

TAINÁ COSTA ARAUJO

**INFLUÊNCIA DO SILÍCIO E DO DÉFICIT HÍDRICO NA DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO EM LATASSOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e nutrição de plantas para obtenção do título de mestrado.

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo

Coorientador: Edson Márcio Mattiello

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A663i Araujo, Tainá Costa, 1996-
2023 Influência do silício e do déficit hídrico na disponibilidade
de fósforo em latassolo / Tainá Costa Araujo. – Viçosa, MG,
2023.

1 dissertação eletrônica (59 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Solos, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.388>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Fertilizantes fosfatados. 2. Silicato de cálcio. 3. Solos -
Teor de fósforo. I. Melo, Hidelblandi Farias de, 1987-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
III. Título.

CDD 22. ed.


TAINÁ COSTA ARAUJO

INFLUÊNCIA DO SILÍCIO E DO DÉFICIT HÍDRICO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATASSOLO


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 TAINA COSTA ARAUJO
Data: 24/07/2024 23:22:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tainá Costa Araujo
Autor

Documento assinado digitalmente
 HIDELBLANDI FARIAS DE MELO
Data: 25/07/2024 11:04:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Hidelblandi Farias de Melo
Orientador

*À minha madrinha Nely, e aos
meus pais, com amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

O mestrado é um sonho de criança, e eu sou muito grata a Deus, por me permitir realizá-lo. Deus foi minha fonte de inspiração e meu alicerce nos muitos momentos difíceis.

Agradeço ao meu pai Ubirajara Antônio, por todo exemplo de força e lições de vida, à minha mãe Marinet, pela ternura, o colo e o carinho inesgotável. Vocês são meus grandes amigos e meus grandes amores.

Aos meus irmãos, Iara e Maike e ao meu cunhado Daybit por vibrarem comigo a cada pequena conquista. Somos um time e tanto!

Ao meu sobrinho Tales, por genuinamente, me alegrar e inspirar.

Ao meu amor Abraão, por ser um grande apoiador e companheiro.

À minha madrinha Nely exemplo de grande mulher.

Ao meu orientador, professor Hideblandi pela paciência e grande empatia e ao meu coorientador, professor Mattiello por toda receptividade e atenção. No findar do mestrado, me tornei professora e, todos dias, ao trabalhar, reafirmo a certeza do quão nobre e desafiadora é essa profissão. Por isso, estendo meus agradecimentos a todos os professores, de todos os níveis de ensino, que exercem com amor, essa profissão tão especial.

Aos colegas do DPS, Geraldo, Ranyer, Diego, Magda, David, Athos, Rodrigo, Marlon, Sara, Cintia e Jeani que compartilharam bons momentos comigo, nessa caminhada. Em especial agradeço ao Cristian, Bernardo, Ana Júlia, Igor e Robson, que foram muito importantes na execução de algumas partes desse trabalho. Lembrarei de todos, com muito carinho.

À minha amiga Isabella e Gabriela, por ter sido grandes apoiadoras e sempre acreditarem em mim.

Aos técnicos, pela disponibilidade, atenção e suporte no auxílio às análises e aos cálculos, em especial à Fabiane e à Adriana que sempre foram solícitas e receptivas com as minhas dúvidas.

À CAPES Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos e ao grupo de estudo GEFERT por toda troca de experiência e aprendizado.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos (DPS) pela excelência em ensino e a infraestrutura que me permitiu realizar

com êxito as atividades necessárias. Minha formação foi integralmente no ensino público, e a UFV me fez acreditar, ainda mais, num ensino público de qualidade.

BIOGRAFIA

TAINÁ COSTA ARAUJO, filha de Marinet Costa de Araujo e Ubirajara Antônio de Araujo, nasceu em 27 de novembro de 1996, na cidade de Espera Feliz, Minas Gerais.

Em 2013 concluiu o curso de técnico agrícola no Instituto Federal Fluminense - IFF de Bom Jesus do Itabapoana, RJ. Graduou-se em 2020, no curso de agronomia da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF em Campos dos Goytacazes, RJ. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica e de extensão na área de fertilidade do solo e fitotecnia, respectivamente.

Em 2021 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa – UFV, MG; submetendo-se à defesa de dissertação em 27 de julho de 2023.

*“Todas as coisas têm uma rachadura.
É por ela que entra a luz”*

(Leonard Cohen)

RESUMO

ARAUJO, Tainá Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023.
INFLUÊNCIA DO SILÍCIO E DO DÉFICIT HÍDRICO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATASSOLO

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo. Coorientador: Edson Márcio Mattiello.

A maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados e com alta capacidade de fixação de fósforo, devido a sua mineralogia oxidica. Outros fatores, como o déficit hídrico, também podem reduzir a disponibilidade do fósforo. No solo, o silício compete pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, podendo promover o bloqueio destes sítios e aumentar a disponibilidade deste elemento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do Si e do déficit hídrico na disponibilidade de P em latossolo, sob diferentes doses de P e os resultados da interação desses elementos no crescimento inicial de plantas de milho e braquiária em cultivo sucessivo. O solo utilizado foi um latossolo, coletado na profundidade de 0-40 cm. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos de 4 L, em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, num esquema fatorial 4 x 2 x 2, sendo quatro doses de P (0, 100, 200 e 300 mg dm⁻³) duas doses de Si (0 e 375 mg dm⁻³) e dois regimes hídricos (50 e 80 % da CC - capacidade de campo). A fonte de Si usada foi o silicato de cálcio e a fonte de P foi o MAP - fosfato monoamônico. O solo foi incubado à 80 % da CC, com o silicato (nos tratamentos que receberam Si) e com carbonato (nos tratamentos que não receberam Si). Após 40 dias, foi realizada a adubação fosfatada e o semeio do milho, as plantas foram cortadas aos 40 dias após a emergência e realizado o semeio da braquiária, a qual teve 2 cortes aos 70 e 140 dias, após a primeira emergência. A parte aérea das plantas de milho e braquiária foram submetidas à digestão e determinados os conteúdos de Si, P, Ca e Mg. Após a condução das culturas, foram coletadas amostras de solo e determinados os teores de Si, P, Ca e Mg e dos atributos químicos. Doses crescentes de P proporcionaram teores de P e Si crescentes, no solo e nas plantas. O silicato de cálcio não aumentou a disponibilidade de P e Si para as plantas e não atenuou os efeitos do déficit hídrico na planta. Os tratamentos que receberam silicato de cálcio apresentaram teores em solo e conteúdo em plantas menores de Ca e maiores de Mg, quando comparado aos tratamentos que receberam carbonato de Ca.

Palavras-chave: Silicato de cálcio; adubação fosfatada; cultivo sucessivo.

ABSTRACT

ARAUJO, Tainá Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **INFLUENCE OF SILICON AND WATER DEFICIT ON THE AVAILABILITY OF PHOSPHORUS IN OXISOL.** Adviser: Hidelblandi Farias de Melo. Co-advisers: Edson Márcio Mattiello.

Most Brazilian soils are highly weathered and have a high phosphorus fixation capacity, due to their oxidic mineralogy. Other factors, such as water deficit, can also reduce phosphorus availability. In soil, silicon competes for the same adsorption sites as phosphorus, which can block these sites and increase the availability of this element. The objective of this work was to evaluate the influence of Si and water deficit on the availability of P in an oxisol, under different doses of P, and the results of the interaction of these elements in the initial growth of corn and brachiaria plants in successive cultivation. The soil used was an oxisol, collected at a depth of 0-40 cm. The experiment was conducted in a greenhouse, in 4 L vases, in a randomized block design, with four replications, in a 4x 2 x 2 factorial scheme, with four doses of P (0.100, 200 and 300 mg dm⁻³) two doses of Si (0 and 375 mg dm⁻³) and two water regimes (50 and 80 % CC - field capacity). The Si source used was calcium silicate and the P source was MAP - monoammonium phosphate. The soil was incubated at 80% CC, with silicate (in treatments that received Si) and with carbonate (in treatments that did not receive Si). After 40 days, phosphorus fertilization and corn sowing were carried out, the plants were cut at 40 days after emergence and brachiaria was sown, which had 2 cuts at 70 and 140 days after the first emergence. The part of the area of corn and brachiaria plants were observed during digestion and the contents of Si, P, Ca and Mg were determined. After conducting the cultures, soil samples were collected and the levels of Si, P, Ca and Mg and chemical attributes were determined. Increasing doses of P provided increasing levels of P and Si in soil and plants. Calcium silicate did not increase P and Si availability to plants and not mitigate the effects of water deficit on the plants. The treatments that received calcium silicate showed lower levels of Ca and higher levels of Mg in soil and plants, when compared to the treatments that received Ca carbonate.

Keywords: Calcium silicate; phosphorus fertilization; successive cultivation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Fósforo no solo e na planta	7
3.2. Silício no solo e na planta.....	9
3.3. A cultura do milho.....	11
3.4. Déficit hídrico.....	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1. Coleta e caracterização do solo	14
4.2. Esquema fatorial e dosagem dos fertilizantes	15
4.3. Plantio e cultivo do milho.....	16
4.4. Plantio, cultivo e rebrota da braquiária	17
5. RESULTADOS	19
5.1. Produção de matéria seca e conteúdo de nutrientes nas plantas de milho	19
5.2 Solo após o cultivo do milho.....	24
5.3 Braquiária.....	27
5.4 Solo após o cultivo e a rebrota da braquiária	33
6.DISSCUSSÕES.....	37
6.1 Silício.....	37
6.2 Fósforo e P-rem	39
6.3 Cálcio e pH.....	40
6.4 Magnésio.....	40
6.5 Matéria seca da parte aérea da planta	41
6.6 Alumínio	42
7. CONCLUSÕES	42
8. REFERÊNCIAS.....	43
9. ANEXO.....	52

1. INTRODUÇÃO

O percentual nas importações de NPK para subsídio da agricultura no Brasil aumentaram de 32 % em 1988 para 80 % em 2020, colocando o país como quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo (FARIAS et al., 2021). Atualmente, estima-se que em torno de 2,2 toneladas de fertilizantes inorgânicos de fósforo sejam utilizados todos os anos no Brasil (WITHERS et al., 2018). Os mesmos autores descrevem este cenário como algo não sustentável e perigoso, visto se tratar de um recurso crítico e de preço volátil no mercado.

A maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados e com alta capacidade de fixação de fósforo, fazendo com que grandes quantidades de fertilizantes fosfatados sejam regularmente aplicadas para superar a rápida fixação de fósforo inorgânico aos óxidos de ferro e de alumínio desses solos (WITHERS et al., 2018). Embora, alguns autores tenham demonstrado que mesmo o silício possuindo alta capacidade de adsorção às argilas, a reação de dessorção apresenta-se com a mesma intensidade, quando avaliada em solos gibsíticos (POZZA et al., 2009). Outros trabalhos apontam maior disponibilidade e absorção de fósforo na presença de silício, como mostram Carvalho et al., (2001) que registraram aumento de 12,25 % no conteúdo de fósforo em mudas de eucalipto cultivadas em cambissolos com aplicação de CaSiO_3 além da adubação.

O fósforo é um elemento essencial às plantas, principalmente no início desenvolvimento das culturas, podendo gerar danos irreversíveis, limitando seriamente a produção futura (GRANT et al., 2001). A disponibilidade e a absorção de P está diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo. A importância do conteúdo de água no solo para a absorção desse elemento se deve ao fato do seu principal mecanismo de transporte no solo ser a difusão (COSTA et al., 2006). A difusão é um processo na qual o elemento caminha numa fase aquosa estacionária, indo de uma região de maior concentração para outra de menor concentração (MALAVOLTA 1984).

O déficit hídrico, prejudica a absorção de nutrientes, como o fósforo e apresenta também influência no crescimento das plantas e danos fisiológicos. Ele tende a reduzir o crescimento da planta com forte redução na expansão celular, condutância estomática, fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de matéria seca (CEBALLOS et al. 2011).

No solo, fósforo e silício competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção, onde o Si pode deslocar (dessorver) o P, e vice-versa (LEITE, 1997), pois a retenção do silício ocorre por adsorção específica às superfícies dos óxidos de Fe, à semelhança do P (HINGSTON et al., 1972). O composto de silício presente na fase líquida do solo, na faixa de pH entre 4 e 9, é o monômero H_4SiO_4 (MARSCHNER, 1995) e sua absorção ocorre de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água (JONES; HANDRECK, 1967).

Apesar do Si não ser considerado um elemento essencial para a maioria das culturas às plantas, ele tem apresentado uma série de efeitos benéficos, auxiliando no crescimento e produção das plantas. Estudos têm mostrado o efeito do Si sobre estresses abióticos. O acúmulo desse elemento nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual pela redução de transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORNDORFER et al., 2001), por diminuir a abertura de estômatos (OLIVEIRA; CASTRO, 2002). O Si é capaz de regular a perda de água principalmente quando a planta está sujeita a déficit hídrico (KORNDORFER et al., 2001).

Algumas culturas são mais susceptíveis à falta d'água do que outras. O milho (*Zea mays L.*) é considerado uma cultura exigente em água e após ocorrência de déficit hídrico, a produção de grãos é diretamente afetada, pois, a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética (MIRANDA et al., 2019). O milho é uma das culturas mais importantes do mundo (SOLOGUREN, 2015), e é um produto fundamental para a agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do País (CONTINI et al., 2019). É crescente o cultivo de culturas anuais, como o milho, consorciado com espécies forrageiras (com destaque para o gênero *Brachiaria*). O manejo tem se mostrando economicamente viável (FLÁVIO NETO et al., 2015; SILVA et al., 2019).

Dessa maneira, estudos das variáveis uso do Si, presença do déficit hídrico e adubação fosfatada, se mostram necessários, na cultura do milho em sucessões de cultivo com a cultura da *Brachiaria*. Esses fatores são amplamente citados na literatura, mas de forma conjunta, ainda se faz bastante necessário os estudos das interações.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar a influência do fornecimento de silício na disponibilidade de P em plantas de milho cultivadas em latossolo com diferentes doses de fósforo sob déficit hídrico.

Objetivos específicos:

- Verificar a influência do silício na disponibilidade e absorção de P em plantas de milho adubadas com diferentes doses de P e cultivadas sob déficit hídrico;
- Verificar a influência do silício nos atributos na fertilidade do solo adubado com diferentes doses de P e dois regimes hídricos;
- Verificar o teor disponível de P e nas plantas de milho, sob diferentes doses de P no solo, na presença e na ausência de déficit hídrico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Fósforo no solo e na planta

O P é encontrado no solo formando diferentes compostos, orgânicos e inorgânicos podendo apresentar-se formando complexos, principalmente com óxidos de Fe e Al, precipitado com Ca ou como parte de moléculas orgânicas (RAIJ e FEITOSA, 1980). Essas diferentes formas apresentam interdependência e equilíbrio. Inicialmente após a adição de fontes fosfatadas (minerais ou orgânicas) tem-se, temporariamente no solo, o P-solução, o qual pode ser absorvido por difusão pelas raízes das plantas ou adsorvido.

A adsorção é um mecanismo bem mais rápido de depleção do P-solução do que a difusão é a fonte de P-lábil no solo. O P-lábil pode ser visto como uma reserva, quando o P-solução vem sendo exaurido pela absorção, o P-lábil recompõem o P-solução de forma parcial. Outro processo que ocorre na dinâmica do fósforo é a fixação, onde, nesse caso o P-lábil é fixado, tornando-se fosforo não lábil, que é uma forma de P não-reversíveis ou pouco reversíveis (NOVAIS et al., 2007). solos intemperizados, como os latossolos, são mais predispostos a fixação, consumindo grande percentual do que é aplicado em formas solúveis (NOVAIS et al., 2007).

O fósforo é absorvido diretamente da solução do solo nas formas de ortofosfato biácido (H_2PO_4^-) e também em menor proporção como ânion bivalente (H_2PO_2^-) (RAIJ, 1983). De acordo com Martinez (2021) a concentração para crescimento ótimo das plantas está faixa de 0,3 a 0,5% da biomassa seca. Dentre os macronutrientes, o fósforo é o nutriente exigido em menores quantidades pelas culturas (COSTA et al., 2012), mas apesar dessa concentração baixa na planta, o suprimento de P em quantidades inferiores às ideias compromete seriamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Podem ser utilizadas diferentes fontes minerais de P, as quais se caracterizam por apresentar maior ou menor solubilidade. Fosfatos naturais podem apresentar reatividade muito pequena, sendo em muitos casos insuficiente para manter uma concentração mínima de P na solução solo em relação às necessidades das culturas. Por outro lado, algumas fontes proporcionam valores excessivamente elevados, mesmo que por curto espaço de tempo (NOVAIS et al., 2007).

Segundo Malavolta (1984), para que haja absorção de qualquer elemento pela planta, a primeira condição é que se estabeleça o contato entre o mesmo e a raiz, podendo ocorrer por três processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. A difusão é o principal mecanismo de transporte do fósforo no solo (COSTA et al., 2006), sendo caracterizado como um processo no qual o elemento se desloca numa fase aquosa estacionária, indo de uma região de maior concentração para outra de menor concentração (MALAVOLTA 1984).

Dentre os fatores que podem influenciar na disponibilidade de P, pode-se citar as interações entre o P e o solo, que podem levar a formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente alumínio e ferro em condições ácidas (BASTOS et al., 2008). O teor de fósforo, em decorrência dessa forte interação com os colóides do solo apresentam valores muito baixos, principalmente em solos tropicais muito intemperizados, fazendo com que a baixa mobilidade do nutriente seja um problema para a nutrição das culturas (AZEVEDO et al., 2004).

Além dessas interações entre os componentes do solo e o P, outros fatores podem influenciar a disponibilidade de P e a sua absorção pelas plantas, tais como o teor de matéria orgânica, a acidez, (NOVAIS et al., 2007) e o conteúdo de água no

solo, já que o principal mecanismo de transporte do fósforo no solo é a difusão (COSTA et al., 2006).

O fósforo é um nutriente crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alongamento das células e na expressão gênica (GUIMARÃES et al., 2011). Além disso, o suprimento de P adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011).

Como o P é um elemento móvel na planta, ele se move rapidamente dos tecidos mais velhos para os mais jovens, a deficiência é caracterizada pela coloração púrpura ou avermelhada nas folhas da parte mais baixa da planta associada ao acúmulo de antocianinas (sintoma muito típico na maioria das culturas, incluindo o milho), retardando a maturação dos cultivos (DECHEN e NACHTIGALL 2007). Portanto, sem fósforo não há produção de alimentos (PANTANO et al., 2016).

A principal origem dos adubos minerais fosfatados são as rochas fosfáticas (CORDELL, 2010) que são finitas e suas jazidas estão ficando cada vez mais escassas (SCHRODER et al., 2010). Alguns estudos apontam que a demanda por fósforo irá duplicar até 2050 e que, até o ano de 2100, as jazidas mundiais tenham se esgotado (CORDELL et al., 2009), ficando claro a necessidade de estudos que foquem na dinâmica do fósforo e os fatores que influenciam sua disponibilidade e absorção.

3.2. Silício no solo e na planta

O silício é constituinte básico da estrutura da maioria dos argilominerais. Os silicatos e os óxidos de silício (SiO_2) são os grupos minerais mais abundantes na crosta terrestre. Entretanto em solos intemperizados, o Si encontra-se, basicamente, na forma de opala e quartzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (KAMPF et al., 2019). E por isso solos mais intemperizados como os latossolos apresentam menores teores de silício, quando comparado a solos mais jovens, como os cambissolos (TISDALE et al., 1985).

O composto de silício presente na fase líquida do solo, na faixa de pH entre 4 e 9, é o monômero H_4SiO_4 (MARSCHNER, 1995). A absorção ocorre de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água (JONES; HANDRECK,

1967). A retenção do silício foi comprovada por Holt & King (1955) por meio do Si^{31} (radioativo) e ocorre por adsorção específica às superfícies dos óxidos de Fe, à semelhança do P (HINGSTON et al., 1972). Fósforo e silício competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção, onde o Si pode deslocar (dissolver) o P, e vice-versa (LEITE, 1997).

Apesar do Si não ser considerado um elemento essencial às plantas, por não atender aos critérios de essencialidade, ele tem apresentado uma série de efeitos benéficos, auxiliando no crescimento e produção das plantas. O silício (Si) e o cobalto (Co) já foram considerados, a princípio, como elementos essenciais para as plantas superiores; entretanto, mais recentemente, têm sido classificados como elementos benéficos, juntamente com o sódio (Na), (FULARNI, 2004)

Segundo Marschner (1995), as diferentes espécies vegetais são classificadas em três grupos de acordo com o percentual de SiO_2 acumulado na matéria seca: acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras. As acumuladoras portam elevado teor silício, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica (exemplo desse grupo: milho, arroz e a cana-de-açúcar). Nas intermediárias, o Si é translocado livremente das raízes para a parte aérea. As cucurbitáceas e a soja enquadram-se neste tipo. As não acumuladoras, apresentam baixoteor de Si, mesmo com altos níveis no meio, indicando um mecanismo de exclusão; a maioria das dicotiledôneas se enquadram nesse grupo.

Estudos tem mostrado o efeito do Si sobre o estresse abiótico. Experimentos realizado por Lima et al (2011), mostrou que o silício aplicado diretamente na solução nutritiva, atenuou os efeitos negativos, no crescimento, promovidos pelo NaCl em plântulas de milho (EPSTEIN, 1999). O acúmulo de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual pela redução de transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORNDORFER et al., 2001), por diminuir a abertura de estômatos (OLIVEIRA; CASTRO, 2002). O Si, em algumas culturas, é capaz de regular a perda de água principalmente quando a planta está sujeita a estresse hídrico (KORNDORFER et al., 2001).

Dentre os vários efeitos benéficos sobre as plantas, podendo-se citar o baixo coeficiente de transpiração, o melhor aproveitamento da água; o maior teor de clorofila e a maior rigidez estrutural dos tecidos, com o aumento da resistência

mecânica das células, deixando as folhas mais eretas e aumentando a área fotossintética e a absorção de CO₂ (EPSTEIN, 1999).

O Si é depositado nas paredes das células dos vasos do xilema, o que confere rigidez e resistência, importante na prevenção da compressão dos vasos sob elevada taxa de transpiração, do acamamento das plantas e, também, da invasão de patógenos e parasitas no córtex. Esse processo não é puramente físico, está sob controle metabólico e dependido do estágio de desenvolvimento da planta (FULARNI, 2004).

3.3. A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) sob o ponto de vista socioeconômico é uma das culturas mais importantes mundialmente (SOLOGUREN, 2015). O milho também é um produto fundamental para a agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do País. No decorrer das últimas décadas, o milho alcançou o patamar de maior cultura agrícola do mundo, sendo a única a ter ultrapassado a marca de 1 bilhão de toneladas, deixando para trás antigos concorrentes, como o arroz e o trigo (CONTINI et al., 2019).

A importância econômica e social do cereal se deve ao fato das cadeias agrícolas e pecuárias serem muito dependentes da sua produção. O milho pode ser destinado à silagem, nesse caso a planta inteira é utilizada como fonte de nutrição animal, ou pode ser utilizado na forma de grão e mais recentemente na produção de etanol e DDGS (subproduto da produção de etanol) (CONTINI et al., 2019).

O estudo de novas fontes de energia renováveis é de extrema importância. Há uma crescente demanda de energia desde a revolução industrial, a qual é dependente do petróleo. O petróleo tende a se esgotar por ser uma matéria-prima não renovável (AMBATET al., 2018). Além disso, a queima de combustíveis fósseis (não renováveis) emite gases tóxicos (CO, CO₂, NO, NO₂ e SO₂), que são conhecidos como gases de efeito estufa (SILVA et al., 2019), fomentando ainda mais a produção de biocombustíveis. Além do milho, a cana-de-açúcar também é uma importante biomassa utilizada na produção de biocombustíveis, mas quando comparado a cana o milho apresenta algumas vantagens como um ciclo de colheita inferior e a possibilidade de armazenamento (MILANEZ et al., 2014).

Apesar de o mercado brasileiro de milho ter apresentado crescimento, o setor ainda precisa solucionar a baixa produtividade observada em algumas regiões (CONTINI et al., 2019). Ao realizar um diagnóstico dos problemas e potencialidades da cadeia do milho no Brasil, Miranda et al. (2014) apontaram os pontos-chaves para o aumento da produção de milho no Brasil e, dentre eles, está o acréscimo de produtividade em áreas que estão abaixo da média nacional e regional. Estudar a relação da cultura com o déficit hídrico é algo que pode maximizar a produção, já que a produção do milho de segunda safra é bem menor quando comparada com a primeira devido à baixa pluviosidade (MIRANDA et al., 2019).

A cultura do milho é versátil e adapta-se a diferentes sistemas de produção. É uma cultura fundamental em programas de rotação e sucessão de culturas em Sistemas de Plantio Direto envolvendo ou não Sistemas de Produção de Integração Lavoura-Pecuária (PEREIRA FILHO et al., 2010). O milho, na maioria das regiões do Brasil, é semeado de outubro até meados de março de acordo com a temperatura e a disponibilidade de água. Para o desenvolvimento adequado do milho, a faixa de temperatura diurna ótima é de 25° a 30°C (MIRANDA et al., 2019). Em condições de temperatura e umidade adequadas, a planta emerge dentro de 4 a 5 dias, porém, em condições de baixa temperatura e pouca umidade, a germinação pode demorar até duas semanas ou mais.

Atualmente há uma vasta oferta de cultivares de milho no mercado. As cultivares são oferecidas com a ausência e a presença de evento transgênico, diferenciais agronômicos e não mais exclusivamente pela forma como são obtidas e mantidas (híbridos e variedades). As cultivares de milho também podem ser classificadas de acordo com a presença ou ausência de eventos transgênicos, sendo denominadas transgênicos ou convencionais (MIRANDA et al., 2019).

3.4. Déficit hídrico

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta afeta de maneira decisiva o crescimento das plantas (MEURER 2007). Estresses abióticos, como a seca, podem reduzir significativamente os rendimentos em lavouras, restringindo as latitudes e os solos onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas. O déficit hídrico, normalmente, é o principal fator responsável por perdas

de produtividade nas lavouras (FARIAS et al., 1993). A maior parte do território nacional apresenta alguns meses secos. Porém, mesmo na estação chuvosa podem existir dias sem chuva (veranicos), o que torna necessário o manejo de irrigação crucial em algumas culturas em algumas regiões (RESENDE et al., 2019).

O déficit hídrico tende a reduzir o crescimento da planta com forte redução na expansão celular, condutância estomática, fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de matéria seca (CEBALLOS et al. 2011). Além disso, os processos fotossintéticos são muito sensíveis ao déficit hídrico, podendo ocasionar a redução da sua parte aérea, a aceleração da senescência, abscisão das folhas, o fechamento estomático e a diminuição da assimilação líquida de CO₂, dentre outros prejuízos (PEREIRA, 2012).

A ausência de água na quantidade necessária para o suprimento das demandas hídricas da cultura o milho, por exemplo, pode justificar seu menor potencial produtivo na segunda safra. Sendo a diminuição da quantidade e da regularidade das chuvas um dos fatores que contribuem para isto nesta época do ano, comparativamente ao cultivo no período das chuvas ou sob irrigação (DE RESENDE et al., 2018).

A necessidade hídrica do milho depende de vários aspectos, destacando-se o clima, o estágio fenológico da cultura, o espaçamento entre plantas, o índice de área foliar, as condições nutricionais e fitossanitárias, entre outros. (BERGAMASCHI et al., 2004). Como o milho, na maioria das regiões do Brasil, é semeado de outubro até meados de março (MIRANDA et al., 2019) a deficiência hídrica é mais acentuada quanto mais tardia a data de semeadura do milho (SIMÃO et al., 2018).

O milho é considerado uma cultura exigente em água e a ocorrência de déficit hídrico, pode ocasionar danos em todas as fases. Na fase do crescimento vegetativo, devido ao menor alongamento celular e à redução da massa vegetativa, há uma diminuição na taxa fotossintética. Após o déficit hídrico, a produção de grãos é afetada diretamente, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética, justificando o fato da definição da época de plantio ser baseada na distribuição das chuvas (exceto nas regiões com altitudes superiores a 1300 m, sendo essa definidas pela temperatura) (MIRANDA et al., 2019).

Essa grande susceptibilidade da cultura do milho ao déficit hídrico, na fase inicial de crescimento, é ainda mais relevante quando se considera que o P é um elemento essencial que sua ausência no início do desenvolvimento do milho pode causar danos irreversíveis, limitando seriamente a produção (GRANT et al, 2001). E o suprimento do P está intimamente ligado a disponibilidade de água no solo já que o principal mecanismo de transporte do fósforo no solo é a difusão, que é um processo na qual o elemento caminha numa fase aquosa estacionária, indo de uma região de maior concentração para outra de menor concentração (MALAVOLTA 1984).

Além disso, no milho, o maior crescimento inicial pode incrementar o aproveitamento da radiação solar disponível no início do seu ciclo, aumentando a disponibilidade de carboidratos para a diferenciação de um maior número de espigas por planta (ALMEIDA et al., 2003). O efeito do fósforo na cultura do milho se deve ao fato de plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes (BASTOS et al., 2009)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta e caracterização do solo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo coletado no município de Viçosa, MG, na profundidade de 0-40 cm. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 4 mm, para manter a micro agregação. Subamostras do solo foram passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e realizada a caracterização física e química do solo (Tabela 1 e 2), ambas seguindo o método da Embrapa (2017).

Tabela 1. Caracterização química do latossolo utilizado no experimento coletado no município de Viçosa-MG na profundidade de 0-40 cm.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T
	-----mg dm ⁻³ -----		cmol _c dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
5,08	0,3	17,0	0,30	0,17	0,97	5,0	0,51	1,48	5,51
V	M	MO	P-rem	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
%	%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	-----mg dm ⁻³ -----					
9,3	65,5	2,37	13,1	11,2	0,40	1,73	8,0	34,9	0,39

Tabela 2. Caracterização física do latossolo utilizado no experimento, coletado no município de Viçosa-MG na profundidade de 0-40 cm.

Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classificação textural	Densidade de partícula (g cm ⁻³)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Capacidade de Campo (g kg ⁻¹)
0,140	0,150	0,098	0,612	Muito argiloso	2,6	0,96	360

4.2. Esquema fatorial e dosagem dos fertilizantes

O experimento foi conduzido em esquema fatorial triplo, seguindo delineamento experimental de blocos casualizados. Os tratamentos consistiram de quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 mg dm⁻³), com e sem aplicação silício (0 e 375 mg dm⁻³) e com e sem déficit hídrico (50 e 80% da capacidade de campo – CC), compondo o fatorial 4 x 2 x 2, distribuídos em quatro blocos, totalizando 64 unidades experimentais (64 vasos).

Antes do semeio, foram pesados 4 kg de solo para cada unidade experimental que recebeu silício, acondicionados em sacos plásticos e adicionada quantidade referente à dose de 375 g dm⁻³. Para fornecimento de Si utilizou-se silicato de cálcio (CaSiO₃). Com o intuito de garantir a solubilização do Si e sua interação com o complexo sortivo, os solos foram mantidos na umidade referente a 80 % da CC durante 40 dias. Nos tratamentos que não receberam silício, a fase de incubação foi realizada com carbonato de cálcio (CaCO₃), numa dosagem equivalente ao teor de Ca do silicato de cálcio para que o Ca não passasse a ser um fator de interferência

no experimento. Os sacos foram abertos em dias alternados para realizar o controle da umidade do solo e a ocorrência das trocas gasosas do sistema (Figura 1).

Após os 40 dias de incubação, o solo recebeu a adubação fosfatada (fosfato monoamônico- MAP), nas doses correspondentes. A fonte fosfatada usada, o MAP, além de ser fonte de P, também fornece N ao solo, e para que não houvesse influência desse elemento no experimento, os tratamentos que não receberam a dose máxima de MAP, receberam doses de nitrato de amônio, a fim de que todos os tratamentos independentes da dose de P, recebesse a mesma quantidade de N.

4.3. Plantio e cultivo do milho

O plantio do milho foi realizado no mesmo dia adubação fosfatada (após 40 dias de incubação). Foram semeadas 4 sementes da cultivar 30F35R por vaso, que é uma cultivar amplamente utilizada, devido à precocidade e alta produtividade. Todos os vasos continuaram a serem mantidos à 80 % da CC e somente quando as plantas de milhos apresentaram um par de folhas completamente expandidas, iniciou-se o déficit hídrico, nos tratamentos correspondentes, e foi realizado o desbaste (mantendo duas plantas por vaso). A manutenção da umidade foi feita com o monitoramento do peso do vaso, diariamente. Os vasos eram pesados individualmente e a água foi repostada diariamente até o nível corresponde a 50% ou 80% da capacidade de campo.

O milho foi cultivado por 40 dias (Figura 1), após a emergência, que ocorreu 5 dias em média após o semeio. Ao longo desse período, além do controle da umidade, diário, também foi realizado duas adubações basais para o fornecimento de todos os macros e micros nutrientes (exceto Ca e P). No término do período de cultivo, a parte aérea das plantas foram cortadas rente ao solo e secas em estufa de circulação forçada, até peso constante, para a determinação de massa de matéria seca, moídas e digeridas para avaliação de conteúdo de Si, P, Ca e Mg nas plantas. A digestão de Si foi realizada com H_2O_2 e NaOH seguindo a metodologia de Korndörfer e Nolla (2004). Foi utilizado 0,1 g de matéria seca da planta, 2 mL de H_2O_2 e 3 mL NaOH. Após a completa digestão, coletou-se e filtrou-se alíquotas de 2 mL para a leitura. Além do extrator, foi adicionado 18 mL de água (proporção 1:10 de extrato água⁻¹) e 6 mL do reagente trabalho (2mL de HCl e 4 mL de molibdato de amônio). Os demais elementos foram extraídos com ácido nítrico e ácido perclórico seguindo a metodologia da Embrapa (2017). Após o corte das plantas foi realizada também a coleta de amostras de solo em cada um dos vasos. A coleta foi realizada em toda o

perfil do vaso com auxílio de um trado, para a determinação do pH e teores de Si, P, Ca e Mg solúveis do solo.

A extração de Si foi realizada com cloreto de cálcio, que é um sal que tem a capacidade de extrair o Si "disponível" que se encontra principalmente na solução do solo, podendo extrair algumas formas pouco polimerizadas. A proporção solo-extrator foi de 1:10 (4 mL de solo e 40 mL de extrator) e a concentração do CaCl foi 10 mmol L⁻¹. Além do extrator (que ficou em contato com o solo por 12 h) pouco antes da leitura, as amostras receberam solução sulfo-molíbdica (H₄SiO₄), que desenvolve a cor amarela nas amostras e ácido tartárico 200 mg L⁻¹ (utilizado para complexar o P da solução). A determinação de silício no solo foi realizada por Colorimetria. Com a adição de solução de ácido ascórbico (a redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul), e a leitura foi realizada em Espectrofotômetro UV-Visível no comprimento de onda de 660 nm. Os demais atributos químicos foram determinados seguindo a metodologia da Embrapa (2017).

4.4. Plantio, cultivo e rebrota da braquiária

Dez dias após o corte das plantas de milho, foi realizado o semeio da braquiária (Figura 1). A sucessão de cultivo nesse estudo teve como objetivo incluir uma segunda planta- teste nas variáveis desse estudo. Foram semeadas 6 sementes de braquiária decumbens por vasos. O semeio foi realizado com os vasos à 80 % da CC e quando as plantas apresentaram um par de folhas completamente expandidos foi realizado o desbaste (mantendo-se 4 plantas por vaso) e iniciou-se o déficit hídrico. Ao longo de todo o cultivo, foi realizada a manutenção da umidade e a adubação basal, da mesma forma que no cultivo do milho. A braquiária foi cultivada por 60 dias e ao término do cultivo, as plantas foram cortadas rente ao solo, secas, pesadas, moídas e submetidas a digestão para determinação de Si, P, Ca e Mg (com a mesma metodologia realizada anteriormente no milho).

Após o corte da braquiária, o solo do vaso se manteve da mesma forma, sem perturbação (não foi realizada coleta) e todos os vasos foram retornados à umidade de 80 % da CC. Com essas circunstâncias, foi possibilitado que a braquiária rebrotasse e quando as plantas atingiram um par de folhas completamente expandido, iniciou-se novamente, o déficit hídrico nos tratamentos correspondentes (Figura 1). A rebrota da braquiária foi cultivada por 70 dias e ao término do cultivo, as plantas foram cortadas rente ao solo, secas, pesadas, moídas e submetidas a digestão para

determinação de Si, P, Ca e Mg e amostras de solo foram retiradas em todo o perfil do vaso para a determinação do pH e teores de Si, P, Ca e Mg do solo com a mesma metodologia realizada anteriormente no milho e na braquiária.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e modelos de regressão em função das doses, que foram selecionados com base na significância dos coeficientes ($P < 0,05$).

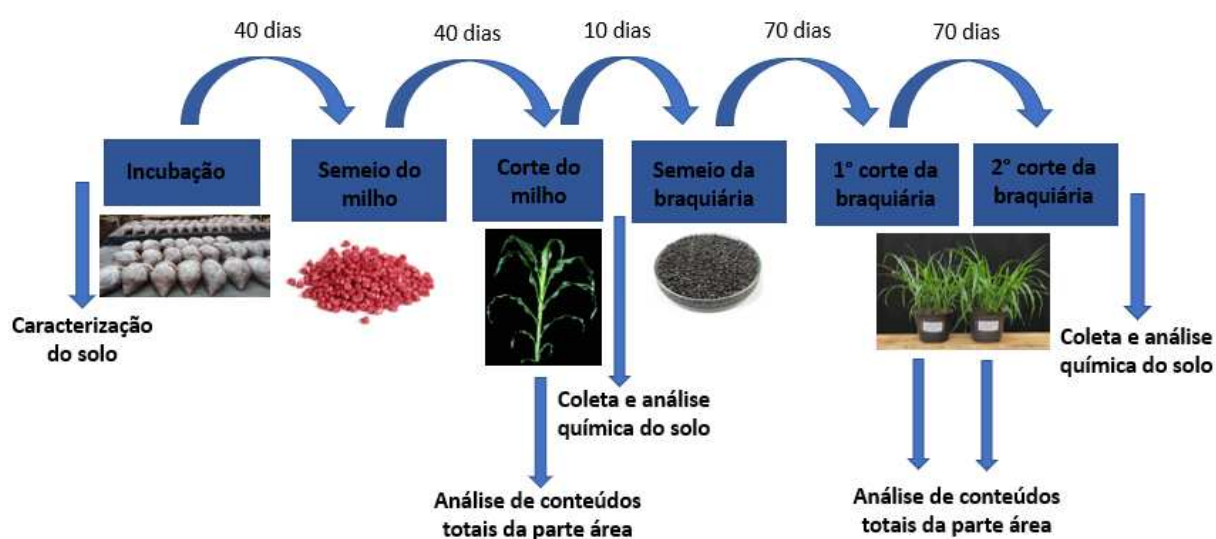


Figura 1. Esquema temporal da condução do experimento e suas etapas.

5. RESULTADOS

5.1. Produção de matéria seca e conteúdo de nutrientes nas plantas de milho

A análise de variância demonstrou a existência de interação tripla significativa entre as doses de P, a presença de Si e do déficit hídrico (DH) para os conteúdos de Si, Ca e Mg, na planta. Entre as doses de P e a presença de DH, foi verificada interação dupla significativa para os conteúdos de P e produção de matéria seca da parte aérea (MSPA). A presença ou ausência de Si também apresentou diferença significativa para os conteúdos de P (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da ANOVA e coeficiente de variação (CV) para o conteúdo de silício, fósforo, cálcio, magnésio e acúmulo de matéria seca de plantas de milho (MSPA) em função dos tratamentos com diferentes fornecimentos de fósforo (P), silício (Si) e água (DH) no solo (40 dias após a emergência, Viçosa-MG).

FV	GL	-----Quadrado médio-----				
		Si	P	Ca	Mg	MSPA
P	3	17348,3122*	10,7634*	28716,8416*	1305,5391*	302,8416*
Si	1	576,7202*	6,8972*	52739,6966*	713,4241*	0,2335
DH	1	133246,9009*	4091,6811*	318560,0591*	9961,5371*	1976,6471*
P x Si	3	788,2470*	3,8730	5589,8309*	69,7970*	0,3199
P x DH	3	15024,0461*	947,0733*	27512,7940*	1142,5027*	259,6362*
DH x Si	1	587,4564*	5,8625	34168,1361*	457,3182*	0,1176
P x Si x DH	3	817,5089*	1,9332	5795,8484*	55,4292*	0,5107
Bloco	3	43,3924	1,4558	48,4153*	0,6808*	0,9591
CV	-	13,02	13,30	4,46*	7,80	11,13

QL = Grau de liberdade. Números seguidos de “*” indicam interação significativa a 0,05 de significância pelo teste F.

De acordo com os resultados obtidos, no desdobramento da interação para as doses de fósforo para cada nível de fornecimento de água e silício, maiores doses de P proporcionaram incrementos no conteúdo de Si nas plantas de milho avaliadas independentemente da ausência ou presença de DH (Figura 2A e 2B). O conteúdo de P nas plantas e a produção de MSPA apresentaram incrementos com o aumento das doses de P apenas nos tratamentos sem DH (Figura 2C e 2H). Já nos tratamentos com DH não houve diferença significativa entre as doses de P. Os conteúdos de Ca e Mg, diferentemente do conteúdo dos de Si e P, apresentaram comportamento quadrático com o aumento das doses de P (Figura 2D, 2E, 2F, 2H). Em que, na ausência de déficit hídrico, os tratamentos que receberam a dose de 100 e 200 mg dm⁻³ de P apresentaram os maiores conteúdos de Ca (Figura 2D e 2E). Já o conteúdo

de Mg no milho, na presença e na ausência de DH foi superior na dose 200 mg dm⁻³ de P, seguido da dose 300, 100 e 0 mg dm⁻³ de P (Figura 2F e 2G).

O conteúdo de Si nas plantas de milho, na dose 0 de P, não foi influenciado pela ausência ou presença do DH. Já para os tratamentos que apresentaram adubação fosfatada (dose 100, 200 e 300 mg dm⁻³ de P) as plantas dos tratamentos que estavam sob déficit hídrico, apresentam conteúdo menores de Si, independente da ausência ou presença da aplicação do silicato (Tabela 4). A aplicação de silicato nem sempre proporcionou maiores conteúdos de Si nas plantas de milho (Tabela 5).

Em todas as doses de P, os tratamentos que receberam DH, tiveram conteúdos de Ca inferiores, quando comparado aos tratamentos que não receberam DH, independente da aplicação ou não do Si, (Tabela 7). E todos os tratamentos que receberam Si, tiveram conteúdos de Ca inferiores, quando comparado aos tratamentos que não receberam Si (na forma de silicato) e sim carbonato de Ca, independente da presença ou não do DH (Tabela 8).

Em todas as doses de P, os tratamentos que receberam DH, tiveram conteúdos de Mg inferiores, quando comparado aos tratamentos que não receberam DH, independente da aplicação ou não do Si, (Tabela 9). Nos tratamentos com as maiores doses de P (200 e 300 mg dm⁻³), a absorção de Mg sofreu influência da presença de silício. Os tratamentos com Si apresentaram maiores conteúdos quando comparados aos tratamentos sem o elemento. Para as doses mais baixas de P (0 e 100 mg dm⁻³), não foram registradas interferências da presença do Si sobre a absorção do Mg. Os tratamentos com 0 e 100 mg dm⁻³ não apresentaram diferenças significativas para os teores de Mg quando comparados os conteúdos na presença e ausência de silício (Tabela 10).

A MSPA, na dose 0 de P, não sofreu influência da presença do DH. Entretanto, nas demais doses, as plantas dos tratamentos que receberam DH apresentaram MSPA inferiores quando comparadas às plantas que estavam sob regime hídrico normal, independente da aplicação do silicato (Tabela 11).

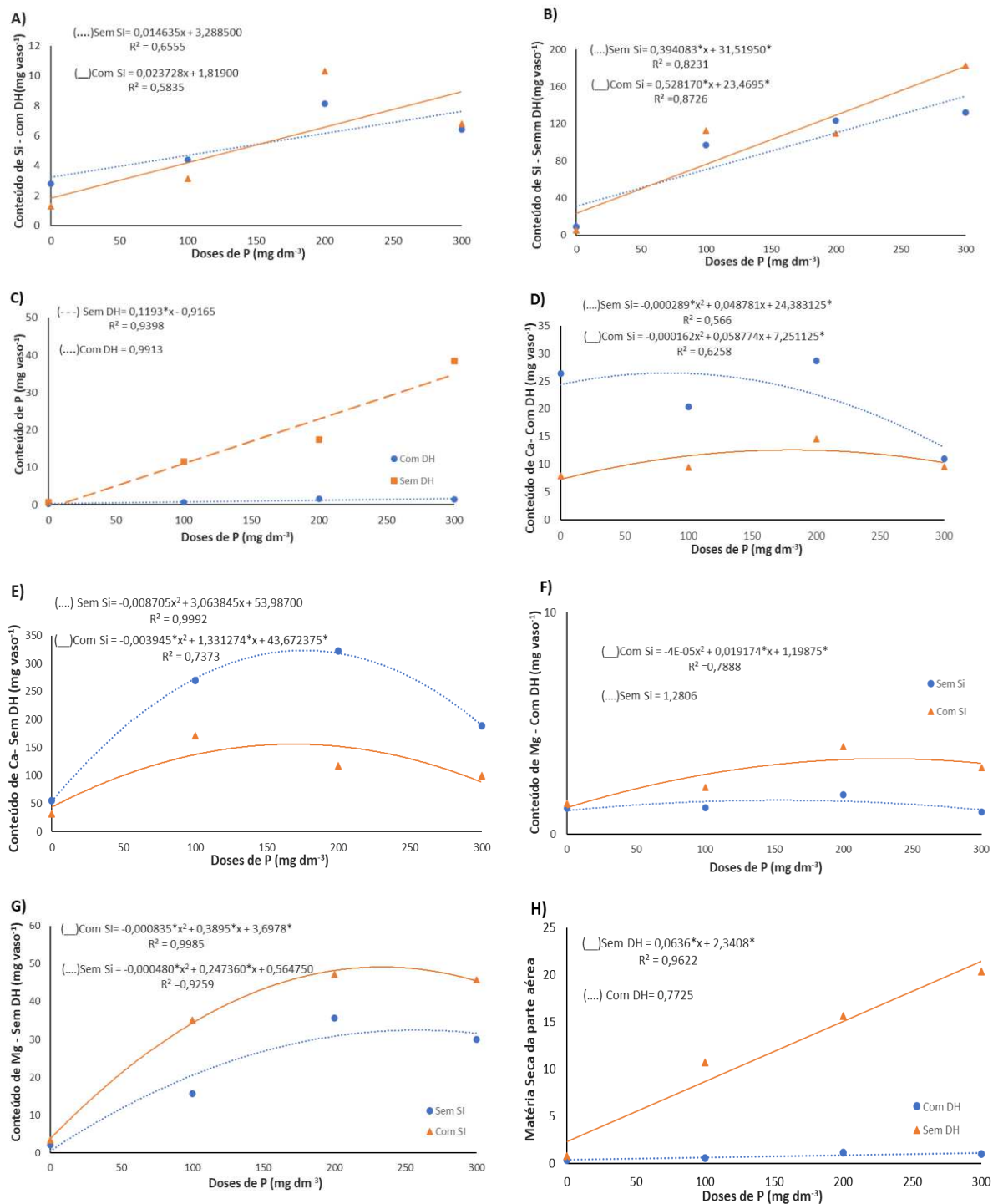


Figura 2. Conteúdo de nutrientes e massa seca da parte aérea do milho, após 45 dias de semeio, sob diferentes doses de P, na presença ou na ausência de Si e de déficit hídrico. Com DH = Déficit hídrico (45 % da capacidade de campo); Sem DH = Sem Déficit hídrico (80 % da capacidade de campo); Com Si = Com Si, solo incubado com silicato de Cálcio; Sem Si = Sem Si, solo incubado com carbonato de cálcio.

Tabela 4. Conteúdo de Si em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de silicato de cálcio. Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5 % entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Sem Silicato-----			
Com	2,7875 A	4,3950 B	8,1325 B	6,4200 B
Sem	9,4825 A	97,4100 A	123,4825 A	132,1525 A
	-----Com Silicato-----			
Com	1,2850 A	3,1175 B	10,3150 B	6,7950 B
Sem	5,4700 A	112,9125 A	109,8500 A	182,5475 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Tabela 5. Conteúdo de Si em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de déficit hídrico.

Silicato	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Com Déficit hídrico-----			
Sem	2,7875 A	4,3950 A	8,1235 B	6,4200 A
Com	1,2850 B	3,1175 B	10,3150 A	6,7550 A
	-----Sem Déficit hídrico-----			
Sem	9,4825 A	97,4100 B	123,4825 A	132,1525 B
Com	5,4777 B	112,9125 A	109,8500 B	182,5475 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 6. Conteúdo de P em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio.

	Com Déficit hídrico	Sem Déficit hídrico
Com Silicato	0,9656 Ab	16,3519 Ba
Sem Silicato	1,0169 Ab	17,6138 Aa

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato e letras minúscula entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Tabela 7. Conteúdo de Ca em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de silicato de cálcio no solo.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Com Silicato-----			
Com	7,9350 B	9,4550 B	14,5700 A	9,6025 B
Sem	32,2550 A	171,6000 A	117,8675 B	99,4050 A
	-----Sem Silicato-----			
Com	26,3900 B	20,3525 B	28,6075 B	11,0175 B
Sem	55,2525 A	269,5300 A	322,3725 A	188,4700 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Tabela 8. Conteúdo de Ca em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de déficit hídrico no solo.

Silicato	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Com Déficit hídrico-----			
Com	7,9350 B	9,4550 B	14,5700 B	9,602500 A
Sem	26,3900 A	20,3525 A	28,6075 A	11,0175 A
	-----Sem Déficit hídrico-----			
Com	32,2550 B	171,6000 B	117,8675 A	99,4050 B
Sem	55,2525 A	269,5300 A	322,3725 B	188,4700 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 9. Conteúdo de Mg em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de silicato de Ca no solo.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Com Silicato-----			
Com	1,3925 B	2,1025 B	3,9550 B	2,9975 B
Sem	3,3925 A	35,2200 A	47,2975 A	45,7300 A
	-----Sem Silicato-----			
Com	1,1550 A	1,1950 B	1,7675 B	1,0050 B
Sem	2,1550 A	15,7500 A	36,6135 A	30,0325 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Tabela 10. Conteúdo de Mg em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de déficit hídrico no solo.

Silicato	Dose de P (mg dm ⁻³)			
	0	100	200	300
	-----Com Déficit hídrico-----			
Com	1,3925 B	2,1025 B	3,9550 B	2,9975 B
Sem	1,1550 A	1,1950 A	1,7675 B	1,0050 B
	-----Sem Déficit hídrico-----			
Com	3,3925 A	35,2200 A	47,29775 A	45,7300 A
Sem	2,1500 A	15,7500 A	35,6125 B	30,0325 B

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 11. Matéria seca da parte área (MSPA) e conteúdo de P em plantas de milho coletadas 45 dias após o semeio, na presença e na ausência de déficit hídrico e silicato no solo.

----Déficit hídrico----	-----Dose de P (mg mg ⁻³)-----			
	0	100	200	300
	-----MSPA (g)-----			
Com	0,3729 A	0,5404 B	1,18890 B	0,9880 B
Sem	0,79640A	10,7250A	15,6625 A	20,3658 A

	Conteúdo de P (mg dm ⁻³)			
Com	0,2900 A	0,6000 B	1,6013 B	1,4738 B
Sem	0,6150 A	11,4825 A	17,4225 A	38,4130 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

5.2 Solo após o cultivo do milho

A análise de variância indicou que houve interação tripla significativa (entre a dose de P, a presença de Si e de DH) apenas nos teores de Mg. Houve interação significativa entre as doses de P e DH para o pH, teores e P e Mg. Para a interação das doses de P e Si não houve interação significativa, mas houve interação para a presença e a ausência de Si no pH e nos teores de Ca (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da ANOVA e coeficiente de variação (CV) para o teor de silício, fósforo, cálcio, magnésio e pH do solo em função dos tratamentos com diferentes fornecimentos de fósforo (P), silício (Si) e água (DH) no solo após 40 dias de incubação e 45 dias de cultivo com milho.

FV	GL	----- Quadrado médio-----				
		Si	P	Ca	Mg	pH
P	3	6,6877*	5841,3259*	0,1741*	0,0372	0,3167*
Si	1	0,1511	24,267939*	9,1658*	11,2896*	0,2984*
DH	1	0,3039	203,4546*	0,0612	0,000006	3,3169*
P x Si	3	0,0840	13,2060	0,0208	0,0507	0,0190
P x DH	3	0,0505	44,0190*	0,0639	0,0603*	0,7642*
DH x Si	1	0,1570	2,1941	0,1260	0,0841	0,0129
P x Si x DH	3	0,1668	1,7776	0,0711	0,0543*	0,0359
Bloco				0,1692*	0,0224	0,0304
CV	-	6,42	10,94	10,23	18,19	2,49

QL = Grau de liberdade. Números seguidos de “*” indicam interação significativa a 0,05 de significância pelo teste F.

Doses crescentes de P, aplicadas ao solo, proporcionaram teores crescentes nos teores de Si e P no solo (Figura 3A e 3B). Teores de Mg, sem DH e na ausência de Si apresentaram comportamento quadrático a partir das doses de P, as maiores doses foram nos tratamentos com dose 0 de P e 300 mg dm³ (Figura 3E). Para os teores de Mg com DH, teores de Ca e pH não houve diferença significativa para as diferentes doses de P (Figura 3C, 3D, 3E e 3F).

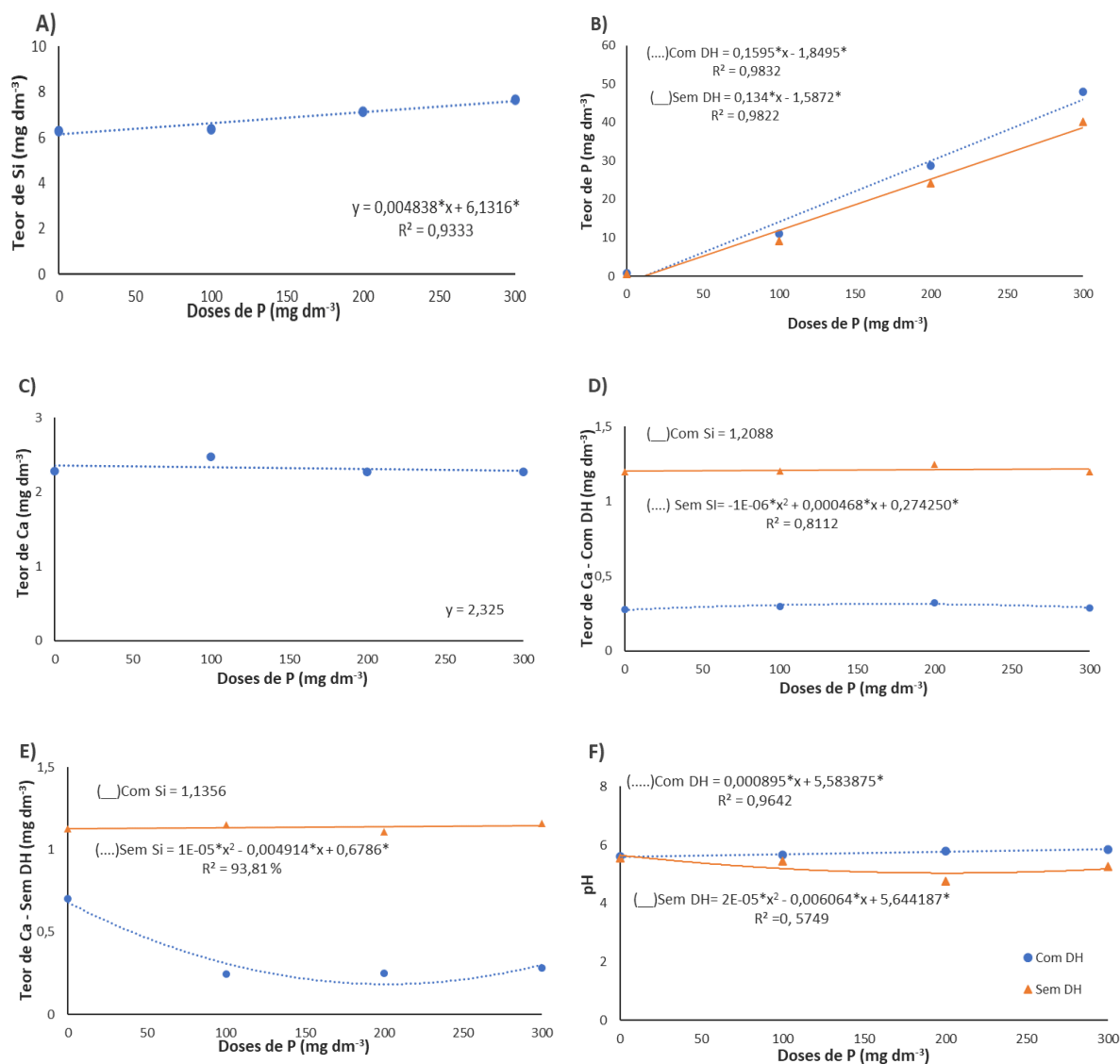


Figura 3. Atributos químicos do solo (após 40 dias de incubação mais 45 dias de cultivo com milho e 70 dias de cultivo com braquiária), sob diferentes doses de P, na presença ou na ausência de Si e de déficit hídrico. Com DH = Déficit hídrico (45 % da capacidade de campo); Sem DH = Sem déficit hídrico (80 % da capacidade de campo); Com Si = Com Si, solo incubado com silicato de Cálcio; Sem Si = Sem Si, solo incubado com carbonato de cálcio

A presença ou ausência de DH, influenciou os teores de P, nos solos dos tratamentos que receberam a dose 200 e 300 mg dm⁻³ de P. Nos demais tratamentos (dose 0 e 100 mg dm⁻³ de P) não houve diferença significativa, no teor de P, quando comparada a ausência e a presença de DH (Tabela 13). Nos tratamentos que não receberam silicato o teor de Ca e o valor pH no solo foram maiores e menores, quando comparado aos tratamentos que receberam silicato (Tabela 14).

Tabela 13. Teor de P no solo (mg dm⁻³) 45 dias após o cultivo de milho adubado com diferentes doses de P, com e sem silicato de cálcio na presença e ausência de déficit hídrico.

----Déficit hídrico----	-----Dose de P (mg dm ⁻³) -----			
	0	100	200	300
Com	0,6838 A	10,9400 A	28,7525 A	47,9100 A
Sem	0,6063 A	9,0625 A	24,1138 B	40,2400 B

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

Tabela 14. Teor de Ca (mg dm⁻³) e valores de pH, 45 dias após o cultivo de milho adubado com diferentes doses de P, com e sem silicato de cálcio na presença e ausência de déficit hídrico.

Silicato	Teor de Ca	pH
Sem	2,7034 A	5,42 B
Com	1,9466 B	5,56 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

A adição do silicato proporcionou maiores teores de Mg no solo, em todos os tratamentos que receberam adubação fosfatada (dose 100, 200 e 300), independente da ausência ou presença de DH. Já para os tratamentos que não receberam adubação fosfatada (dose 0 de P), não houve diferença significativa, para o teor de Mg no solo, entre os tratamentos que receberam e não receberam silicato, para a presença e ausência de DH (Tabela 15).

Tabela 15. Teor de Mg no solo (mg dm^{-3}) 45 dias após o cultivo de milho adubado com diferentes doses de P, na presença e na ausência de déficit hídrico e com e sem silicato.

Silicato	Dose de P (mg dm^{-3})			
	0	100	200	300
	-----Com Déficit hídrico-----			
Sem	0,2775 A	0,2975 B	0,3225 B	0,2875 B
Com	1,1950 B	1,2000 A	1,2450 A	1,1950 A
	-----Sem Déficit hídrico-----			
Sem	0,7000 A	0,2450 B	0,2475 B	0,2800 B
Com	1,1250 B	1,1500 A	1,1100 A	1,1575 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

A presença ou ausência de DH, não ocasionou diferença significativa entre os teores de Mg no solo, em todas as doses de P que não receberam silicato. Já os tratamentos que receberam silicato, e não foram submetidos ao DH, apresentaram maiores teores de Mg no solo, quando comparado aos tratamentos que receberam dose 0 de P e foram submetidos ao DH. Para as demais doses de P, na presença de silicato, não houve diferença significativa entre a ausência e a presença de DH (Tabela 16).

Tabela 16. Teor de Mg no solo (mg dm^{-3}) 45 dias após o cultivo de milho adubado com diferentes doses de P, com e sem silicato e na presença e na ausência de déficit hídrico

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm^{-3})			
	0	100	200	300
	-----Com Silicato-----			
Com	0,2775 B	0,2975 A	0,3225 A	0,2800 A
Sem	0,7000 A	0,2450 A	0,2475 A	0,2875 A
	-----Sem Silicato-----			
Com	1,1950 A	1,2000 A	1,2450 A	1,1950 A
Sem	1,1250A	1,5000 A	1,1100 A	1,1575 A

Letras distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de déficit hídrico.

5.3 Braquiária

Nos vasos que continham dose 0 de P, as sementes emergiram, mas as plantas morreram logo após a emergência, não havendo, dessa maneira, material suficiente para as análises. Dessa forma, o esquema fatorial, nas avaliações de braquiária,

passou a ser: 3 x 2 x 2, sendo 3 doses de fósforo, presença ou ausência de Si e presença ou ausência de DH.

A análise de variância indicou que a interação tripla (P x Si x DH) foi significativa para todas as variáveis analisadas (conteúdo de Si, P, Ca, Mg e MSPA) (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da ANOVA e coeficiente de variação (CV) para o conteúdo de silício, fósforo, cálcio, magnésio e massa seca da parte aérea (MSPA), em função dos tratamentos com diferentes fornecimentos de fósforo (P), silício (Si) e água (DH) em plantas de braquiária coletadas 70 dias após a emergência e 70 dias após a primeira rebrota

FV	GL	-----Quadrado médio-----				
		Si	P	Ca	Mg	MSPA
P	2	3240,6688*	948,6871*	1553,1252*	713,2600*	92,5160*
Si	1	356,5390	0,6008	4774,0352*	8431,7707 *	3,0000*
DI	1	253664,8408*	2712,7651*	67854,4641*	21686,9016*	2186,7300*
P x Si	2	392,4828	2,1494	0,9063	214,3112*	2,0737*
P x DI	2	94,9309	194,3152*	299,1742*	71,5082*	9,2466*
DI x Si	1	2473,6537*	66,2465*	126,1008*	5582,3160 *	28,6443*
P x Si x DI	2	788,3713*	16,4870*	227,1808*	183,3124*	5,3784*
Bloco	3	550,6232	4,2509	15,7906	12,7808 *	0,2856*
CV	-	11,17	10,61	3,72	4,91	4,35

QL = Grau de liberdade. Números seguidos de “*” indicam interação significativa a 0,05 de significância pelo teste F.

Os tratamentos que receberam a dose 100 de P apresentaram menores conteúdos de Si, quando comparados aos tratamentos que receberam a dose 200 e 300. Na presença ou na ausência de silicato, não houve diferença significativa entre as doses 200 e 300 de P para o conteúdo de Si (Tabela 18). Na presença de DH, dentre as doses 200 e 300 de P, os tratamentos que não foram incubados com silicato (e sim com carbonato) apresentaram maiores conteúdos de Si (Tabela 19).

Tabela 18. Conteúdo de Si, da parte aérea de braquiária, na presença e na ausência de déficit hídrico, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de silicato

Dose P	Com Silicato	Sem Silicato
	Com Déficit hídrico	Sem Déficit hídrico
100	49,0050 Aa	51,6150 Ba
200	56,2800 Ab	82,3925 Aa
300	56,6825 Ab	87,3850 aa
100	189,2350 Ba	190,9700 Ba
200	233,4525 Aa	202,5400 ABb
300	218,5275 Aa	220,9850 Aa

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias).

Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 19. Conteúdo de Si, da parte aérea de braquiária, na ausência e na presença de silicato, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)		
	100	200	300
-----Sem Silicato-----			
Com	51,6150 Bb	82,3925 Ba	87,3850 Ba
Sem	190,9700 Ab	202,5400 Aab	20,9850 Aa
-----Com Silicato-----			
Com	49,0050 Ba	56,2800 Ba	56,6825 Ba
Sem	189,2350 Ab	233,4525 Aa	218,5275 Aa

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Doses crescentes de P proporcionaram conteúdos crescentes de P, independente da ausência ou presença de silicato e DH (Tabela 20). Em todas as doses de P, os tratamentos que estavam na presença de déficit hídrico apresentam conteúdos de P, significativamente maiores que os tratamentos que estavam sob regime hídrico normal (Tabela 21).

Tabela 20. Conteúdo de P, da parte aérea de braquiária, na presença e na ausência de déficit hídrico, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de silicato.

Dose P	Com Silicato	Sem Silicato
	Com Déficit hídrico	
100	6,3637 Ba	6,3800 Ca
200	8,7525 Bb	11,8500 Ba
300	13,2575 Ab	16,5250 Aa
-----Sem Déficit hídrico-----		
100	15,9525 Ca	15,5575 Ca
200	24,2600 Ba	22,1475 Ba
300	40,3200 Aa	35,1075 Ab

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 21. Conteúdo de P, da parte aérea de braquiária, na ausência e na presença de silicato de cálcio, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)		
	100	200	300
----- Sem Silicato -----			
Com	6,3800 Bc	11,8500 Bb	16,5250 Ba
Sem	15,5575 Ab	22,1475 Ab	35,1075 Aa
----- Com Silicato -----			
Com	6,3675 Bb	8,7525 Ba	13,2575 Ba
Sem	15,9525 Ac	24,2600 Ab	40,3200 Aa

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Nos tratamentos que estavam sob déficit hídrico, o conteúdo de cálcio foi menor na dose 100 de P, seguida do conteúdo de Ca, dos tratamentos que receberam a dose 200 e a dose 300, as quais não tiveram diferença significativa. Já para os tratamentos que não estavam sob déficit hídrico, doses crescentes de P proporcionou um maior conteúdo de Ca, nos tratamentos sob regime hídrico normal (Tabela 22).

Na presença e na ausência de DH, em todas as doses de P, os tratamentos que não receberam silicato (e sim carbonato) apresentaram conteúdo de Ca significativamente maiores, quando comparado aos tratamentos que receberam silicato (Tabela 22).

Na presença e na ausência de silicato, em todos as doses de P, os tratamentos que estavam sob DH apresentaram conteúdos de Ca menores, quando comparados aos tratamentos que não receberam DH (Tabela 23).

Tabela 22. Conteúdo de Ca, da parte aérea de braquiária, na presença e na ausência de déficit hídrico, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de silicato.

Dose P	Com Silicato	Sem Silicato
	Com Déficit hídrico	
100	21,9600 Bb	30,2400 Ba
200	27,3575 Ab	48,3275 Aa
300	27,5975 Ab	48,4600 Aa
----- Sem Déficit hídrico -----		
100	79,7575 Cb	111,9050 Ca
200	99,7550 Bb	117,6850 Ba
300	113,2675 Ab	132,7525 Aa

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 23. Conteúdo de Ca, da parte aérea de braquiária, na ausência e na presença de Si (375 mg dm⁻³), aplicado ao solo na forma de silicato, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico. As plantas de braquiária foram submetidas às análises, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias).

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)		
	100	200	300
	Sem silicato		
Com	30,2400 Bb	48,4600 Ba	48,3275 Ba
Sem	111,9050 Ac	117,6850 Ab	132,7525 Aa
	Com silicato		
Com	21,9600 Bb	27,5975 Ba	27,3575 Ba
Sem	75,7575 Ac	99,7550 Ab	113,2675 Aa

Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre a presença e ausência de déficit hídrico. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de P.

Nos tratamentos com DH que dose 100 P, apresentaram conteúdo de Mg, inferiores quando comparados às demais doses (200 e 300 mg dm⁻³) as quais não apresentam diferença significativas entre Si (Tabela 24). Já nos tratamentos sem DH, doses crescentes de P proporcionaram conteúdos crescente de Mg nas plantas de braquiária (Tabela 24). Os tratamentos que receberam silicato de Ca, apresentaram conteúdo de Mg maior, quando comparado aos tratamentos que não receberam, independente da presença ou ausência de DH. (Tabela 24).

Os tratamentos que não estavam sob DH apresentaram conteúdo de Mg maior, quando comparado aos tratamentos que estavam sob DH, independente da presença ou ausência de silicato. (Tabela 25).

Tabela 24. Conteúdo de Mg, da parte aérea de braquiária, na presença e na ausência de déficit hídrico, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de silicato de cálcio.

Dose P	Com Silicato	Sem Silicato
	Com Déficit hídrico	
100	20,9150 Ba	16,6175 Bb
200	27,9075 Aa	22,5125 Ab
300	30,2150 Aa	25,0900 Ab
	Sem Déficit hídrico	
100	72,8275 Ca	40,1700 Bb
200	95,8300 Ba	41,0075 Bb
300	102,6200 Aa	45,8725 Ab

As plantas foram submetidas à análise, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias).

Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a presença e ausência de silicato.

Tabela 25. Conteúdo de Mg, da parte aérea de braquiária, na ausência e na presença de silicato de cálcio, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico.

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)		
	100	200	300
	Sem silicato		
Com	16,6175 Bb	22,5125 Ba	25,0900 Ba
Sem	41,0075 Ab	40,1700 Ab	45,8725 Aa
	Com silicato		
Com	20,9150 Bb	27,9075 Ba	30,2150 Ba
Sem	72,8275 Ac	95,8300 Ab	102,6200 Aa

As plantas de braquiária foram submetidas às análises, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre a presença e ausência de déficit hídrico. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de P.

Comparando as 3 doses de P, os menores valores de MSPA foi observado nos tratamentos que receberam a dose 100. Não houve diferença significativa entre as doses 200 e 300 de P, para a MSPA, exceto para os tratamentos sem DH, que receberam silicato (Tabela 26).

Todos os tratamentos que estavam sob DH, apresentaram valores de MSPA menores quando comparados aos tratamentos que estavam sob regime hídrico normal, independente da ausência ou presença de silicato e DH (Tabela 27).

Tabela 26. Matéria seca da parte área de braquiária, na ausência, e na presença de silicato de cálcio, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico.

Dose P	Com Silicato	Sem Silicato
	Com Déficit hídrico	
100	7,7950 Ba	7,7175 Ba
200	9,4450 Ab	11,1325 Aa
300	10,1100 Ab	11,6350 Aa
	Sem Déficit hídrico	
100	20,1000 Ca	19,1675 Ba
200	24,6375 Ba	23,3950 Ab
300	27,7450 Aa	23,7850 Ab

As plantas de braquiária foram submetidas às análises, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre a presença e ausência de déficit hídrico. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de P.

Tabela 27. Matéria seca da parte aérea de plantas de braquiária, na ausência e na presença de silicato de cálcio, sob diferentes doses de P e na presença e na ausência de déficit hídrico

Déficit hídrico	Dose de P (mg dm ⁻³)		
	100	200	300
-----Sem Silicato-----			
Com	7,7175 Bb	11,1325 Ba	11,6350 Ba
Sem	19,1675 Ab	23,3950 Aa	23,7850 Aa
-----Com Silicato-----			
Com	7,7950 Bb	9,4450 Ba	10,1100 Ba
Sem	20,1000 Ac	24,6375 Ab	27,7450 Aa

As plantas de braquiária foram submetidas às análises, 70 dias após o semeio, num cultivo sucessivo, após a incubação do solo (40 dias) e o cultivo do milho (45 dias). Letras maiúscula distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre a presença e ausência de déficit hídrico. Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey, em 5%, entre as doses de P.

5.4 Solo após o cultivo e a rebrota da braquiária

A análise de variância indicou que houve interação tripla (P x DH x Si) para o teor de Si no solo; houve interação dupla, entre P e DH para o P-rem e para os teores de P, Mg e houve interação dupla, entre DH e Si, para os valores de pH, teores de Al e Mg. Para os teores de P no solo, houve efeito unitariamente da dose de P e da presença de Si. Para os teores de Ca no solo, houve efeito unitariamente da dose de P e da presença de Si e DH.

Tabela 28. Análise de Variância (ANOVA) para os tratamentos e teores de silício, fósforo, cálcio, magnésio, pH, alumínio, acidez potencial e fosforo remanescente em solos após 40 dias de incubação, 45 dias de cultivo com milho, 70 dias de cultivo com braquiária e 70 dias de rebrota da braquiária.

FV	GL	-----Quadrado médio-----							
		Si	P	Ca	Mg	pH	Al	H + Al	Prem
P	3	11,4076*	2430,560 6*	0,3083*	0,1871*	0,3707*	0,0347*	0,1070	42,8618*
Si	1	145,8962*	3,0189	8,0089*	11,1056*	0,7140*	0,1806*	3,1506*	3,0189
DH	1	3,8909*	89,0664*	0,5700*	1,3514*	0,4323*	0,9264*	0,1600	12,1626*
P x Si	3	7,4239*	2,4285	0,1004	0,0195	0,0274	0,0006	0,1785	2,4526
P x DH	3	1,7923*	37,4569*	0,0572	0,1079 *	0,1446*	0,0022	0,0737	8,3989*
DH x Si	1	7,5536*	8,9252	0,0256	0,3393 *	0,5006*	0,1600*	0,1056	0,0351
P x Si x DH	3	0,3469*	3,8281	0,0462	0,0163	0,0505	0,0130	0,0244	0,3439
Bloco		0,1901*	14,5569	0,1690*	0,0090	0,0132	0,0134	2,3538*	0,5468
CV	-	8,51*	19,26	11,16	11,55		32,35	7,15	5,47

QM = Quadrado médio dos teores de nutriente e pH do solo. Números seguidos de “*” indicam interação significativa a 0,05 de significância pelo teste F.

Doses crescentes de P proporcionaram teores crescente de P no solo, na presença e na ausência de DH, dando a origem a um gráfico com comportamento linear (Figura 4A). Na presença e na ausência de DH, o teor de Si no solo, em função das doses de P aplicadas, originou um gráfico com comportamento quadrático (Figura 4B e 4C). Na presença de DH, os maiores teores de Si no solo foram verificados, em ordem decrescente nos tratamentos que receberam a dose 300, 0, 200 e 100 mg dm⁻³ de P (Figura 4B).

O teor de Ca e Mg no solo, em função das doses de P aplicadas, originou um gráfico com comportamento quadrático. Na presença de DH, os maiores teores de Si no solo foram verificados, nos tratamentos que não receberam adubação fosfatada (dose 0 de P). (Figura 4D e 4E).

Doses crescentes de P proporcionaram teores de P crescente no solo, na presença e na ausência de DH, dando a origem a um gráfico com comportamento linear, mas com pequena angulação (Figura 4H).

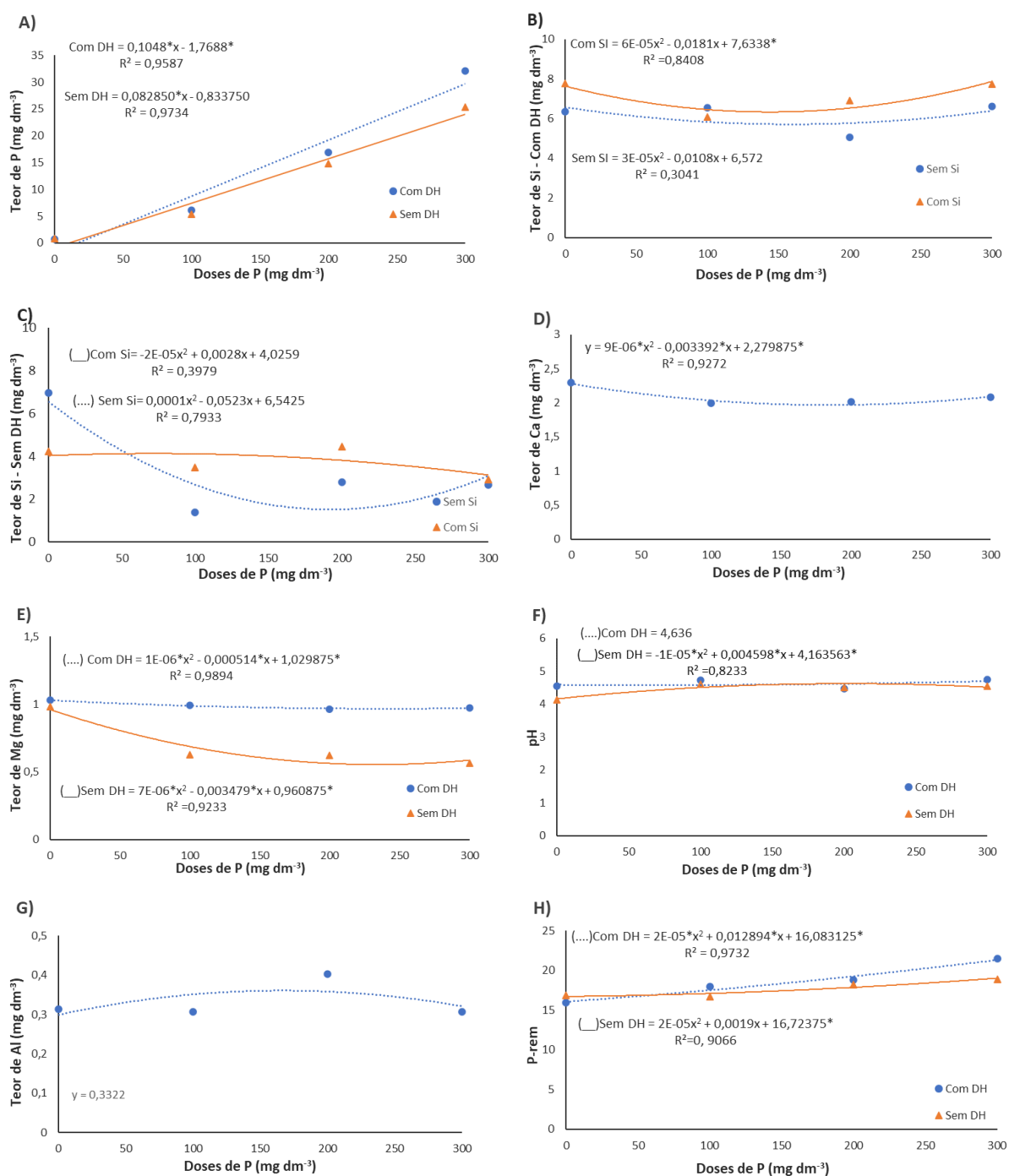


Figura 4. Atributos químicos do solo (após 40 dias de incubação mais 45 dias de cultivo com milho e 70 dias de cultivo com braquiária e 70 dias de crescimento da), sob diferentes doses de P, na presença ou na ausência de Si e de déficit hídrico. Com DI = Déficit hídrico (45 % da capacidade de campo); Sem DI = Sem déficit hídrico (80 % da capacidade de campo); Com Si = Com Si, solo incubado com silicato de Cálcio; Sem Si = Sem Si, solo incubado com carbonato de cálcio.

Comparando os tratamentos com e sem silicato, os tratamentos que receberam silicato apresentaram maiores valores de pH, teor de Mg, Al; e menores teores de Si (Tabela 29). A presença do DH proporcionou maiores teores de Si e Mg e menores de Al, no solo, quando comparados aos tratamentos sem DH, independente da presença ou ausência de silicato. Para os valores de pH, não houve diferença significativa entre a presença ou ausência de DH. (Tabela 30).

Tabela 29. pH, teor de Si, Mg, e Al do solo (após 40 dias de incubação mais 45 dias de cultivo com milho e 70 dias de cultivo com braquiária e 70 dias de crescimento da rebrota), na presença e na ausência de silicato de cálcio e déficit hídrico.

	Com Déficit hídrico	Sem Déficit hídrico
pH		
Com Silicato	4,8125 Aa	4,4713 Aa
Sem Silicato	4,4244 Ba	4,4369 Aa
Si (mg dm⁻³)		
Com Silicato	6,1413 Ba	3,4563 Ab
Sem Silicato	7,1200 Aa	3,7656 Ab
Mg (mg dm⁻³)		
Com Silicato	1,4794 Aa	1,0431 Ab
Sem Silicato	0,5006 Ba	0,3556 Bb
Al (mg dm⁻³)		
Com Silicato	0,1088 Ab	0,4494 Aa
Sem Silicato	0,3150 Bb	0,4556 Aa

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa na presença ou ausência de silicato e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa na presença ou ausência de déficit hídrico, no teste de Tukey à 5%.

A presença do DH, proporcionou menores e maiores valores de pH nos tratamentos que receberam a dose 0 e a dose 300 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Nas demais doses de P (100 e 200 mg dm⁻³) não houve diferença para os valores de pH (Tabela 30).

A presença do DH, proporcionou menores e maiores valores de pH nos tratamentos que receberam a dose 0 e a dose 300 de P, respectivamente. Nas demais doses de P (100 e 200 mg dm⁻³) não houve diferença para os valores de pH (Tabela 30).

Os teores de Mg no solo foram maiores, nos tratamentos que receberam DH e as doses 100, 200 e 300 mg dm⁻³ de P. Já para a dose 0 de P não houve diferença significativa entre a presença e ausência de DH (Tabela 30).

Os valores de P-rem foram maiores, nos tratamentos que receberam DH e as doses 100 e 300 mg dm⁻³ de P. Já para a dose 0 e 200 mg dm⁻³ de P não houve diferença significativa entre a presença e ausência de DH (Tabela 30).

Os tratamentos que receberam silicato de cálcio apresentam maiores teores de Ca e H+Al, quando comparados aos tratamentos que não receberam silicato de cálcio (Tabela 31).

Tabela 30. pH, teor de Mg e valor de P-rem do solo (após 40 dias de incubação mais 45 dias de cultivo com milho e 70 dias de cultivo com braquiária e 70 dias de crescimento da rebrota), sob diferentes doses de P, na presença ou na ausência de déficit hídrico.

----Déficit hídrico----	-----Dose de P (mg mg ⁻³) -----			
	0	100	200	300
	pH			
Com	4,1275 B	4,7275 A	4,4813 A	4,7188 A
Sem	4,5463 A	4,6175 A	4,5188 A	4,5525 B
	Mg (mg dm⁻³)			
Com	1,0288 A	0,9925 A	0,9663 A	0,9725 A
Sem	0,9813 A	0,6263 B	0,6238 B	0,5663 B
	P-rem			
Com	15,9375 A	17,9625 A	18,2500 A	21,4750 A
Sem	16,8500 A	16,7250 B	18,8375 A	18,9000 B

Letras distintas indicam diferença significativa em as diferentes doses de P, no teste de Tukey à 5%.

Tabela 31. Teor de Ca e H+Al do solo (após 40 dias de incubação mais 45 dias de cultivo com milho e 70 dias de cultivo com braquiária e 70 dias de crescimento da rebrota), na presença e ausência de silicato de cálcio.

Silicato	Ca	H + Al
	----- mg dm ⁻³ -----	
Sem	1,7400 B	4,6719 B
Com	2,4475 A	5,1156 A

Letras distintas indicam diferença significativa em as diferentes doses de P, no teste de Tukey à 5%.

6.DISSCUSSÕES

6.1 Silício

O conteúdo Si na MSPA do milho e da braquiária foi crescente na presença de doses crescentes de P, independente da aplicação de silicato. Quando o solo foi submetido às análises após o cultivo do milho, doses crescentes de P proporcionaram teores crescente de Si em solução. Já quando o solo foi submetido às análises após os cultivos da braquiária, o gráfico, onde a dose 0 e a dose 300 mg dm⁻³ de P

apresenta teores de Si, em solução, superiores quando comparadas às doses intermediárias de P (200 e 300 mg dm⁻³), considerando que nos vasos que continham a dose 0 de P, as braquiárias não germinaram, não havendo então plantas para absorver o Si.

O maior teor de Si em solução nos solos dos tratamentos que receberam a dose 300 mg dm⁻³ de P, pode ser explicado pelo princípio de sorção recíproca, segundo o qual quanto maior a concentração de P, menor a quantidade de Si capaz de ser retida pela fase sólida do solo, visto que o P ocupa os mesmos sítios de adsorção que o Si e tem maior afinidade com o coloide, podendo deslocar, facilmente, o Si adsorvido (CAMARGO et al. 2005, CARNEIRO et al. 2006).

Mesmo os tratamentos que não receberam a adubação silicatada, apresentaram teores de Si disponíveis no solo. Os solos brasileiros apresentam de 5 a 40% de silício em suas composições (MA et al., 2001). O Si na fração móvel do solo, está na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄), sendo um componente disponível, na solução do solo, e de fácil absorção para os vegetais (ILER, 1979), o que justifica também, as plantas dos tratamentos que não receberam Si apresentarem conteúdo de silício após a digestão. Na literatura é comumente relatada a influência da disponibilidade P sob a presença de Si, mas nesse trabalho é possível observar a relação inversa, onde doses crescentes de P proporcionaram maiores aumento dos teores e conteúdo de Si, em solo e planta.

Ao comparar a primeira e a segunda avaliação do teor de si no solo, o teor de Si no solo foi superior na primeira avaliação. Esse fato é explicado pela presença de dois cultivos sucessivos de braquiária, que é considerada uma cultura acumuladora. O conteúdo de Si das plantas, além de ter sido oriundo da aplicação do silicato, também foi oriundo do silício disponível no solo. Isso justifica o fato dos conteúdos de Si nas plantas de braquiária, que receberam dose 0 de P, não terem apresentado diferença estatística.

O silício, apesar de ser um elemento muito citado, na literatura, como atenuador de estresse abiótico (PILON et al., 2014; RODRIGUES et al., 2011; THILAGEM et al., 2014) não apresentou efeito significativo positivo na produção de matéria seca das plantas. Nas plantas de milho não houve diferença significativa entre a ausência e a presença de silicato, nos tratamentos sob DH e nas plantas de braquiária, em doses de P, sob DH, os tratamentos que não receberam silicato apresentaram maior peso de MSPA, quando comparada as plantas que receberam silicato. Esse resultado é

justificado pelo maior tempo de reação do silicato no solo, no plantio da braquiária, quando comparada com o milho. O silício contido nas formulações do silicato de cálcio além de apresentar liberação lenta do mineral, necessita de uma grande quantidade para suprir as necessidades das plantas. (MARSCHNER,1995).

6.2 Fósforo e Fósforo remanescente

A ausência de resposta para o conteúdo de P em plantas de milho que estavam sob DH, se deve ao fato da maior quantidade de P absorvida pela planta ser por difusão. No processo de solubilização os fertilizantes granulados, como os desses trabalhos, absorvem água, onde ocorrem reações entre os íons dissolvidos no solo; e a solução formada possui alta concentração de P movendo-se para fora do grânulo, e simultaneamente há a difusão de sais em sentido oposto aos grânulos e da água do solo em direção aos grânulos (PROCHNOW; CASARIN; CUNHA, 2010).

Em relação ao fósforo remanescente (P-rem), que é uma medida estreitamente correlacionada à capacidade máxima de adsorção e à capacidade tampão de fosfatos (ALVAREZ & FONSECA, 1990; NOVAIS & SMYTH, 1999); na presença e na ausência de DH o P-rem foi crescente em doses crescentes de P, devido a maior capacidade de adsorção de P à medida que aumenta a dose e conseqüentemente o P na solução-solo. Pozza et al (2013) em experimentos com fonte fosfatada e a capacidade máxima de adsorção, verificou que houve o aumento da adsorção dos ânions com o aumento da quantidade adicionada.

Apesar de ser amplamente citado na literatura que a disponibilidade de fósforo nos solos pode ser maximizada com a aplicação de Si no solo (LEITE, 1997; FERNANDES, 2001), nesse trabalho, ao comparar os teores de P no solo e o conteúdo de plantas, em tratamentos sob a presença e a ausência de Si, não verificou efeito significativo. O que pode ser justificado pela fonte de Si usada nesse trabalho, que é uma fonte de liberação lenta do mineral e que necessita de uma grande quantidade para suprir as necessidades das plantas. (MARSCHNER,1995). Tal afirmação também levanta a hipótese de que em quantidades maiores de Si, do que a usada nesse experimento pode condicionar respostas diferentes, como maior disponibilidade de P

6.3 Cálcio e pH

Nesse trabalho, o carbonato de cálcio foi uma fonte de Ca que de mais rápida disponibilização quando comparado ao silicato de cálcio, demonstrando pelos maiores conteúdos de Ca, nas plantas de milho e braquiária, nos tratamentos que receberam carbonato, quando comparado aos tratamentos que receberam silicato. Souza et al (2008) ao estudar a substituição de silicato de Ca, por carbonato de Ca, relatou a redução nos valores de Ca no solo, assim como o de P-rem, pH, S, t, V. Dessa maneira o fornecimento de Ca e a elevação do pH com o uso de CaCO_3 se mostra uma melhor alternativa, pois além de apresentam a vantagem do baixo custo apresentou um maior teor de Ca disponível.

A elevação do pH dos solos ácidos pela aplicação de calcário apresenta vantagens como baixo custo, fácil aplicação e representa a principal fonte de Ca e Mg para as pastagens. A elevação do pH do solo pela calagem, aumentando a concentração e atividade dos íons OH em solução, promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade. Há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (Mcbride, 1994), ou seja, a elevação do pH a valores próximos da neutralidade dificulta a formação do complexo de superfície entre H_2PO_4^- e o Fe^{3+} , permanecendo mais P em solução disponível às plantas.

6.4 Magnésio

Os maiores valores de Mg, nos teores do solo e no conteúdo das plantas que receberam silicato, pode ser explicado, devido os teores e conteúdos de Ca foram significativamente inferiores nesses tratamentos (que não receberam silicato e não carbonato). O Ca e o Mg apresentam propriedades químicas similares (raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade), fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. Como consequência, esses elementos, quando presentes na solução-solo pode ter a absorção de um, prejudicada pelo outro, nos processos de adsorção e absorção do outro, e o Ca apresenta maior preferência em relação ao Mg no complexo de troca do solo (YADARE; GIRDHAR, 1981).

Há estudos onde a aplicação foliar de Si na forma de Na_2SiO_3 não afetou o conteúdo de Mg em solo (WADAS W. 2022), mostrando ausência na relação Si e Mg. Nesse trabalho, os maiores teores de Mg no solo e conteúdo de Mg em planta, nos tratamentos com a presença de silicato, podem ser atribuídos a relação Ca e Mg (citada acima) dos tratamentos que não receberam silicato, e sim carbonato; necessitando de mais estudos para afirmar o efeito do Si sob o Mg no solo e na planta.

6.5 Matéria seca da parte aérea da planta

Nos tratamentos sem déficit hídrico, a presença de Si proporcionou aumento da MSPA da braquiária, em todas as doses de P. Já na MSPA do milho, independente da ausência ou da presença de DH, a presença de Si não foi significativa.

Esse resultado mostra que o silicato precisa de tempo de contato com o solo e água para reagir para o Si do solo se disponibilizar. Tal hipótese também é corroborado pela análise de solo que mostra não haver diferença significativa no teor de Si, do solo da primeira análise (solo coletado após o cultivo do milho), entre as a presença ou ausência do silicato. Ou seja, na primeira análise o Si já tinha sido aplicado ao solo, mas não havia se disponibilizado.

Se disponível no solo, sua presença pode ocasionar o incremento de produção de massa seca e maior produtividade, sendo esses benefícios observados geralmente, em gramíneas acumuladoras de silício, nas quais pode-se observar teores de aproximadamente 10 g kg^{-1} nas folhas (MA et al., 2001). Fernandez et al. (2009) verificou que a matéria seca da parte aérea do feijão foi favorecida pela aplicação de silicato de Ca. Mas na literatura, há também resultados que a aplicação de silicato não causou incremento na produtividade de grãos, em condições de campo, mesmo após 375 dias de incubação conforme verificado por Reis (2021) na cultura do trigo e do milho.

Para reduzir a perda de água, decorrente do déficit hídrico, uma das estratégias das plantas é diminuir a área foliar (PERLIKOWSKI et al, 2019), o que reflete diretamente na massa seca e justifica o fato das plantas de milho e de braquiária que estavam na presença de DH apresentarem MSPA expressivamente menor quando comparada às plantas que não foram submetidas ao DH. Apesar do silicato de cálcio ter proporcionado maiores valores de MSPA nas plantas de braquiária em presença do DH, esses valores ainda foram muito inferiores em comparação às plantas que não

foram submetidas ao DH. Dentre as plantas de milho que estavam na presença do DH, não houve diferença significativa entre a presença ou ausência de silício, mostrando que o Si não foi um atenuador do DH.

6.6 Alumínio

Na presença de déficit hídrico, os solos que receberam a aplicação de silicato apresentaram menores teores de Al quando comparado aos que não receberam silicato. O teor de Al no solo, pode ser diminuído sob o efeito da presença de Si, no solo, por meio da formação de complexos Al-Si (FREITAS et al., 2015). Dessa forma, devido a formação desse complexo, além do menor teor de Al observado no solo, nesses mesmos tratamentos (com DH e com silicato) também é possível observar menores valores de Si disponíveis.

Há trabalhos que relatam a diminuição do conteúdo de Al em plântulas de arroz em decorrência da aplicação do Si (NHAN & HAI, 2013 e SINGH et al., 2011). Uma hipótese para essa redução citadas em alguns trabalhos é a formação de compostos aluminossilicatos na parede celular do córtex da raiz, inibindo a movimentação do Al para o protoplasma.

7. CONCLUSÕES

A presença de Si, no solo, na forma de silicato de cálcio, não influenciou no teor de P no solo, no peso de matéria seca das plantas de milho e braquiária e em seus conteúdos de Si e P.

Doses crescentes de P proporcionaram teores e conteúdos de P e Si crescentes, no solo e nas plantas de milho e braquiária, respectivamente.

Na ausência de déficit hídrico, doses crescentes de P proporcionaram aumento na matéria seca da parte aérea nas plantas, independente da aplicação do silicato de cálcio.

A aplicação de silicato de cálcio não atenuou os efeitos do déficit hídrico na planta.

O silicato de cálcio disponibiliza menores teores de Ca, quando comparado ao carbonato de cálcio, mesmo fornecidos em mesma quantidade num mesmo período.

8. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L. D., SANGOI, L., NAVA, I. C., GALIO, J., TRENTIN, P. S., RAMPAZZO, C. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, v. 33, p. 189-194, 2003.
- AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 356–369, 2018.
- ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, D.M. da. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.49-55, 1990.
- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.995-1004, 2004
- BASTOS, A. L., DA COSTA, J. P., SILVA, I. D. F. D., RAPOSO, R. W., OLIVEIRA, F. D. A., & ALBUQUERQUE, A. W. D. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.485-491, 2004.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.136-142, 2008.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.
- CAMARGO, M. S. et al. Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 9-19, 2005.

CARNEIRO, C. E. A. et al. Calcário, potássio, fosfato e silício na produtividade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 465-470, 2006.

CEBALLOS, H.; RAMIREZ, J.; BELLOTTI, A.C.; JARVIS, A.; ALVAREZ, E. Adaptation of cassava to changing climates. In: YADAV, S.S.; REDDEN, R.J.; HATFIELD, J.L.; LOTZE-CAMPEN, H.; HALL, A.E. (eds.), **Crop Adaptation to Climate Change**, Wiley, New York, pp. 411-425, 2011.

CONTINI, E., MOTA, M. M., MARRA, R., BORGHINI, E., MIRANDA, R. D., SILVA, A. D., MENDES, S. M. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. Brasília: **Embrapa**. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2). 2019

CORDELL, D. **The story of phosphorus: sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security**. p220, 2010.

CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**. v. 19, p292–305, 2009.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.828-835, 2006.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. B. B.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 12 - 26, 2012.

DA SILVA, A. G., DE ASSIS, R. L., DE OLIVEIRA, C. A. A., FERREIRA, C. J. B., TEIXEIRA, I. R., ALMEIDA, K. D. L., & DO CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 18(3), 429-440, 2019.

DE MORAES, E. R., DOS REIS, A. C., DA SILVA, N. E. P., FERREIRA, M., & DE MENEZES, F. G. (2018). Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5(1), 60-65.

DE RESENDE, A. V., BORGHI, E., GONTIJO NETO, M. M., ABREU, S., DOS SANTOS, F. C., COELHO, A. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

EPSTEIN, E. Silicon. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 01, p. 641-664, 1999.

FARIAS, J. R. B., ASSAD, E. D., ALMEIDA, I. D., EVANGELISTA, B. A., LAZZAROTTO, C., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9(3), 415-421. 2001.

FARIAS, J.R.B., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A.L. Impactos da seca na produção de soja. In: **Reunião de pesquisa de soja da região Sul**, 10., Chapecó. Ata e Resumos. Chapecó: EPAGRI, 1993. p.169. 1992.

FARIAS, P. I. V.; FREIRE, E.; CUNHA, A. L. C.; POLIDORO, J. C.; ANTUNES, A. M. S. Input assurance for **Brazilian food production**. **Fertilizer Focus**, v. 38, n. 1, p. 52-54, Jan./Feb. 2021.

FERNANDEZ, F. A., BULL, L. T., CORRÊA, J. C., & CRESPAM, D. R. (2009). Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 935-945.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.

FREITAS, Lucas Barbosa de; FERNANDES, Dirceu Maximino; MAIA, Suelen Cristina Mendonça. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 440-448, 2015.

FURLANI, A. M. C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo -SP. p. 40-75. 2004.

GALLO, J. R.; CATANI, R. A.; GARGANTINI, H. Efeito de três tipos de calcários na reação do solo e no desenvolvimento da soja. **Bragantia**, Campinas, v. 15, n. único, p. 121-130, 1956.

GRANT, C. A., FLATEN, D. N., TOMASIEWICZ, D. J., SHEPPARD, S. C. A importância do P no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, 2001.

GUIMARÃES. P. T. G. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. V. 32. n. 261. p. 39-51. 2011.

ILER, R. K. **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica**. Nova Jersey: Willey Interscience, 1979.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-147, 1967

KAMPF, N., CURI, N., MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V. F & ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. SBCS. Viçosa MG. P 573-610. 2019.

KORNDORFER, G. H., SNYDER, G. H., ULLOA. M., PERDOMO. R., POWELL, C., DEREN, C., DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**. New Yorkz, v. 24. p 1071-1084, 2001.

LIMA, Michella de Albuquerque et al. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 398-403, 2011.

LEITE, P. C. Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação. 1997. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Intercanional Internacional da Potassa, Piracicaba. Boletim Técnico 1, 1984. 60p.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for cropplant. In: KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H. (Ed.). *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: **Elsevier**, p. 17-39. 2001.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press**, 889 p. 1995.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual de Hidroponia**. Ed Aprenda Fácil. Viçosa-MG. 294p.2021

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS, p. 65-90 2007.

MILANEZ, A. Y., NYKO, D., VALENTE, M. S., XAVIER, C. E. O., KULAY, L. A., DONKE, A. C. G., ... & GOUVÊIA, V. L. R. D. **A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política**. 2014.

MIRANDA. G. V., DOS SANTOS. I. C., GALVÃO, J. C. C. DE PAULA JÚNIOR, T. J. Milho. p. 628-649. In: DE PAULA JÚNIOR, T. J. VENZON. M. **101 cultura**. 920P.2019

NHAN, P. P.; HAI, N. T. Amelioration of aluminum toxicity on OM4900 rice seedlings by sodium silicate. *African Journal of Plant Science*, Ebène, v. 7, n. 6, p. 208- 212, 2013.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS, 2007. P. 471-550.

NOVAIS, R.F. de; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p

OLIVEIRA, L. A., CASTRO, N. M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**. v. 38, p. 159- 170. 2002.

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**. Vol. 39, n.6, p732-740, 2016.

PEREIRA FILHO, I. A., ALVARENGA, R. C., GONTIJO NETO, M. M., VIANA, J. H. M., OLIVEIRA, M. D., MATRANGOLO, W. J. R. Cultivo do milho (Vol. 1). J. C. C. Cruz (Ed.). Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**.2010. RAIJ, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. São Paulo; Campinas. **Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**. 2 ed. cap. 7. p. 95-100. 1983.

PERLIKOWSKI D, AUGUSTYNIAK A, MASAJADA K, SKIRYCZ A, SOJA AM, MICHAELIS Ä, WOLTER G, KOSMALA A. Structural and metabolic alterations in root systems under limited water conditions **in Forage grasses of Lolium-Festuca complex**. 2019.

PILON, C.; SORATTO, R.P.; BROETTO, F.; FERNANDES, A.M. Foliar or soil application of silicon alleviate water-deficit stress of potato. **Plants.Agronomy Journal**, v.106, n.6, p.2325- 2334, 2014.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p.1199-1204, 2001.

PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; CUNHA, J. F. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI. 2. ed. Piracicaba: IPNI, p. 362. 2010.

QUEIROZ, Dalva Luiz de et al. Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 632-640, 2018.

RAIJ, B. V; FEITOSA, C. T. Correlação entre o P extraído de solo por diversos extratoresquímicos e o absorvido pelo milho. **Bragantia**, Campinas, v. 39, n. 1, p. 51-57, 1980.

RESENDE. M., CURTI. N., POGGERE. G. C., BARBOSA, J. Z., POZZA, A. A. A. **Pedologia, Fertilidade, Água e Planta: Interrelações e aplicações**. Editora Ufla. 245p.2019.

REIS, M. C. Doses e tempo de solubilização no solo do silicato de cálcio e de magnésio na população de *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) e na produtividade do trigo. 2021.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 134, p. 14-20, 2011.

SCHRODER, J. J.; CORDELL, D.; SMIT, A. L.; ROSEMARIN, A. Sustainable use of phosphorus. **Plant Research International**. p124, 2010.

SILVA, A.B. Caracterização dos primeiros solos do Agreste de Pernambuco e o efeito do manejo de um regossolo eutrófico sobre a erosão e produtividade de milho e feijão. Viçosa, 180p (Mestrado UFV).1986

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A.V.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; VANIN, Á. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p.76-90. 2018.

SINGH, V. P. et al. Influence of exogenous silicon addition on aluminum tolerance in rice seedlings. *Biological Trace Element Research*, Totowa, v. 144, n. 1, p. 1260-1274, 2011.

SOLOGUREN, Leonardo. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. **Visão agrícola**, v. 13, n. 1, p. 8-13, 2015.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4(3):338-342, 2000.

SOUZA, R. F. D., FAQUIN, V., CARVALHO, R., TORRES, P. R. F., & POZZA, A. A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 1563-1572, 2008.

TISDALE, S.L.; BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: Mac Millan, 754p. 1985.

THILAGAM, V. K., MOHANTY, S., SHAHID, M., TRIPATHI, R., NAYAK, A. K., KUMAR, A. Role of Silicon as Beneficial Nutrient for Rice Crop. **Popular Kheti**, v. 2, n.1, p. 105-107, 2014

YADARE, J. S. P.; GIRDHAR, I. K. The effects of different magnesium:calcium ratios and sodium adsorption ratio values for leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareous soils. **Soil Science**, v. 131, p. 194- 198, 1981.

WADAS, Wanda. Effect of foliar silicon application on nutrient content in early crop potato tubers. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2706, 2022.

9. APÊNDICE



Figura. Solo com silicato de cálcio em fase de incubação a 80 % da capacidade de campo



Figura. Controle gravimétrico do Déficit hídrico em plantas de milho com base no percentual de umidade da capacidade de campo.

Tabela. Teor de Si, P, Ca e Mg da parte área de plantas de milho, braquiária e braquiária rebrotada, em cultivo sucessivo, sob diferentes doses de P, na presença e na ausência de Si (na forma de silicato) e de déficit hídrico (DH). (Os teores correspondem a média de 4 repetições)

Dose P	DH	Silicato	Milho				Braquiária corte 1				Braquiária corte 2			
			Si	P	Ca	Mg	Si	P	Ca	Mg	Si	P	Ca	Mg
-----			-----g/kg-----				-----g/kg-----				-----g/kg-----			
0	sem	com	7,17	0,95	7,33	3,88	-	-	-	-	-	-	-	-
0	com	com	4,49	0,76	6,96	4,77	-	-	-	-	-	-	-	-
0	sem	sem	10,58	0,67	10,31	2,76	-	-	-	-	-	-	-	-
0	com	sem	6,43	0,84	9,62	2,59	-	-	-	-	-	-	-	-
100	sem	com	10,11	1,07	4,62	3,25	12,21	1,08	4,43	4,78	8,02	0,58	3,99	3,11
100	com	com	6,85	1,07	5,79	4,28	7,24	1,01	2,95	2,86	4,70	0,55	2,72	2,71
100	sem	sem	9,64	1,11	5,94	1,54	12,39	1,19	6,30	2,63	8,25	0,54	5,69	1,74
100	com	sem	7,52	1,07	6,85	1,93	7,95	1,04	3,99	1,76	5,09	0,52	3,93	1,97
200	sem	com	7,47	1,16	4,23	2,24	10,06	1,12	3,74	4,39	8,71	0,80	4,21	3,17
200	com	com	7,87	1,25	4,08	3,07	7,58	1,25	3,14	3,10	5,39	0,77	3,05	2,97
200	sem	sem	7,42	1,16	4,93	2,11	10,82	1,18	5,54	2,11	7,06	0,78	4,74	1,28
200	com	sem	7,49	1,45	6,31	1,64	8,34	1,46	4,38	2,12	5,65	0,61	4,22	2,25
300	sem	com	8,66	1,93	2,64	2,51	9,44	1,93	4,46	4,56	7,79	0,93	4,28	3,15
300	com	com	7,93	1,73	3,51	2,67	7,00	1,77	2,70	3,02	5,04	1,03	2,86	2,69
300	sem	sem	6,56	1,81	3,68	1,50	9,59	1,75	5,41	2,08	8,09	1,11	6,06	1,74
300	com	sem	7,89	1,91	4,19	1,34	8,65	1,84	4,07	2,03	5,89	0,90	4,53	2,34