

APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO BENEFICIA O RENDIMENTO PRODUTIVO E ATENUA O DÉFICIT HÍDRICO EM FEIJOEIRO

Ana Luiza Pirolli Figueiredo, Camila Carelli, Luana Brancaleoni, Sandro Dan Tatagiba

Instituto Federal Catarinense - Campus Videira/ Rodovia SC 135 KM, 125, Campo Experimental - 89560-000 - Videira-SC, Brasil, autores: analuizapirolli@gmail.com, camilacarelli@outlook.com.br, luanabrancaleoni03@gmail.com, sandrodantatagiba@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi investigar o uso do silício (Si) no crescimento e produção do feijoeiro em diferentes condições hídricas no substrato. Para isso, plantas de feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, cultivar “Querência”, foram cultivadas em vasos plásticos contendo 8 dm⁻³ de substrato no interior da casa de vegetação do Instituto Federal Catarinense, Campus Videira. O experimento foi montado em esquema fatorial 2×2, com quatro repetições, composto por dois níveis de água [100 e 50% da capacidade de campo, ou seja, sem déficit hídrico (D-) e com déficit hídrico (D+), respectivamente] e dois níveis de doses do Si [0,0 mL/L (Controle, Si-) e 6mL/L (Si+), dispostos num delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo (15, 30, 45, 60, 75 e 90 DAE). Os resultados mostraram que o fornecimento de Si, no tratamento Si+D-, beneficiou a altura, o diâmetro do coleto, o comprimento da raiz e a área foliar, contribuindo para incrementos na matéria seca das plantas, levando ao maior rendimento produtivo. O Si, no tratamento Si+D+, contribuiu para a atenuação do déficit hídrico, melhorando o crescimento e o rendimento do feijoeiro.

Palavras-chave: Manejos hídricos. *Phaseolus vulgaris* L. Silicato de potássio.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma - Agronomia.

Introdução

O feijão comum, *Phaseolus vulgaris* L., é um dos grãos mais importantes na agricultura brasileira, com produção na safra 2019/2020 de 3.229,8 milhões de toneladas (Conab, 2020). Além de sua importância econômica, possui também importância cultural e social, estando presente na alimentação diária da maioria das famílias brasileiras. O consumo per capita do feijão brasileiro é de 200,8 g/dia. A produtividade média brasileira é de 1.104 kg/ha (Conab, 2020), enquanto pode chegar a mais de 3.000 kg/ha em lavouras irrigadas. No entanto, ainda está abaixo do seu potencial produtivo. Entre os fatores que limitam a produtividade das plantas, destacam-se os estresses abióticos, sendo o principal o déficit hídrico.

As oscilações climáticas, principalmente durante a estação de seca e a má distribuição das chuvas, vêm ocorrendo com frequência no estado de Santa Catarina. Dessa forma, há a necessidade de utilizar alternativas para o cultivo do feijoeiro de forma sustentável e a utilização de silício (Si) pode ser uma opção para atenuar os efeitos negativos ao estresse as plantas. O Si é um elemento benéfico que tem ganhado destaque em sua utilização como fertilizante para o enfrentamento do estresse abiótico. Os benefícios que este elemento tem trazido às plantas na resistência ao estresse abiótico são divididos em dois grupos: físicos e fisiológicos. O acúmulo do Si na parede celular das plantas se relaciona aos benefícios físicos, assim, criando uma barreira contra a perda de água e melhorando a arquitetura das plantas (Korndorfer; Pereira; Camargo, 2002), em função da deposição do elemento na parede celular de folhas, caule e raízes. Do ponto de vista fisiológico os benefícios do Si se relaciona com uma maior atividade fotossintética, supressão de pragas, resistência ao ataque de microrganismos fitopatogênicos, induzindo reações metabólicas de defesa das plantas (Pozza et al., 2004).

Ademais, é um elemento que atua beneficiando a ação de defesa antioxidativa das plantas, em resposta a deficiência hídrica e aumento da temperatura, pois nestas condições as plantas acumulam peróxido de hidrogênio e prolina, e assim o Si atua aumentando a resistência estomática, reduzindo o dano oxidativo em moléculas funcionais (Pozza et al., 2004). Ainda de acordo com Araújo et al. (2022) as plantas aceleram a senescência da abscisão foliar quando estão submetidas a baixa

disponibilidade hídrica, podendo a adubação silicatada beneficiar em situação de estresse, aumentando o número de folhas.

Dessa forma, avaliar o uso de Si sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas, é imprescindível para dar suporte ao produtor rural às ações que visam o manejo e a melhoria na produção, contribuindo como diagnóstico e base para implementação no planejamento agrícola, de acordo com as necessidades a serem mitigadas, passando, além dos fatores econômicos e da própria sustentabilidade da cultura. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi investigar o uso de Si no crescimento e produção do feijoeiro em diferentes condições hídricas no substrato.

Metodologia

O presente estudo foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Instituto Federal Catarinense - Campus Videira, localizado na rodovia SC 135, Km 125, bairro Campo Experimental, no município de Videira, estado de Santa Catarina.

Sementes de feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, cultivar SCS207 “Querência” do grupo carioca, foram semeadas e crescidas em vasos plásticos contendo 8 dm³ de substrato, constituído de uma mistura de terra extraída da camada de 0,40 a 0,80 m de profundidade de um Argissolo Vermelho Distrófico e substrato comercial Tropstrato® na proporção 3:1, respectivamente. Foi realizada análise granulométrica do substrato, obtendo-se a classificação textural, muito argiloso

Amostras do substrato foram analisadas quimicamente, resultando em boa disponibilidade de bases trocáveis (SB = 7,97 cmolc dm⁻³), baixa de saturação de bases (V = 48,3%), baixa disponibilidade de fósforo (P < 3 mg dm⁻³) e de enxofre (12,8 mg dm⁻³). A correção da acidez do solo foi realizada elevando a saturação por bases a 70%. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC, 2016).

As plantas cresceram com o substrato mantido próxima a capacidade de campo por 45 dias após a emergência (DAE), quando então foram estabelecidos dois níveis de água, definidos a partir da porosidade total do solo, com valores de 50 (D+) e 100% (D-) do volume total de poros ocupados por água (Capacidade de Campo), sendo o controle da irrigação realizado pelo método gravimétrico (pesagem diária dos vasos), adicionando-se água até que a massa do vaso atingisse o valor prévio determinado, considerando-se a massa do solo e de água, conforme metodologia descrita por Freire et al. (1980).

A aplicação das doses de silicato de potássio sobre as folhas foi realizada através de um pulverizador manual com capacidade de 500 mL e um bico tipo leque para aplicação. Plantas controles foram pulverizadas com água destilada. Utilizou-se o fertilizante foliar mineral simples silicato de potássio (Flex Silício®) nas doses: 0 mL/L (Controle, Si-) e 6 mL/L (Si+) de silicato de potássio, aplicados aos 45, 60 e 75 DAE. O produto apresenta formulação do tipo EC (concentrado emulsionável), obtendo os seguintes nutrientes solúveis em água: potássio (K₂O) e silício (Si) 12% (p/p) e 165,60 g/L (p/v), sendo recomendado para a cultura do feijoeiro.

As coletas para avaliação do crescimento e desenvolvimento foram realizadas quinzenalmente, até o final do período experimental, iniciadas após o décimo quinto dia da emergência das plântulas. Em cada coleta foram analisados por planta em cada tratamento as seguintes variáveis: altura, diâmetro do coleto, número de vagens. Também foram avaliadas a matéria seca das folhas, ramos e haste, raiz e total (folha, ramos e haste, e raiz).

A produção foi mensurada através da massa seca de vagens e das sementes (grãos) por planta, realizada no final do experimento. A matéria seca foi obtida com o auxílio de uma estufa com ventilação forçada a 65 °C, até o material vegetal atingir peso constante. O diâmetro do coleto foi determinado com auxílio de paquímetro digital (Starrett) modelo 727 a 01 (Um) cm do substrato, e a altura das plantas, através de régua milimetrada.

A área foliar foi estimada através de modelo matemático proposta por Hara et al., (2019), apresentado a seguinte equação: $AFM = -2,20042 + 1,77534.C.L$; sendo AFM a área foliar do trifólio medida (cm²); C, o comprimento do folíolo (cm), e L, a largura (cm). Também foi estimada a produtividade potencial do feijoeiro de acordo com os valores obtidos da matéria seca dos grãos por planta, considerando um espaçamento de 40 x 50 cm em um hectare (ha), o que totalizou 50 mil plantas/ha. Os dados foram obtidos na unidade de toneladas (t) por ha.

Foi montando um experimento em esquema fatorial 2x2, com quatro repetições, composto por dois níveis de água [100 e 50% da capacidade de campo, ou seja, sem déficit hídrico (D-) e com déficit hídrico (D+), respectivamente] e dois níveis de doses de Si [0,0 mL/L (Controle, Si-) e 6mL/L (Si+), dispostos num delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo (15, 30, 45, 60, 75 e 90 DAE). Cada unidade experimental foi composta de um vaso plástico contendo duas plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos foram comparados a partir dos 45 DAE pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando o programa o software R®, versão 4.3.2.

Resultados

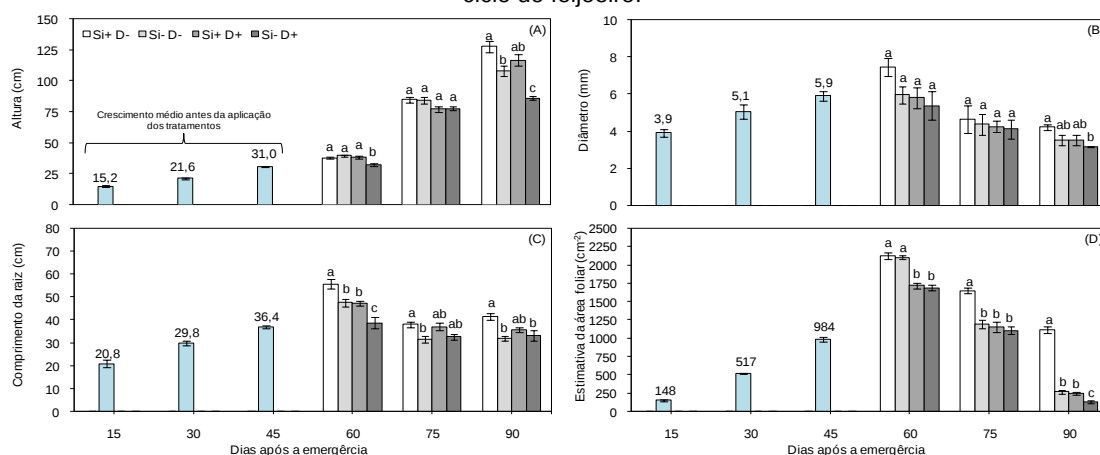
A Figura 1 apresenta os valores médios de crescimento para a altura, diâmetro do coleto, comprimento da raiz e estimativa da área foliar aos 15, 30 e 45 DAE (antes da aplicação dos tratamentos) e para o teste de médias de Tukey aos 60, 75 e 90 DAE. Observa-se para a altura aos 60 DAE redução significativa no crescimento das plantas em Si-D+ quando comparada com os demais tratamentos (Figura 1A). Aos 75 DAE não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos. No final do experimento, aos 90 DAE, verificou-se que os valores médios da altura nas plantas onde foi fornecido o Si, independente do manejo hídrico adotado (Si+D- e Si+D+), não diferiram significativamente. Note que o valor médio para a altura das plantas em Si+D+ foram significativamente semelhantes às plantas em Si-D-.

De forma geral, o diâmetro do coleto seguiu tendência similar aos valores apresentados para a altura. Aos 60 e 75 DAE não foi verificada diferenças significativas nos valores médios do diâmetro do coleto entre os tratamentos (Figura 1B). Aos 90 DAE, verificou-se que não houve diferenças significativas entre as médias do diâmetro do coleto para os tratamentos Si+D-, Si-D- e Si+D+.

O comprimento da raiz apresentou diferenças significativas das médias aos 60, 75 e 90 DAE (Figura 1C). Deve-se ressaltar que durante esses períodos de avaliação em Si+D-, as plantas apresentaram médias significativamente superiores em relação a Si-D+. Também se observa, aos 90 DAE, que as médias dos tratamentos Si+D- e Si+D+ não diferiram significativamente.

A área foliar no tratamento Si+D- apresentou valores médios significativamente superiores aos demais tratamentos aos 75 e 90 DAE (Figura 1D), indicando que o Si em condições de adequada disponibilidade de água no substrato pode contribuir para o incremento em área útil fotossinteticamente ativa.

Figura 1 - Altura (A), diâmetro do coleto (B), comprimento da raiz (C) e estimativa da área foliar (D) durante o ciclo do feijoeiro.



*Barras em cada período de avaliação (Dias após a emergência, DAE) representam o erro padrão da média. Valores médios aos 15, 30 e 45 DAE, antes da aplicação dos tratamentos. Teste de Tukey ($P \leq 0,05$) aos 60, 75 e 90 DAE.

A Figura 2 apresenta os valores médios de matéria seca da folha, haste e ramos, raiz e total aos 15, 30 e 45 DAE (antes da aplicação dos tratamentos) e para o teste de médias de Tukey aos 60, 75 e 90 DAE. As médias da matéria seca da folha apresentaram diferenças significativas aos 60 e 90

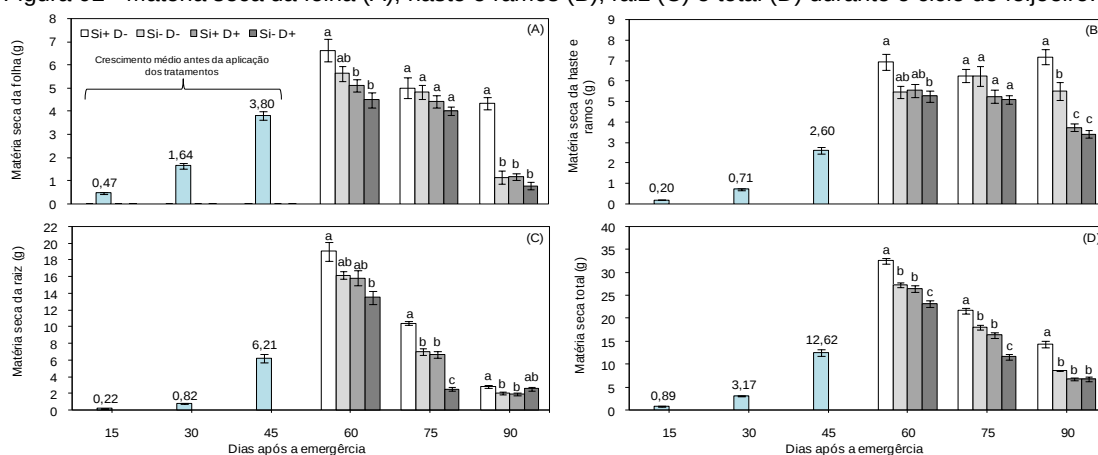
DAE, enquanto que aos 75 DAE não houve diferenças significativas (Figura 2A). Destaque deve ser dado aos valores significativos alcançados para a matéria seca da folha no final do experimento, aos 90 DAE no tratamento Si+D-, sendo superior em 73, 74 e 82% aos tratamentos Si-D-, Si+D- e Si+D+, respectivamente.

Os valores médios da matéria seca da haste e ramos apresentaram tendência estatística similar aos encontrados para a matéria seca da folha (Figura 2B). Observe que aos 60 e 90 DAE houve diferenças significativas entre as médias da matéria seca da haste e ramos, enquanto que aos 75 DAE não houve diferenças significativas. Aos 90 DAE o tratamento Si+D-, apresentou valores significativamente superiores em 23, 47 e 48% aos tratamentos Si-D-, Si+D- e Si+D+, respectivamente.

O crescimento da matéria seca da raiz é apresentado na Figura 2C. Observe que houve diferenças significativas nas médias aos 60, 75 e 90 DAE. Aos 60 DAE as plantas tratadas com Si+D-, Si-D- e Si+D+ não apresentaram diferenças significativas nas médias para a matéria seca da raiz, enquanto as tratadas com Si+D- apresentaram aumentos significativos em 29% quando comparados com Si-D+. Aos 75 DAE, notam-se aumentos significativos na matéria seca da raiz para o tratamento Si+D- em 33, 36 e 76% em relação a Si-D-, Si+D+ e Si-D+, respectivamente.

Os valores da matéria seca total das plantas são apresentados na Figura 2D. Observa-se que houve aumentos significativos na média da matéria seca total para Si+D- em relação aos demais tratamentos aos 60, 75 e 90 DAE. Aos 90 DAE os valores médios da matéria seca total em Si+D- foram significativamente superiores em 40, 52 e 53% em relação aos tratamentos Si-D-, Si+D+ e Si-D+, respectivamente.

Figura 02 - Matéria seca da folha (A), haste e ramos (B), raiz (C) e total (D) durante o ciclo do feijoeiro.

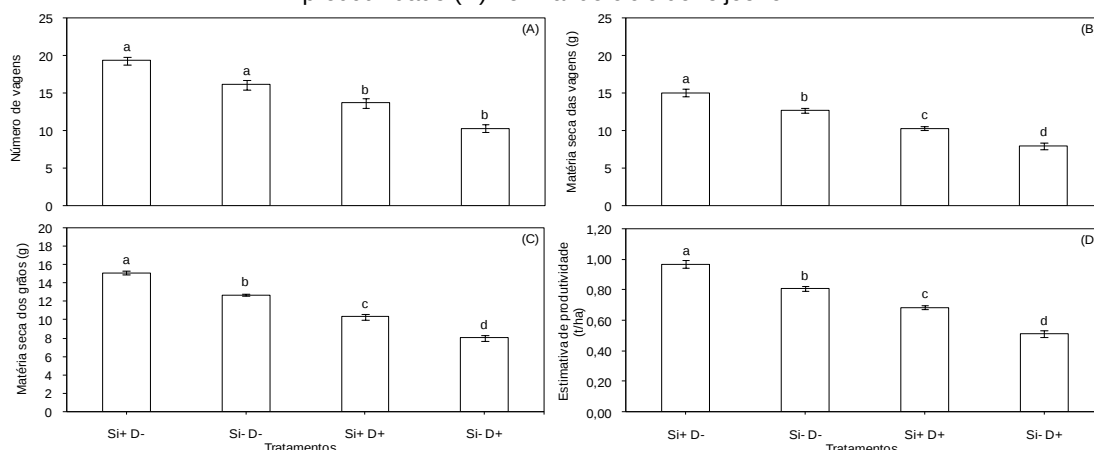


*Barras em cada período de avaliação (Dias após a emergência, DAE) representam o erro padrão da média. Valores médios aos 15, 30 e 45 DAE, antes da aplicação dos tratamentos. Teste de Tukey ($P \leq 0,05$) aos 60, 75 e 90 DAE.

Na Figura 3 são apresentados os valores da produção do feijoeiro através do teste de médias de Tukey para o número de vagens (A) matéria seca das vagens (B), matéria seca dos grãos (C) e estimativa de produtividade (D) aos 90 DAE. O número de vagens apresentou valores médios significativamente diferentes para os tratamentos (Figura 3A). Observa-se em Si+D- e Si-D- as médias foram significativamente semelhantes. Entretanto, as médias para o número de vagens em Si+D- e Si-D- foram significativamente superiores a Si+D+ e Si-D+.

A matéria seca das vagens, dos grãos e a estimativa de produtividade (Figuras 3 B, C, e D, respectivamente) apresentaram tendência estatística similar. Os maiores valores médios significativos encontrados em Si+D- em relação a Si-D-, evidencia que o Si contribuiu para o incremento na matéria seca das vagens (Figura 3B), dos grãos (Figura 3C) e da produtividade (Figura 3D). Quando se compara os tratamentos mantidos em déficit hídrico (Si+D+ e Si-D+), verifica-se também que o Si colaborou para incrementos significativos na matéria seca das vagens e dos grãos, levando a maior produtividade (Figuras 3 B, C, e D, respectivamente).

Figura 03 - Número de vagens (A), matéria seca das vagens (B), matéria seca dos grãos (C) e estimativa de produtividade (D) no final do ciclo do feijoeiro.



*Barras em cada tratamento representam o erro padrão da média. Teste de Tukey ($P \leq 0,05$) aos 90 DAE.

Discussão

Sugere-se na literatura que o Si seja capaz de diminuir os efeitos causados por condições hídricas adversas. A deposição de Si na parede celular das folhas, formando uma dupla camada protetora evita grandes perdas de água, devido à menor taxa de transpiração da planta (Korndorfer; Pereira; Camargo, 2002). Gao et al. (2006) observaram relação positiva entre o depósito de Si nas folhas e a diminuição da taxa transpiratória para a cultura do trigo, submetido a diferentes regimes hídricos. Isso evidencia o melhor aproveitamento da água disponível no solo pelo feijoeiro, o que provavelmente levou ao maior crescimento em altura, diâmetro do coleto e área foliar nas plantas em Si+D-. Gong et al. (2005), em estudo objetivando avaliar as alterações fotossintéticas de plantas de trigo mediante aplicação de Si em condições de estresse hídrico concluíram que o elemento proporcionou aumento na taxa de CO_2 assimilável pelas folhas mediante o estresse e aumento da concentração das enzimas relacionadas ao estresse hídrico, diminuindo o impacto do déficit hídrico sobre as plantas. Isso nos leva a deduzir que o Si pode estar envolvido nas atividades metabólicas e/ou fisiológicas das plantas de feijoeiro, que levaram ao maior acúmulo de matéria seca nas folhas, haste e ramos, e raiz, contribuindo para o maior rendimento produtivo das plantas.

Araújo et al. (2022) estudando a aplicação foliar de Si em milho verificaram aumentos na matéria fresca da parte aérea em condições de déficit hídrico no solo, o que evidencia a reposta positiva do Si para o desenvolvimento da planta. Esse aumento também foi verificado por Sousa et al. (2010), que verificaram o benefício do Si no aumento da massa do colmo, melhor conformidade arquitetônica das folhas, maior concentração de clorofila e melhor desempenho fotossintético, resultando em maior produção de biomassa fresca.

O efeito do Si na matéria seca de grãos em Si+D- provavelmente se deve a um conjunto de fatores. Podendo ocorrer devido à melhora na absorção e aproveitamento de nutrientes, à diminuição da transpiração e ao aumento da translocação de carbono para os grãos (Epstein, 1999). Ou ainda pelo efeito direto na taxa fotossintética pelo fato do Si ainda levar ao aumento no conteúdo de clorofila, lignina e os teores de fósforo, cálcio, enxofre e zinco (Gong et al., 2005). Desta forma, pode ocorrer uma maior eficiência fotossintética do feijoeiro e consequentemente maior produção de grãos.

O efeito negativo do déficit hídrico sobre as plantas de feijoeiro era esperado, pois houve deficiência hídrica no substrato durante a fase de enchimento de grãos, e assim há um conflito entre a conservação de água pela planta e a taxa de assimilação de CO_2 na produção de carboidratos, afetando a produção. Os resultados obtidos para a massa seca de grãos confirmam que o estresse hídrico diminuiu significativamente a produção do feijoeiro. Assim, é possível que com fornecimento de Si a oxidação de enzimas fotossintéticas, desencadeada pelo estresse oxidativo na presença de déficit hídrico, foi diminuída e a influência da deficiência hídrica no processo fotossintético foi minimizada, levando um maior rendimento produtivo mesmo em condições de déficit hídrico no substrato.

Conclusão

O fornecimento de Si via foliar em Si+D- beneficiou o crescimento vegetativo, proporcionando maior matéria seca e área foliar, o que provavelmente pode ter contribuído para aumentos significativos na produção de grãos e na estimativa de produtividade. O Si também contribuiu para a atenuação do déficit hídrico, melhorando o crescimento e rendimento do feijoeiro quando comparado com as plantas onde não foi fornecido o elemento.

Referências

- ARAÚJO, V.S., SOUSA, T.K.R., NOBRE, R.S., SANTOS, C. M., NEGREIROS, K.K.S., CARVALHO, A.C.C., VELOSO, F.S., VELOSO, R.C., REZENDE, J.S. Influência da aplicação foliar de silício no desenvolvimento e produtividade do milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense. **Research, Society and Development**, v. 11, p. 1-10, 2022.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: safra 2020/21. 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 03, p. 641-664, 1999.
- FREIRE, J. C., RIBEIRO, M. V. A., BAHIA, V. G., LOPES, A. S., AQUINO, L. H. Respostas do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.
- GAO, X., ZOU, C., WANG, L., ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, p. 1637-1647, 2006.
- GONG, H., ZHU, X., CHEN, K., WANG, S., ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, p. 169-321, 2005.
- HARA, A. T., GONÇALVES, A. C. A., MALLER, A., HASHIGUTI, H. T., OLIVEIRA, J. M. Ajuste de modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares. **Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 179-186, 2019.
- KORNDORFER G. H., PEREIRA H. S., CAMARGO M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 3p (GPSi-ICIG-UFU). Boletim Técnico, nº 01, 2002.
- POZZA, A. A. A., ALVES, E., POZZA, E. A., CARVALHO, J. G., MONTANARI, M., GUIMARÃES, P. T. G., SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 185-188, 2004
- SOUSA, J. V., RODRIGUES, C. R., LUZ, J. M. Q., PAULO CÉSAR DE CARVALHO, P. C. C., RODRIGUES, T. M., BRITO, C. H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil, concedendo bolsas de iniciação científica às alunas Ana Luiza Pirolli Figueiredo, Camila Carelli e Luana Brancaloni.