilidade e absorção de fósforo pelas plantas ao reduzir sua fixação nos colóides do solo (HURTADO et al., 2019; FLORES et al., 2018).

Esse efeito ocorre porque os silicatos competem com os ânions fosfato pelos sítios de adsorção, diminuindo sua ligação a óxidos de ferro e alumínio, que normalmente tornam esse nutriente indisponível para as plantas (HURTADO et al., 2019; FLORES et al., 2018). Como resultado, há um aumento na concentração de fósforo na solução do solo, facilitando sua absorção pelas raízes e contribuindo para um melhor desenvolvimento vegetal (PRADO; FERNANDES, 2001).

Apesar dos avanços no estudo dos efeitos do Si em diferentes culturas, ainda há uma lacuna na literatura no que se refere à adubação fosfatada e à

eficiência do Si em espécies de gramados ornamentais, como *Zoysia japonica* e *Axonopus fissifolius*, tanto em condições de suficiência quanto de deficiência de fósforo. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar se o Si pode mitigar o estresse por deficiência de P em variedades de grama, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o manejo nutricional dessas espécies.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância e caracterização das gramas Esmeralda e São Carlos

Comparada à outras culturas, a gramicultura brasileira ainda é considerada recente, pois foi apenas nos últimos 20 anos que os avanços tecnológicos se tornaram significativos. Com isso, houve crescimento na produção, bem como maiores estudos sobre a importância da cultura e uma maior qualidade no cultivo (Associação Grama Legal, 2022).

No Brasil, a Associação Grama Legal detém cerca de 80% dos produtores de grama no país e assim, além de contribuir para a regularização do mercado, serve como um órgão centralizador de informações e estudos sobre a cultura. Essa associação, juntamente com os dados registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022), realizou um levantamento da produção de grama no Brasil que, para o ano de 2022, foi estimada em 30 mil hectares. Quando se compara a produção de 2010 com a do último ano, observa-se que a mesmaquase dobrou (Associação Grama Legal, 2022).

Ainda com dados do levantamento da Associação Grama Legal com o MAPA, observa-se que a região sudeste é a maior produtora do Brasil, respondendo por 55% do total de unidades produtoras. E que as espécies mais produzidas no país são a Grama Esmeralda (79,03% da produção) seguida da grama São Carlos (15,21% da produção), as duas espécies estudadas nesse presente trabalho. Segundo a Itograss (2024), empresa que iniciou o cultivo de grama no Brasil, essas duas espécies podem ser usadas em diferentes locais

desde gramados residenciais até grandes parques ou extensas rodovias. Tudo isso explica a importância econômica dessas duas variedades nesse setor. Além disso, suas características fisiológicas explicam a adaptação delas ao clima brasileiro e a versatilidade no uso, tornando a demanda por essas espécies recorrente ano após ano.

A Grama Esmeralda (*Zoysia japonica*) tem como característica seu crescimento prostrado, sua altura baixa, e produção de rizomas. Apresenta folhas estreitas e rígidas de textura média e coloração verde intensa. Essa espécie apresenta ampla adaptação às condições climáticas brasileiras, e por isso está presente de Norte a Sul do país. Outra característica importante é sua alta resistência ao pisoteio o que viabiliza seu uso em gramados esportivos. Além disso, apresenta um forte sistema radicular, que juntamente com sua produção rizomatosa, faz com que seja uma grama bastante usada em áreas de contenção de taludes e erosão. É uma planta que se adapta a diferentes tipos de solo (exceto aqueles com drenagem limitada). Seu melhor desenvolvimento é em áreas de plena insolação, tolerando um mínimo de sombreamento (GURGEL, 2003; VILLAS BOAS; GODOY 2008; OLIVEIRA, 2018).

Devido essas características citadas, a Grama Esmeralda, durante anos foi a variedade usada na construção dos mais famosos gramados de futebol do Brasil, além de ser a espécie presente na maioria dos gramados residenciais do país (GURGEL, 2003; ZANON, 2015). Com o tempo, novos estudos foram realizados e outras variedades começaram a surgir no mercado e assim,

supriram algumas necessidades específicas de alguns locais e regiões, como é o caso da grama São Carlos.

A Grama São Carlos (*Axonopus fissifolius*) possui como diferencial sua boa adaptação a áreas sombreadas, podendo ser usada em projetos específicos, nos quais a Grama Esmeralda não se adapta tão bem. Não é utilizada para gramados esportivos devido ao seu hábito estolonífero, e consequente baixa capacidade de regeneração a danos mecânicos. Variedades de gramas estoloníferas não suportam bem tráfego intenso pois ele pode danificar seus estolões. Também não se adapta a solos pesados e mal drenados. É uma espécie menos versátil que a primeira, mas ainda assim recomendada em determinados casos. Segundo a Itogress (2024), a Grama São Carlos é a variedade com folhas mais largas no mercado e apresenta uma manutenção simples.

2.2 Importância do fósforo (P) para as plantas

O fósforo é um dos nutrientes que mais limitam a produção agrícola no Brasil, e isso pode ser atribuído ao fato que, em solos tropicais a maior parte desse elemento se encontra indisponível para ser absorvido pelas culturas (KALAYU, 2019). Desse modo, existem uma demanda crescente por fertilizantes fosfatados para suprir a demanda das plantas.

O P após ser aplicado e passar por diversas transformações pode permanecer na fase sólida (sendo P-Lábil e P-Não Lábil) ou na fase líquida (solução), nessa última é onde se encontra o P em sua forma iônica disponível para a planta, H_2PO_4^- predominantemente. A variação de pH pode alterar a

quantidade das formas iônicas disponíveis, mas, devido ao fato de a planta absorve o fósforo da solução do solo, faz com que essas formas iônicas do nutriente sejam as que interessam na nutrição de plantas (PRADO, 2020).

Na planta, o P pode ser encontrado em formas orgânicas e inorgânicas. A concentração de P-inorgânico é regulada por sua função de tampão nos vacúolos da célula, fazendo com que processos como a fotossíntese não sejam afetados por ausência de P no meio externo (MIMURA et al., 1990; PRADO, 2020). A outra parcela do nutriente atua na planta na sua forma inorgânica como ésteres fosfóricos, cujas ligações energéticas movem todo o metabolismo vegetal, e está na composição dos fosfolípidos da membrana, dos nucleotídeos como ATP, ADP, DNA e RNA, e também no ácido fítico, substância de reserva de P na planta. Assim, este nutriente é essencial nas funções biológicas da planta de forma direta e indireta, o que explica o fato de sua deficiência ser altamente limitante para o sucesso da produção agrícola (PRADO, 2020).

A aplicação de P no solo tem impactos positivos na produção em culturas como citros (MALAVOLTA et al, 1997) e no algodão (SINGH et al., 2006). MALAVOLTA et al. (1997) observaram que quanto maior a dose aplicada de P em citros por vias externas, maior era o teor do nutriente nas folhas e maior era a produção da cultura. LOBO (2012) observou em plantas de algodão sob deficiência dos nutrientes NPK, o P se mostrou responsável por conferir uma maior altura de planta e um maior acúmulo de massa seca nas folhas e hastes. Tischer (2012) por sua vez, observou que ao cultivar mudas de alface sob omissão de macronutrientes como N, P, K, Ca, Mg e S, a deficiência

de P provocou uma redução de quase 50% no desenvolvimento final das plantas. De forma semelhante, Luo et al. (2022) observaram que a deficiência de fósforo impacta negativamente o desenvolvimento do capim-elefante, resultando na redução do peso seco, da concentração total de P e do seu conteúdo na planta.

A deficiência de P nas plantas pode ser identificada visualmente pela coloração mais escura em folhas mais velhas (ou coloração arroxeada em algumas espécies), ângulo estreito de inserção de folhas e o pequeno desenvolvimento das plantas. Sob deficiência de P, as plantas também acumulam açúcares e perde energia por meio de ATP, resultando em um decréscimo na síntese de RNA, o que afeta na baixa performance de diversos processos como a síntese proteica. Outra consequência da falta de P é limitação no sistema radicular tornando-o mais suscetível ao ataque de patógenos (PRADO, 2020).

2.3 Efeitos do silício na atenuação da deficiência de fósforo

O silício (Si) tem sido considerado benéfico para plantas de diversas espécies especialmente sob condições de estresse (MARSCHNER, 1986; MARSCHNER et al., 2015). Esse elemento pode ser encontrado em minerais primários, secundários ou adsorvido aos coloides do solo, principalmente na forma de óxido de Si. No entanto, as plantas absorvem o silício na forma de monossilicato (H_2SiO_4). Essa forma solúvel de silício possui alta mobilidade no solo e, devido a essa característica, tende a ser lixiviada facilmente, o que

reduz sua disponibilidade. Além disso, as culturas consomem o silício presente no solo, o que torna necessária sua reposição por meio de adubação para garantir os benefícios do silício ao crescimento das plantas (MA et al., 2001).

Após ser absorvido pela planta, o Si é transportado até a parte aérea pelo xilema e depositado na parede celular das folhas onde é condensado em sílica gel polimerizada devido ao processo de evaporação da planta, de modo que ele não pode ser redistribuído pela planta (BULCHET et al, 2020; MA et al., 2001). Esse processo está relacionado com alguns dos benefícios do Si pois, esse acúmulo nas células da epiderme das folhas, as mantém mais eretas proporcionando uma maior incidência solar e, consequentemente maior taxa fotossintética (OLIVEIRA, 2017).

Esse fator físico de atuação do Si pode ajudar a planta na prevenção contra pragas e doenças, mas para isso também existe o fator químico, onde o elemento atua na planta formando compostos fitotóxicos aos patógenos. Além dos benefícios já citados até aqui, o Si também atenua a toxicidade de elementos como ferro, manganês e alumínio, atenua a deficiência de alguns elementos essenciais, promove uma maior utilização do fósforo e reduz a transpiração excessiva (PRADO, 2020).

As plantas respondem de forma mais significativa a aplicação de Si quando estão sob algum tipo de estresse, seja biótico ou abiótico. Isso ocorre pois o Si induz modificações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas como a melhoria do sistema antioxidante devido a sua ação sobre enzimas, fazendo com que as plantas suportem melhor as perturbações fisiológicas (PRADO, 2020; CURVÊLO et al, 2013). Existem na literatura, diversos relatos a respeito

da ação do Si como mitigador de deficiências nutricionais, incluindo o estresse por deficiência de P. Por exemplo, SIMOGAKI (2021) observou que o Si mitigou os danos da deficiência de P em plantas de sorgo com efeitos no diâmetro do caule, altura da planta e aumento na massa seca da parte aérea. Além disso, KOSTIC et al. (2017) observou que o fornecimento de Si via foliar e radicular incrementou a eficiência de uso do P, tornando o nutriente com mais potencial para exercer suas funções biológicas e atingir uma maior conversão em massa de grãos de trigo.

A literatura confirma, portanto, que a aplicação de Si pode se tornar uma aliada para otimizar a produção de diferentes culturas, inclusive sob limitação nutricional por deficiência de P.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e Condições de crescimento

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Jaboticabal/SP (21°14'46.9"S 48°17'44.3"W), utilizando as espécies de grama: Esmeralda (*Zoysia japonica*) e São Carlos (*Axonopus sp*). As médias de temperatura e umidade foram registradas diariamente durante o período experimental, com auxílio de um termo-higrômetro. Observou-se médias de temperaturas máxima e mínima de 38,8°C e 17,9°C, e umidade relativa máxima e mínima de 62,7% e 25,1%.

O material vegetal para obtenção das mudas foi fornecido pela empresa ITOGRASS na forma de tapetes de 62,5x40cm (Figura 1- A). Os tapetes de ambas as espécies foram cortados em retângulos de 10x15cm (Figura 1 - B), dimensões escolhidas após teste prévio para verificar a produção mínima de massa seca para realização das análises nutricionais. Inicialmente, as mudas tiveram suas raízes lavadas em água corrente para remoção do excesso de solo e em água deionizada; em seguida foram transplantadas para vasos de polietileno de 8,6 dm³, preenchidos com areia de textura média (Figuras 1 - C e D). A areia foi previamente descontaminada com solução de ácido clorídrico 0,1 mol L⁻¹ e lavada com água corrente e deionizada. pós o transplântio, foi realizado corte de uniformização na altura de 1 cm, para padronização das unidades experimentais.

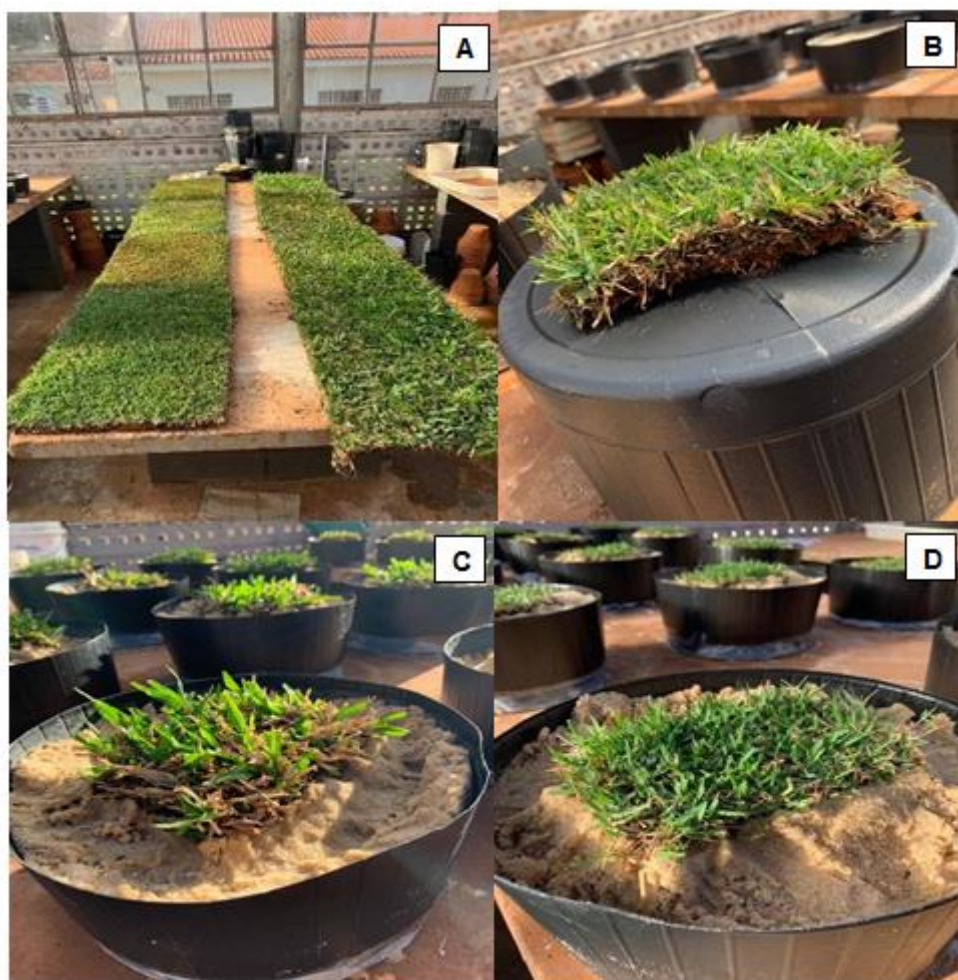


Figura 1. (A) Material vegetal fornecido para o experimento dividido em tapetes de grama de dimensões 62,5x40cm. Grama Esmeralda (à esquerda) e Grama São Carlos (à direita). (B) Unidade de grama cortada do tapete a ser plantada em cada vaso. (C) Grama São Carlos. (D) Plantio de Grama Esmeralda. Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

Inicialmente, as plantas foram irrigadas com água deionizada por 15 dias para diminuir as reservas nutricionais. Passado esse período, foi iniciado o fornecimento de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) na concentração de 25% de força iônica durante 10 dias para adaptação. Posteriormente, a concentração da solução foi aumentada para 50% por 20 dias, 70% por 30 dias e 100% de força iônica até o fim do experimento. A solução nutritiva foi

preparada com água deionizada. O pH da solução nutritiva foi mantido em $5,5 \pm 0,5$ com o uso de solução de HCl ou NaOH, ambos a $1,0 \text{ mol L}^{-1}$.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos foram arranjados em esquema fatorial 2×2 . Os tratamentos consistiram em duas concentrações de P radicular ($0,1$ e $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de P), na ausência e presença de Si (0 e 2 mmol L^{-1}). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições.

A fonte de Si utilizada foi silicato de sódio ($94,2 \text{ g L}^{-1}$ de Si e $121,4 \text{ g L}^{-1}$ de Na_2O), fornecido via solução nutritiva (radicular). O sódio foi balanceado nos tratamentos sem Si utilizando a solução de cloreto de sódio a $1,0 \text{ mol L}^{-1}$.

3.3 Avaliações

3.3.1 Altura da planta

A altura das plantas foi determinada considerando o comprimento desde a base até o ápice da folha. Foram escolhidas aleatoriamente, em cada variável analisada, 5 folhas por vaso para realizar a medição utilizando régua graduada

3.3.2 Quantificação de clorofila total e carotenoides

Foram coletados discos foliares de $0,025$ - $0,030 \text{ g}$ do terço médio do limbo foliar, pesados, e colocados em tubos de 2 mL contendo acetona (80%). As amostras foram lidas em espectrofotômetro de Beckman DU 640, nos

comprimentos de onda 663 nm para clorofila A, 647 nm para clorofila B e 470 nm para carotenoides, sendo os teores definidos com base na massa fresca. As concentrações de clorofila total (a+b) e carotenóides foram determinadas de acordo com metodologia proposta por LICHTENTHALER (1987).

3.3.3 Índice de vazamento de eletrólitos

Foram coletados 5 discos foliares com 5 mm de diâmetro para avaliação dos danos à integridade das membranas, conforme a metodologia descrita por Dionisio-sese; Tobita (1998). A quantidade de discos foi escolhida com base na avaliação visual onde julgou-se suficiente essa quantidade para as avaliações.

Os discos foram emergidos em 20 ml de água deionizada a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). Passadas 2 horas, foi medida a condutividade elétrica inicial da solução (EC1), utilizando um condutivímetro portátil. Posteriormente, as amostras foram autoclavadas a 121 °C por 20 minutos e obtida a condutividade elétrica final da solução (EC2). O índice de vazamento de eletrólitos foi calculado utilizando a fórmula $EC1/EC2 \times 100$.

3.3.4 Massa seca da parte aérea

A parte aérea referente às folhas e, no caso da Gramma São Carlos, os estolões, foi cortada rente ao solo com auxílio de tesouras e separada do substrato e das raízes. Todo o material coletado foi lavado sequencialmente com água corrente, solução detergente (ExtranVR 0,1%), solução ácida (HCl 0,3%) e água deionizada. As amostras do material vegetal foram colocadas

em sacos de papel previamente identificados e levadas para secar em estufa de circulação forçada de ar à 65 ± 5 °C até o peso constante, obtendo-se a massa seca produzida.

3.3.5 *Análise de silício (Si)*

O conteúdo de Si na parte aérea foi extraído de acordo com a metodologia descrita por KRASKA e BREITENBECK (2010) e quantificado utilizando a metodologia de KORNDÖRFER et al. (2004), em espectrofotômetro a 410 nm. O acúmulo de Si foi determinado multiplicando o teor pela respectiva massa seca.

3.3.6 *Teor, acúmulo e eficiência de uso de P*

O teor de P foi obtido pelo método de digestão nitro-perclórica seguindo a metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983). O acúmulo de P na parte aérea foi calculado com base no teor e a massa seca. A eficiência de uso de P foi calculada utilizando a equação: $(\text{massa seca da parte aérea, g})^2 / (\text{acúmulo de P, mg por vaso})$ (SIDDIQI; GLASS, 1981).

3.4 **Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Foram testados os efeitos principais de duas condições de P e de duas condições de Si, bem como as interações entre os dois elementos. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

utilizando o software estatístico Agroestat® (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR 2015).

4. RESULTADOS

Os resultados da ANAVA mostraram que não houve efeito da interação entre solução nutritiva e Si no acúmulo e eficiência de uso de Si, e na eficiência de uso de P em ambas variedades de grama. Além disso, a interação entre os fatores também não foi significativa massa seca da parte aérea da grama esmerald, e extravasamento de eletrólitos, Chl total, carotenoides e comprimento da folha na grama São Carlos (Tabelas 1^a-3).

O acúmulo de Si na parte aérea diminuiu nas plantas de grama Esmeralda cultivadas sob deficiência de P e na ausência desse elemento, enquanto esse decréscimo foi observado apenas nas plantas de grama São Carlos sem Si (Tabela 1). Além disso, o acúmulo de P diminuiu em ambas as espécies com e sem Si, em função da deficiência desse elemento, comparado à solução completa (SC). O fornecimento de Si aumentou o acúmulo de P nas plantas de grama Esmeralda e São Carlos sob deficiência de P, em relação a SC (Tabela 1).

Tabela 1. Médias do acúmulo de silício (Si) e de fósforo (P) em plantas de Grama Esmeralda e Grama São Carlos cultivadas em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si.

Variedade	Tratamento	Acúmulo de Si		Acúmulo de P	
mg vaso ⁻¹					
		Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si
Experimento 1					
Grama Esmeralda	SC	64,04b	165,44 ^a	26,91 ^a	24,14 ^a
	-P	29,15*b	153,00a	7,12*b	13,27*a
Experimento 2					
Grama São Carlos	SC	91,66b	245,84 ^a	57,86 ^a	56,96 ^a
	-P	45,78*b	240,64 ^a	11,76*b	20,07*a

* Na coluna as médias dos tratamentos de deficiência e solução nutritiva completa diferem significativamente pelo teste t a 5% de probabilidade. Diferentes letras minúsculas na linha mostram diferenças significativas entre as plantas sem e com Si dentro do tratamento nutricional pelo teste t a 5% de probabilidade.

Não foi observado efeito dos fatores solução nutritiva e Si, e da interação entre eles no extravasamento de eletrólitos na grama São Carlos. Houve aumento no extravasamento de eletrólitos nas plantas de grama esmeralda deficientes em P, e esse aumento foi mais pronunciado nas plantas sem Si. O fornecimento do elemento benéfico diminuiu o extravasamento de eletrólitos comparado à SC e as plantas sem Si, deficientes em P (Tabela 2). Inserir a tabela 2 aqui.

A concentração de Chl total e carotenóides diminuiu na Grama Esmeralda deficiente em P, comparado a SC, com decréscimo menos acentuado nas plantas que receberam Si. Na grama São Carlos, a deficiência de P diminuiu a concentração de Chl total e Carotenóides, em relação a SC, independente do Si. Além disso, o fornecimento de Si aumentou a concentração desses pigmentos, comparado as plantas sem Si (Tabela 2)

Tabela 2. Médias do extravasamento de eletrólitos, fenóis totais, clorofila total (Chl total) e carotenóides de Grama Esmeralda e Grama São Carlos cultivadas em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si

Variedade	Tratamento	Extravasamento de eletrólitos		Clorofila total		Carotenoides	
		%		mg			
		Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si
Experimento 1							
Grama Esmeralda	SC	10,72 a	10,81 a	0,81a	0,70a	0,65a	0,57a
	-P	12,33*a	10,0*b	0,70*b	0,82*a	0,48*b	0,61a
Experimento 2							
Grama São Carlos	SC	19,29B a	17,34 a	0,80b	1,00a	0,54a	0,60a
	-P	28,03Aa	19,78b	0,50*a	0,61*a	0,31*a	0,35*a

* Na coluna as médias dos tratamentos de deficiência e solução nutritiva completa diferem significativamente pelo teste t a 5% de probabilidade. Diferentes letras minúsculas na linha mostram diferenças significativas entre as plantas sem e com Si dentro do tratamento nutricional pelo teste t a 5% de probabilidade.

A eficiência de uso de Si na grama Esmeralda e São Carlos foi maior na ausência desse elemento, independente da solução nutritiva. Por outro lado, a eficiência de uso de P na grama Esmeralda aumentou com o fornecimento de Si, independente da solução nutritiva. Além disso, em ambas as variedades foi observado aumento na eficiência de uso de P em função da deficiência de P, independente do Si (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados das eficiências de uso de Si e P, comprimento da folha e massa seca da parte aérea (MSPA) da Grama Esmeralda e da Grama São Carlos cultivada em solução completa (SC) e deficiente em fósforo (-P), na ausência e presença de Si

		Eficiência do uso de Si		Eficiência do uso de P		Comprimento de folha		MSPA	
		g MSPA mg-1		cm				g	
Variedade		Experimento 1							
	Tratamento	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si
Grama Esmeralda	SC	2,22 ^a	0,96 ^b	5,19 ^b	6,63 ^a	8,71 b	9,44 a	11,74 ^a	12,59 ^a
	-P	2,03 ^a	0,86 ^b	8,31* ^b	10,01* ^a	7,26* ^b	8,67* ^a	7,94* ^b	10,54* ^a
		Experimento 2							
Grama São Carlos	SC	4,50 ^a	1,57 ^b	7,06 ^a	6,64 ^a	7,56 a	8,57 a	20,08 ^a	19,42 ^a
	-P	4,00 ^a	1,48 ^b	15,64* ^a	17,96* ^a	7,07 b	8,54 a	13,44* ^b	18,93 ^a

* As médias dos tratamentos diferem significativamente do tratamento com solução nutritiva completa pelo teste t a 5% de probabilidade. Diferentes letras minúsculas na linha mostram diferenças significativas entre as plantas sem e com Si dentro do tratamento nutricional pelo teste t a 5% de probabilidade.

A deficiência de P diminuiu o comprimento da folha das plantas grama Esmeralda na ausência ou presença de Si, comparado a SC. Entretanto, as plantas sob SC ou deficiência de P e que receberam Si, apresentaram maiores médias do comprimento de folha em relação às sem Si. Já na grama São Carlos, o Si aumentou o comprimento das folhas, independente da solução nutritiva (Tabela 3).

A produção de massa seca na parte aérea foi diminuída em ambas espécies e de grama submetidas à deficiência de P, independente do Si. O fornecimento de Si aumentou a massa seca da parte aérea da grama Esmeralda, independente da solução nutritiva. Na grama São Carlos esse aumento foi observado apenas nas plantas sob deficiência de P, comparado as sem Si (Tabela 3).

5. DISCUSSÃO

Foi possível aumentar a absorção e acúmulo de Si na parte aérea das duas variedades de grama, com a adição do elemento benéfico tanto nas plantas sob deficiência, quanto nas plantas sob solução completa, ou seja, em suficiência nutricional. O acúmulo de Si na parte aérea é importante pois, o acúmulo na planta é premissa para que o Si expresse seus benefícios (SANTOS, 2021).

Tratando do acúmulo do P, observou-se que em função da deficiência desse elemento, houve uma redução do seu acúmulo em ambas cultivares de grama quando comparado a SC. Nessa situação houve efeito benéfico do Si aumentando o acúmulo de P nas plantas sob deficiência do nutriente. Esse resultado se assemelha aos obtidos em estudos prévios com trigo, arroz e milho (OWINO-GERROH, 2005; PATI et al., 2016; KOSTIC et al., 2017). Esse efeito ocorre, pois, o Si na forma de silicatos aumenta a disponibilidade de P (FLORES et al., 2018), além de regular positivamente a expressão de genes que codificam transportadores de P em condições de baixa disponibilidade desse elemento (HU et al., 2020).

O menor acúmulo de P nas plantas de grama esmeralda sob deficiência, provocou aumento no vazamento de eletrólitos, resultado que pode ser associado a menor disponibilidade desse elemento para formação de ATP e dos componentes de membrana, a exemplo dos fosfolipídeos (PRADO, 2020), o que causou danos celulares, em relação as plantas sob suficiência de P. Entretanto, a presença do Si atenuou os efeitos negativos da deficiência de P, através da redução do vazamento de eletrólitos na grama esmeralda,

sugerindo efeito benéfico do Si na estabilidade das membranas. Além disso, o Si contribui para a estruturação das células através da associação do elemento benéfico com complexos orgânicos na parede células como pectinas e calose, lignina e carboidratos (BOYLSTON et al., 1990; INANAGA; OKASAKA, 1995).

Nas duas variedades de grama, foi observado que a deficiência de P provocou degradação de pigmentos fotossintéticos. Contudo, esse efeito deletério foi menos acentuado nas plantas de Grama Esmeralda que receberam Si, e no caso da Grama São Carlos, o fornecimento de Si aumentou a concentração desses pigmentos, comparado às plantas sem Si, semelhante ao observado por Sarah et al., 2021 em plantas de feijão, nas quais o fornecimento de Si fez com que os estresses causados pela deficiência de K fossem mitigados, sem prejuízos ao teor de Chl total e carotenoides .

Em ambas as variedades de grama foi observado aumento na eficiência de uso de P em função da deficiência desse elemento, independente do Si. O aumento da eficiência de uso de P pelas plantas em condições de baixa disponibilidade desse elemento já é bem conhecida, e é considerada uma estratégia das plantas, que retiram P de compostos orgânicos para manter o seu metabolismo (TRAN; HURLEY; PLAXTON, 2010).

Além disso, o Si aumentou a eficiência de uso de P nas plantas de grama Esmeralda, tanto em condições de deficiência quanto de suficiência deste nutriente. Conforme Brait (2008), a eficiência de uso é definida como a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente, neste caso, P. Em situações de deficiência de P, a planta precisa ser mais eficiente para maximizar a produção com uma quantidade limitada do nutriente, o que explica

o aumento da eficiência de uso quando o P é escasso. Por outro lado, quando há suficiência de P, a eficiência de uso tende a diminuir, pois a planta não necessita mais ser tão eficiente.

Contudo, o aumento no acúmulo de P não é o único fator que justifica o aumento da eficiência de uso. O Si pode ter contribuído para esse aumento ao melhorar a integridade das membranas celulares, o que minimiza o extravasamento de nutrientes. Além disso, o Si pode ter favorecido um maior teor de pigmentos fotossintéticos, otimizando a fotossíntese e, conseqüentemente, o uso do P disponível. Estudos também sugerem que o Si pode promover um melhor equilíbrio nutricional entre C, N e P, especialmente em plantas sob estresse, o que contribui para uma utilização mais eficiente desses nutrientes (SOUZA JÚNIOR et al., 2022).

A deficiência de P ocasionou uma redução no comprimento das folhas e na massa seca da parte aérea da grama Esmeralda, evidenciando a importância do macronutriente para o crescimento das plantas. Entretanto, a diminuição no comprimento das folhas pela deficiência de P foi atenuada pelo fornecimento de Si, visto que na presença de Si houve aumento de 19,42% no comprimento das folhas. Já nas plantas de grama São Carlos, o Si aumentou o comprimento das folhas, tanto na deficiência 20,79% quanto na suficiência de P 6,93%, em relação às plantas cultivadas sem Si.

Portanto, o elemento benéfico atenuou os efeitos da deficiência de P na produção de massa seca das plantas pois, proporcionou maior absorção de P, menores danos às membranas celulares, maior teor de pigmentos

fotossintetizantes, maior comprimento de folha e consequentemente, maior massa seca da parte aérea em condições de deficiência de P.

6. CONCLUSÕES

O Si pode mitigar os danos causados pela deficiência de P em plantas das duas variedades de grama (Esmeralda e São Carlos), e aumentar o potencial produtivo das variedades ao favorecer o uso eficiente de P pelas plantas, sendo uma técnica promissora no cultivo de Grama Esmeralda e Grama São Carlos.

7. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. C. F.; PRADO, R. de M.; FELISBERTO, G.; DEUS, A. C. F.; OLIVEIRA, R. L. L. Effects of soluble silicate and nanosilica applied to oxisol on rice nutrition. **Pedosphere**, v.28, 2018.

ANTONIOLLI, D. Produção, regularização e conquistas do mercado de gramas cultivadas no Brasil. In: MATEUS, C. M. D.; VILLAS BÔAS, R. L.; ANDRADE, T. F.; OLIVEIRA, M. R.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G. (Org.) **Tópicos atuais em gramados IV**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, FEPAF/UNESP/FCA, 2015. p.9-22.

ARAÚJO, W. B. S. **Silício na mitigação dos efeitos da deficiência de nitrogênio, fósforo e cálcio em forrageiras**. 2021. 47 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.

ARSCHNER, H. MENEGALE, M. L. de C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. **Silício: interação com o sistema solo-planta. Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1025188/1/CPAFAP2015Siliciointeracaocomosistemasoloplanta.pdf> Acesso em: 12 abril 2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL GRAMA LEGAL. **Grama São Carlos Plus**. 2022. Disponível em: <https://gramalegal.com/grama-sao-carlos-plus>. Acesso em 05/10/2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL GRAMA LEGAL. **Manual para aquisição, instalação e manutenção de gramas**. 2020. Disponível em: <https://gramalegal.com/download/pdf/manual-especial-rodovias.pdf>. Acesso em: 05/10/2022.

BARBOSA, JC; MALDONADO, JUNIOR,W. 2015. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396p.

BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).

BOYLSTON, E. K., HEBERT, J. J., HENSARLING, T. P., BRADOW, J. M.; THIPHODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, 13, 131–148 (1990).

BRAIT, M. A. H. **Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

BUCHELT, A. C. Silício na mitigação de deficiência nutricional e formas de aplicação via fertirrigação e foliar em plantas forrageiras. In: **Silício na mitigação de deficiência nutricionais**, Jaboticabal, v. 1, n. 1, p. 1-86, 2019.

CURVÊLO, C. R. D. S.; RODRIGUES, F. Á.; SILVA, L. D. C.; NASCIMENTO, K. J. T.; BERGER, P. G. Mecanismos bioquímicos da defesa do algodoeiro à mancha de ramulária mediados pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 41-51, 2013.

DEUS, A. C. F.; PRADO, R. M.; ALVAREZ, R. C. F.; OLIVEIRA, R. L. L.; FELISBERTO, G.. Role of silicon and salicylic acid in the mitigation of nitrogen deficiency stress in rice plants. **Silicon**, v.11, p.1-9, 2019.

DIONISIO-SESE, M. L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, v.135, p.1-9, 1998.

FLORES, R. A.; ARRUDA, E. M.; DAMIN, V.; SOUZA JUNIOR, J. P.; MARANHÃO, D. D. C.; CORREIA, M. A. R.; PRADO, R. M.. Physiological

quality and dry mass production of *Sorghum bicolor* following silicon (Si) foliar application. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, p. 631-8, 2018.

GODOY, L. J. G. Turfs and turfgrasses in Brazil. *Ornamental Horticulture*, v. 26, n.3, p.326-327, 2020.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. **Nutrição, Adubação e Calagem para produção de gramas**. 1 Ed. Botucatu:FEPAF, 2012. 146p.

GURGEL, R. A. G. **Principais espécies e variedades de grama**. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1, 2003, Botucatu. Produção, implantação e manutenção: anais... Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

HU, A.Y.; XU, S.N.; QIN, D.N.; LI, W.; ZHAO, X.Q. Role of Silicon in Mediating Phosphorus Imbalance in Plants. *Plants*, v. 10, n. 51, 2021.

HURTADO, A. C.; CHICONATO, D. A.; PRADO, R. de M.; SOUSA JUNIOR, G. da S.; FELISBERTO, G. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum na sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 142, p. 224-233, 2019.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 41, p. 111–117, 1995.

ITOGRAS. Plantio de Grama. 2024. Disponível em: <https://itogras.com.br/cuidados/plantio/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, v. 2019,

KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S., NOLLA, A., 2004. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Boletim Técnico, Uberlândia, n.2, p.34.

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

KRASKA, J. E., BREITENBECK, G. A. Simple, robust method for quantifying silicon in plant Tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.2075- 2085, 2010.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.

LOBO, D. M; SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SILVA, M. A. M. Características de deficiência nutricional do amendoimzeiro submetido à omissão de N, P, K. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 69-76, 2012.

LUO, J.; CAI, Z.; HUANG, R.; WU, Y.; LIU, C.; HUANG, C.; LIU, P.; LIU, G.; DONG, R. Integrated multi-omics reveals the molecular mechanisms underlying efficient phosphorus use under phosphate deficiency in elephant grass (*Pennisetum purpureum*). **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in plant Science**, v. 8, p. 17-39, 2001.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MALAVOLTA, Eurípedes. Nutri-Fatos. **Arquivo do Agrônomo**, n. 10,1997. (Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3146/\\$File/Nutrifatos.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3146/$File/Nutrifatos.pdf))

MAPA. **Levantamento da produção de grama no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1986. 674 p.

MIMURA, T.; DIETZ, K. J.; KAISER, W.; SCHRAMM, M. J.; KAISER, G.; HEBER, U. Phosphate transport across biomembranes and cytosolic phosphate homeostasis in barley leaves. **Plant**, v. 180, p. 139-46, 1990.

MOTA, F. D.; VILLAS BOAS, R. L.; MATEUS, C. M. D.; SILVA, T. B. G. Sewage sludge compost in zoysia grass sod production. **Revista Ambiente & Água**. v. 14, n. 1, p. 1-10. 2019.

OLIVEIRA, N. B.; OLIVEIRA, J. F. V.; SANTOS, P. L. F.; GAZOLA, R. P. D.; CASTILHO, R. M. M. Avaliação do estado nutricional de três gramados ornamentais em Ilha Solteira–SP: um estudo de caso. **Revista LABVERDE**, v. 9, n. 1, p. 96-119, 2018.

OLIVEIRA, R. L. L. **Aplicação de silício na fisiologia, na produção e na mitigação de estresse causado pela deficiência de manganês em plantas de sorgo granífero**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2017.

OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G. Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, p. 2369–2378. 2005

PATI, S.; PAL, B.; BADOLE, S.; HAZRA, G.C.; MANDAL, B. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, p. 284–290, 2016

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas** – 2. Ed. – São Paulo: Editora Unesp, 2020, p. 27-32; 139-160.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O. ; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. DE A. ; RIBEIRO, M. D. S. ; GOMES, V. R. ; SEVERO, P. J. S. ;

BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R. Resposta da grama esmeralda em função de diferentes fertilizantes e substratos. **Revista Cultura Agronômica**, v. 27, n. 3, p. 354-365, 2018.

SARAH, M. M. S.; PRADO, R. M.; SOUZA JÚNIOR, J. P.; TEIXEIRA, G. C. M.; DUARTE, J. C. S.; MEDEIROS, R. L. S. Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19690, 2021.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 34, p. 289-302, 1981.

SIMOGAKI, M. **Silício como mitigador de deficiências nutricionais em plantas de sorgo**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2021.

SINGH, V.; PALLAGHY, C. K.; SINGH, D.. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress: II. Water relations, free and bound water and leaf expansion rate. **Field Crops Research**, v.96, p.199-206,2006.

TISCHER, J. C.; SIQUEIRA NETO, M. S. Avaliação da deficiência de macronutrientes em alface crespa. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 2, 2012.

TRAN, H. T.; HURLEY, B. A.; PLAXTON, W. C. Feeding hungry plants: The role of purple acid phosphatases in phosphate nutrition. **Plant Science**, v. 179, n. 1–2, p. 14– 27, 2010.

UNRUH, J. B. Biologia de gramas de estação quente. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, SIGRA: manejo de gramas na produção e em gramados

formados, 2, 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: GEMFER/FEPAF, 2004. p. 9-40.

VILLAS BOAS, R. L.; GODOY, L. J. G. **Tópicos atuais em gramados**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2008. 203 p.

ZANON, M. E. **Desenvolvimento de grama Esmeralda, grama bermudas 'Tifway 419' e 'Celebration' submetidas a aplicação de reguladores de crescimento**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.