

Adubação potássica em cobertura e a associação de nitrogênio com silicato de potássio na morfologia de plantas, incidência de carvão comum e produtividade de grãos de milho

Potassium in topdressing and the association of nitrogen with potassium silicate in morphology traits, common smut incidence and maize grain yield

Tratamiento de la fertilización con potasio y la asociación de nitrógeno con silicato de potasio en la morfología de las plantas, incidencia de huitlacoche y rendimiento de grano de maíz

Recebido: 24/08/2021 | Revisado: 03/09/2021 | Aceito: 06/09/2021 | Publicado: 07/09/2021

Flávia Barbosa de Santana Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6219-3034>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: flavia.barbosa@ufms.br

Gustavo de Faria Theodoro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1230-2124>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: gustavo.theodoro@ufms.br

Andrey William Alce Miyake

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7456-9513>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: andrey.miyake@ufms.br

Maryana Martins Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5112-8616>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: maryana.ribeiro@outlook.com

Patrick Bezerra Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2368-943X>
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brazil
E-mail: zoo.patrick@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses de potássio (K) e da aplicação foliar de silicato de potássio (K_2SiO_3) associada a doses crescentes de nitrogênio (N) nas características morfológicas, incidência do carvão-comum e produtividade de grãos na cultura do milho em Terenos, MS, na segunda safra de 2018/19. O primeiro experimento foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e os tratamentos foram doses de K_2O em cobertura (0, 63, 93, 133 e 173 $kg\cdot ha^{-1}$). No segundo experimento, o delineamento foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ e quatro repetições, representando quatro doses de N (50, 100, 150 e 200 $kg\cdot ha^{-1}$) em cobertura associadas à pulverização foliar de K_2SiO_3 (0 e 250 $g\ Si\cdot ha^{-1}$), com um tratamento adicional referente à testemunha. O milho cultivado foi o híbrido precoce NK 555 VIP3, estabelecido com uma população de 70 mil plantas por hectare. Doses crescentes de K_2O não influenciaram a incidência do carvão, as características morfológicas das plantas e a produtividade do milho, possivelmente em função do nível de K previamente existente no solo. Houve maior altura de plantas e de inserção de espiga, assim como menor incidência de carvão comum nas plantas que receberam N+Si, em relação ao controle. Não foi observada interação entre doses de N e K_2SiO_3 para as características morfológicas avaliadas e a incidência da doença. Entretanto, as plantas adubadas com 50 $kg\ N\cdot ha^{-1}$ em cobertura tiveram maior produtividade de grãos com a aplicação foliar K_2SiO_3 .

Palavras-chave: *Ustilago maydis*; *Zea mays* L.; Fertilizante.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effects of doses of potassium (K) and foliar sprays of potassium silicate (K_2SiO_3) associated with increasing doses of nitrogen (N) on morphological characteristics, incidence of common smut and maize grain yield in Terenos, MS, Brazil, in the second crop of 2018/19. The first experiment was in a randomized block design, with five replications, and the treatments were topdressed K_2O doses (0, 63, 93, 133 and 173 $kg\cdot ha^{-1}$). In the second experiment, the design was randomized blocks, in a $4 \times 2 + 1$ factorial scheme and four replications, representing four doses of N (50, 100, 150 and 200 $kg\cdot ha^{-1}$) in topdress associated with spraying K_2SiO_3 (0 and 250 $g\ Si\cdot ha^{-1}$), with an additional treatment as control. It was used the early hybrid NK 555 VIP3, established

with a population of 70000 plants.ha⁻¹. Increasing doses of K₂O did not influence the incidence of common smut, the morphological characteristics of the plants and the grain yield, possibly as a function of the level of K previously existing in the soil. There was higher plant height and ear insertion, as well as a lower incidence of common smut in plants that received N+Si, compared to the control. No interaction between doses of N and K₂SiO₃ was observed for the morphological characteristics evaluated and the incidence of the disease. However, plants fertilized with 50 kg N.ha⁻¹ in topdressing had higher grain yield with K₂SiO₃ foliar spray.

Keywords: *Ustilago maydis*; *Zea mays* L.; Fertilizer.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de dosis de potasio (K) y aplicación foliar de silicato de potasio (K₂SiO₃) asociadas con dosis crecientes de nitrógeno (N) sobre características morfológicas, incidencia de huitacoche y rendimiento de grano en el cultivo de maíz en Terenos, MS, Brasil, en la segunda cosecha de 2018/19. El primer experimento fue en un diseño de bloques aleatorios, con cinco repeticiones, y los tratamientos fueron dosis de K₂O cubiertas (0, 63, 93, 133 y 173 kg.ha⁻¹). En el segundo experimento, el diseño experimental fue de bloques aleatorios, en un esquema factorial 4x2+1, con cuatro repeticiones, representando cuatro dosis de N (50, 100, 150 y 200 kg.ha⁻¹) en coberturas asociadas a pulverizando K₂SiO₃ (0 y 250 g Si.ha⁻¹), con un tratamiento adicional referido al control. El maíz cultivado fue el híbrido precoz NK 555 VIP3, establecido con una población de 70 mil plantas por hectárea. Las dosis crecientes de K₂O no influyeron en la incidencia de huitacoche, las características morfológicas de las plantas y el rendimiento de maíz, posiblemente en función del nivel de K previamente existente en el suelo. Hubo mayor altura de planta e inserción de mazorcas, así como una menor incidencia de huitacoche en plantas que recibieron N + Si, en comparación con el control. No se observó interacción entre dosis de N y K₂SiO₃ para las características morfológicas evaluadas y la incidencia de la enfermedad. Sin embargo, las plantas fertilizadas con 50 kg de N.ha⁻¹ en cobertura tuvieron mayor rendimiento de grano con la aplicación foliar de K₂SiO₃.

Palabras clave: *Ustilago maydis*; *Zea mays* L.; Fertilizante.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, com grande importância econômica e versatilidade em sua utilização. Além de ser empregado como biodiesel (Manigandan et al., 2019) e na alimentação humana (Ferreira et al., 2016) o milho é um dos principais ingredientes utilizados na nutrição de animais monogástricos e serve como fonte de energia na formulação de dietas para outros em confinamento e/ou recebendo suplementação a pasto (Pavan e Duckett, 2019).

No Centro Oeste brasileiro, o milho é majoritariamente cultivado em sucessão à soja (*Glycine max*), em uma época conhecida por segunda safra, com um alto risco das plantas serem afetadas por períodos de escassez hídrica. Consequentemente, observa-se menor eficiência de fertilizantes nitrogenados e maior incidência de pragas e doenças que podem comprometer a produtividade (Moterle & Santos, 2019).

O nitrogênio é um macronutriente que desempenha um papel fundamental no crescimento das plantas, pois faz parte de importantes constituintes da célula vegetal e participa de processos fisiológicos que influenciam a capacidade das plantas em aumentar sua produtividade de grãos (Resende et al. 2018). A cultura do milho extrai grandes quantidades de N, que está relacionado à componentes de produção como altura de planta e de inserção de espiga, produção de matéria seca, número de grãos por espiga e massa de grãos (Oliveira et al. 2016). Comparando-se o desempenho do milho em condições de primeira e segunda safra em Dourados, MS, Fuentes et al. (2018) constataram que a época de cultivo influenciou na resposta das plantas à adubação nitrogenada. Foi verificado que, em função da disponibilidade hídrica na segunda safra, não houve aumento significativo na produtividade da cultura em função de doses que variaram de zero a 120 kg N.ha⁻¹. Da mesma forma, Casagrande e Fornasieri Filho (2002) não verificaram diferença na forma de aplicação e de doses de N na produtividade de grãos de milho na safrinha.

O potássio (K) é requerido em grandes quantidades pelo milho devido à sua função no metabolismo vegetal, pois participa como ativador enzimático em processos bioquímicos como a fotossíntese, respiração e translocação (Taiz e Zeiger, 2016). Por outro lado, seu uso em excesso é motivo de controvérsias em segunda safra, pois nem sempre proporciona ganhos em produtividade (Qiu et al., 2014; Lange et al., 2019). Por outro lado, quando é dispensado no solo ou aplicado nas folhas

pode fazer com que o milho suporte estresse hídrico, tenha uma maior produtividade e seja mais resistente às doenças (Amtmann et al., 2008; Ul-Allah et al., 2020; Wasaya et al., 2021).

Classificado como um elemento útil para as plantas, o silício tem se destacado em diversas culturas agrícolas por trazer inúmeros benefícios às plantas, principalmente nas acumuladoras de Si (Artyszak, 2018). Entre eles, destaca-se o aumento da resistência ao estresse hídrico; maior eficiência fotossintética; redução dos ataques de insetos-praga e doenças e, se aplicado ao solo, melhora seus atributos químicos (Korndörfer et al., 2010; Sakr, 2017; Fernandes et al., 2020; Guazina et al., 2020). Sabendo que fontes de Si (*e.g.*, silicato de potássio [K_2SiO_3]) podem reduzir o efeito negativo de estresses abióticos e bióticos e, ao mesmo tempo, promover aumentos na produção de grãos nas culturas agrícolas (Soratto et al., 2012; Moise et al., 2019), é possível deduzir que a associação K_2SiO_3 com o N pode melhorar o desempenho das plantas de milho.

Uma das doenças que pode ser encontrada nas espigas é o carvão-comum do milho, causado por *Ustilago maydis*, que tem distribuição nas principais áreas produtoras do mundo e pode causar perdas econômicas (León-Ramírez et al. 2004). Conforme Aydoğdu e Boyraz (2018), locais com temperaturas elevadas, menor precipitação pluviométrica e doses de N acima de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ favoreceram a ocorrência da doença.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de K e de N associado ao K_2SiO_3 na morfologia, incidência do carvão comum e produtividade de grãos de milho cultivado em segunda safra.

2. Metodologia

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo, durante a safra agrícola de 2018/19 na Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), localizado no município de Terenos, MS, nas coordenadas $20^\circ 26' 17'' \text{S}$ e $54^\circ 51' 24'' \text{W}$, a 407 m de altitude e com clima tropical e estação seca. O solo foi identificado como Latossolo Vermelho distrófico com textura muito argilosa.

Os dados climáticos referentes ao local e período de condução do experimento foram coletados na estação meteorológica do CPTEC/INPE (2021). Durante o ciclo do milho cultivado em segunda safra, em ambos os experimentos, observou-se que a precipitação pluviométrica acumulada foi de 438,6 mm, a temperatura mínima média $20,2^\circ \text{C}$ e a máxima $30,8^\circ \text{C}$.

As características químicas, de acordo com a análise de solo (0-20 cm), foram as seguintes: pH: 6,3; MO ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$): 42,6; Ca ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$): 6,7; Mg ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$): 7,1; K ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$): 1,34; P ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$): 73,7; H+Al ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$): 5,7. Fez-se o preparo mínimo da área conforme descrito por Theodoro et al. (2018) e a adubação na semeadura foi com $270 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do formulado 10-10-10.

Experimento I

O delineamento experimental empregado foi de blocos ao acaso, com cinco repetições e os tratamentos foram representados por doses de cloreto de potássio em cobertura (0, 63, 93, 133 e $173 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K_2O), no estádio V5, juntamente com $150 \text{ kg} \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$ na forma de sulfato de amônio.

Experimento II

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$, com quatro repetições, e os fatores foram: quatro doses de nitrogênio em cobertura (50, 100, 150 e $200 \text{ kg} \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$) e aplicação foliar de silicato de potássio (0 e 250 g Si ha^{-1}). O fertilizante nitrogenado usado foi o sulfato de amônio e os tratamentos foram aplicados quando as plantas estavam no estádio fenológico V5. No tratamento controle, não houve a utilização de N e K_2SiO_3 . Aplicou-se uma fonte comercial de K_2SiO_3 ($168 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Si + $250 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de K_2O), por meio de um pulverizador costal pressurizado a CO_2 , na vazão de 150 L ha^{-1} .

Manejo experimental

Em ambos os experimentos, as parcelas experimentais tinham seis linhas, espaçadas em 0,6 m, com cinco metros de comprimento. Houve a semeadura do híbrido precoce NK 555 VIP3 em fevereiro de 2019 e, aos 20 dias após a semeadura, procedeu-se ao desbaste das plantas para que houvessem 126 plantas em cada parcela experimental, que correspondeu à população de 70 mil plantas por hectare.

Avaliações

As avaliações foram realizadas em 20 plantas aleatoriamente escolhidas nas duas fileiras centrais de cada parcela, dez dias após as adubações em cobertura. As primeiras avaliações morfológicas foram feitas conforme Rezende et al. (2020), medindo-se a altura das plantas e de inserção de espigas.

Avaliou-se a incidência do carvão-comum do milho (%) no estágio fenológico R5, que ocorreu por meio de infecção natural, conforme adaptação da metodologia descrita por Pope e McCarter (1992). Foram avaliadas todas as plantas presentes na parcela experimental, com a anotação da quantidade das que manifestavam sintomas típicos da doença.

A colheita manual do milho foi feita no estágio fenológico R6 (maturação fisiológica) e a separação dos grãos ocorreu em uma debulhadora mecânica. Estimou-se a produtividade, a 13% de umidade, conforme Brasil (2009).

Análise estatística

Experimento I: os dados foram analisados seguindo um modelo em blocos casualizados ($Y_{ijk} = \mu + K_i + B_j + \varepsilon_{ijk}$), Y_{ijk} : valor observado; μ : constante geral; K_i : efeito das doses de potássio ($i = 50, 100, 150$ e 200 kg.ha^{-1}); B_j : efeito do bloco ($j = \text{I, II, III, IV e V}$); ε_{ijk} : erro aleatório, associado a cada valor observado.

Experimento II: os dados foram analisados seguindo um modelo em blocos casualizados, em esquema fatorial ($Y_{ijk} = \mu + N_i + B_k + K_2\text{SiO}_3j + [N^*K_2\text{SiO}_3]_{ij} + \varepsilon_{ijk}$) com tratamento controle ($Y_{av} = \mu + C_a + B_v + \varepsilon_{av}$), em que, Y_{ijk} : valor observado; μ : constante geral; N_i : efeito das doses de nitrogênio ($i = 50, 100, 150$ e 200 kg.ha^{-1}); B_k : efeito do bloco ($k = \text{I, II, III e IV}$); $K_2\text{SiO}_3j$: efeito do silicato de potássio ($j = 0$ e 250 g kg.ha^{-1}); $N^*K_2\text{SiO}_3j$: efeito da interação entre doses de nitrogênio e silicato de potássio; C_a : efeito do tratamento controle ($a = 0 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N e $K_2\text{SiO}_3$); ε_{ijk} : erro aleatório, associado a cada valor observado.

Após os procedimentos descritos anteriormente (experimentos I e II), quando cabível, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey, considerando um nível de 5% de significância.

As doses de nitrogênio e potássio foram submetidas à análise de regressão de primeiro ($Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1N + \varepsilon_{ij}$) e segundo grau ($Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1N + \beta_2N^2 + \varepsilon_{ij}$), sendo escolhido o modelo que exibisse efeito significativo à 5%, e maior coeficiente de determinação ($R^2 \geq 80\%$). As correlações para os experimentos foram obtidas pela análise de correlação de Pearson e o teste t, considerando um nível de 5% de significância.

Para a realização das análises de variância e regressão utilizou-se o pacote *ExpDes* (Ferreira et al., 2014) e as matrizes de correlação foram obtidas pelo pacote *Corrgram* (Wright, 2018) do software R versão 4.0.

3. Resultados

Experimento I

As doses crescentes de K não geraram oscilações para altura de planta ($P = 0,961$) e inserção de espiga ($P = 0,940$). Foi observado um valor médio de 1,35% de plantas infectadas com *U. maydis* ($P = 0,562$) em relação à produtividade e estimou-se um valor médio de $5491,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($P = 0,600$) (Tabela 1).

No intervalo de confiança de 95%, a altura de planta apresentou alta correlação com inserção de espiga ($P < 0,001$),

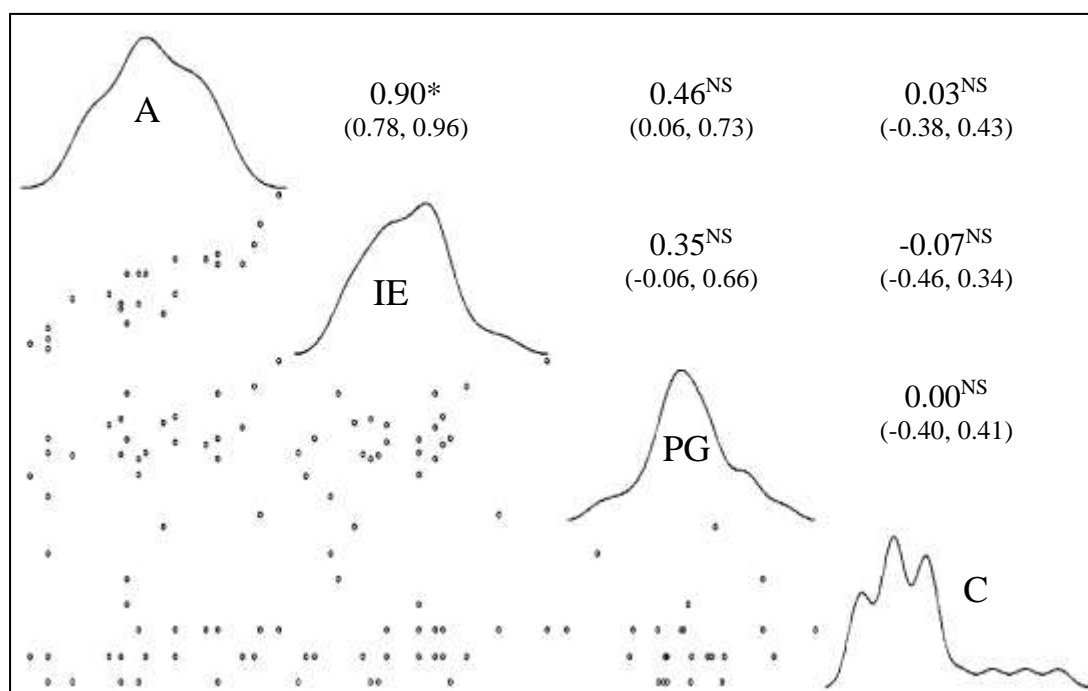
no entanto, as demais variáveis não estiveram correlacionadas ($P > 0,05$) (Figura 1).

Tabela 1 - Características morfológicas, incidência de *Ustilago maydis* (carvão) e produtividade de grãos na cultura do milho sob doses crescentes de potássio em cobertura. Terenos - MS. Safra 2018/19.

Variável	K ₂ O (kg.ha ⁻¹)					EPM
	0	63	93	133	173	
Altura de planta (m)	1,83 ^a	1,85 ^a	1,82 ^a	1,78 ^a	1,82 ^a	0,024
Inserção de espiga (m)	0,99 ^a	0,96 ^a	0,97 ^a	0,94 ^a	0,98 ^a	0,015
Incidência de <i>Ustilago maydis</i> (%)	1,98 ^a	1,75 ^a	1,43 ^a	0,63 ^a	0,95 ^a	0,316
Produtividade (kg ha ⁻¹)	5266 ^a	5664 ^a	5887 ^a	5532 ^a	5109 ^a	151.87

Médias seguidas por letras na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valor – p: probabilidade efeito significativo. EPM: erro padrão da média.
 Fonte: Autores.

Figura 1 – Matriz de correlação das características morfológicas, incidência de *Ustilago maydis* (carvão) e produção de grãos na cultura do milho sob doses crescentes de potássio em cobertura. A: altura de planta (m); IE: inserção de espiga (m); C: carvão (n° de plantas); PG: produtividade de grãos (kg ha⁻¹). *significativo à 1% de probabilidade. NS: não significativo à 5% de probabilidade.



Fonte: Autores.

Experimento II

O tratamento fatorial (N*K₂SiO₃) promoveu plantas e espigas mais altas em relação ao controle ($P < 0,05$), assim como uma redução de 47,9% na incidência de *U. maydis* na cultura do milho (Tabela 2).

Tabela 2 – Características morfológicas e incidência de *Ustilago maydis* (carvão comum) na cultura do milho sob o manejo de adubação utilizando a associação de nitrogênio em cobertura e pulverização com silicato de potássio (fatorial) e o controle (testemunha). Terenos - MS. Safra 2018/19.

Variável	Fatorial	Controle	Valor p	EPM
Altura de planta (m)	1,92 ^a	1,70 ^b	0,021	0,030
Inserção de espiga (m)	1,07 ^a	0,922 ^b	0,026	0,022
Incidência de <i>Ustilago maydis</i> (%)	1,14 ^b	2,36 ^a	0,036	0,223

Médias seguidas por letras na linha diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valor – p: probabilidade efeito significativo. EPM: erro padrão da média.

Fonte: Autores.

Não foi observada interação entre doses de N e K₂SiO₃ para características morfológicas avaliadas e incidência de *U. maydis* ($P > 0,05$). As doses de nitrogênio, assim como o K₂SiO₃, não causaram oscilações na altura de planta e de inserção da espiga do milho. O mesmo evento também foi observado na incidência de *U. maydis*, sendo estimado um valor médio de 1,14 % de plantas infectadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Características morfológicas e incidência de *Ustilago maydis* (carvão comum) na cultura do milho sob o manejo de adubação utilizando a associação de nitrogênio em cobertura com pulverização de silicato de potássio. Terenos - MS. Safra 2018/19.

Variável	N (kg.ha ⁻¹)				K ₂ SiO ₃ (g Si.ha ⁻¹)		Valor p	
	50	100	150	200	0	250	N	K ₂ SiO ₃
Altura de planta (m)	1,91 ^a	1,99 ^a	1,91 ^a	1,91 ^a	1,91 ^a	1,93 ^a	0,687	0,716
Inserção de espiga (m)	1,06 ^a	1,11 ^a	1,06 ^a	1,04 ^a	1,05 ^a	1,08 ^a	0,721	0,612
Incidência de <i>Ustilago maydis</i> (%)	1,10 ^a	0,79 ^a	1,17 ^a	1,49 ^a	1,06 ^a	1,21 ^a	0,603	0,672

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valor – p: probabilidade efeito significativo. D: doses; S: silício D*S: interação entre doses e silício.

Fonte: Autores.

O fatorial proporcionou maiores valores de rendimento de grãos (4797 kg.ha⁻¹) em relação ao controle (4140 kg.ha⁻¹) ($P = 0,007$). Como pode ser verificado na Tabela 4, houve efeito de interação entre as doses de N e K₂SiO₃ ($P = 0,001$), em que, ao utilizar 50 kg ha⁻¹ de N associado à 250 g.ha⁻¹ de K₂SiO₃, aumentou 28% a produtividade.

Tabela 4 – Produtividade de grãos de milho em função da associação da pulverização de silicato de potássio e doses crescentes de nitrogênio em cobertura. Terenos - MS. Safra 2018/19.

K ₂ SiO ₃ (g.ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹)				Equação	R ² (%)
	50	100	150	200		
0	3693 ^{Bc}	4566 ^{Ab}	4330 ^{Abc}	5567 ^{Aa}	$y = 3192 + 10,77 * N$	80,00
250	5135 ^{Aa}	5115 ^{Aa}	4948 ^{Aa}	5025 ^{Aa}	ns	-
EPM	120,37					

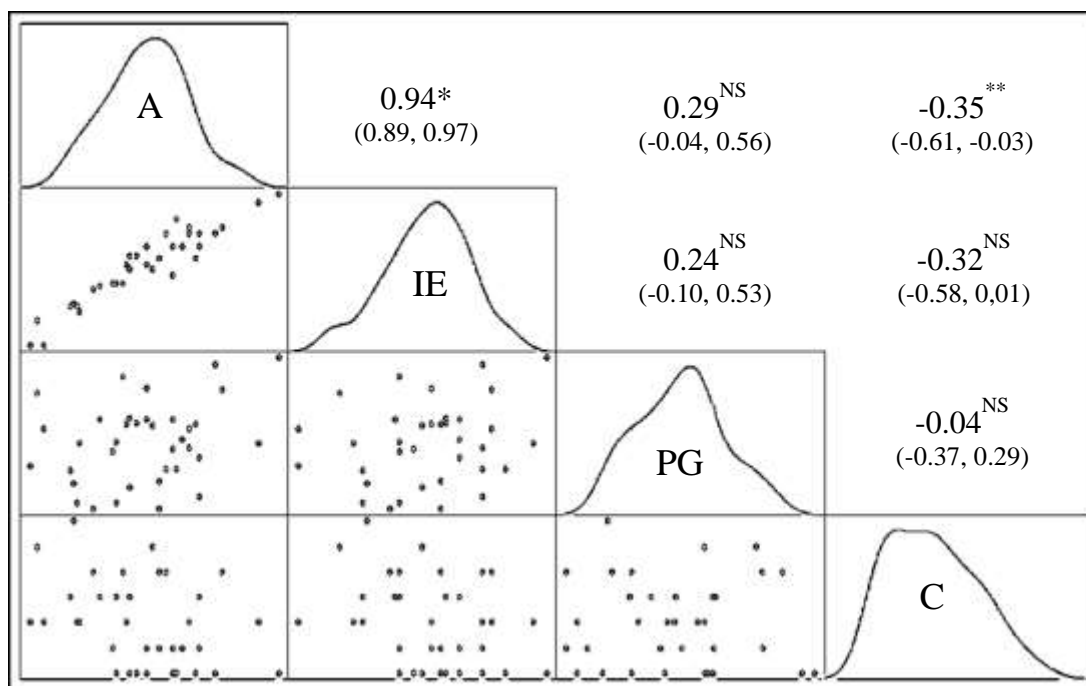
Médias seguidas de letras maiúsculas nas colunas, e minúscula nas linhas diferem entre si a 5% de probabilidade. R²: coeficiente de determinação. ns: não significativo.

Fonte: Autores.

Na ausência de silicato de potássio, as informações de produtividade em função das doses crescentes de nitrogênio apresentaram um melhor ajuste a uma equação de primeiro grau positiva ($P = 0,012$), ou seja, à medida em que ocorreu uma maior oferta de N, também foram registrados acréscimos no rendimento de grãos. Na situação experimental com a dosagem de K_2SiO_3 , não ocorreram oscilações na produtividade ($P = 0,920$) e se estimou um valor médio de $5056 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grãos de milho (Tabela 4).

No intervalo de confiança de 95%, foi observado que a altura de planta apresentou alta correlação com inserção de espiga ($P < 0,001$) e correlação negativa com ocorrência de *U. maydis* ($P = 0,033$); para as demais características, não houve correlação ($P > 0,05$) (Figura 2).

Figura 2 – Matriz de correlação das características morfológicas, incidência de *Ustilago maydis* (carvão) e rendimento de grãos na cultura do milho utilizando a associação de nitrogênio e silicato de potássio. A: altura de planta (m); IE: inserção de espiga (m); C: incidência de carvão (%); PG: produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). *significativo à 1% de probabilidade. **significativo a 5% de probabilidade. NS: não significativo a 1% de probabilidade.



Fonte: Autores.

4. Discussão

A ausência de resposta significativa ($P > 0,05$) das plantas às doses crescentes de K_2O em cobertura indicou que o elevado teor deste elemento no solo em que a cultura foi instalada (Souza & Lobato, 2004) e a adubação com $27 \text{ kg } K_2O\cdot\text{ha}^{-1}$ na semeadura foi suficiente para se obter a expressão do potencial produtivo do híbrido em condições de segunda safra. De acordo com a recomendação de adubação potássica empregada na região, quando se tem um nível alto de K no solo, é recomendada a dose de $20 \text{ kg } K_2O\cdot\text{ha}^{-1}$ para produzir de quatro a seis toneladas de grãos por hectare (Vergütz et al., 2017). Aventa-se a hipótese que o elevado teor de K no solo ($6,7 \text{ cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$), que correspondeu a cerca de 6,4% da CTC, limitou aumentos significativos na produtividade com o incremento da dose de K em cobertura.

Andreotti et al. (2000) observaram aumento no acúmulo de matéria seca em um híbrido simples de milho, cultivado em condições de casa de vegetação, até a concentração de $0,15 \text{ cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ e houve redução na absorção de K pelas plantas

quando os teores de cálcio e magnésio foram elevados. Lange et al. (2019) observaram resultados semelhantes quando o milho foi cultivado em Sorriso, MT, na safrinha de 2014/15, tendo sido atribuído à oferta suficiente de K no solo antes da instalação da lavoura e pelo seu melhor aproveitamento, em função da ocorrência de uma maior precipitação pluviométrica em relação à safra anterior. É importante salientar que a ausência de aumento na produtividade pelas doses crescentes de K_2O também pode estar relacionada à marcha de absorção de K pelo híbrido NK 555 VIP3. Ul-Allah et al. (2020) verificaram comportamento distinto entre oito híbridos de milho e que, sob estresse hídrico, o melhor desempenho médio foi com $75 \text{ kg } K_2O \cdot ha^{-1}$.

O aumento de doses de K_2O não alterou a incidência de carvão comum no milho (Tabela 1). Embora existam generalizações em relação ao efeito do potássio na resistência de plantas a patógenos, há relatos de efeitos opostos e nulos associados às peculiaridades da interação patógeno-hospedeiro (Ammann et al., 2008).

Nas condições em que estes experimentos foram conduzidos, constatou-se que cultivar milho em segunda safra sem adubação proporcionou uma maior incidência de carvão comum, plantas com estatura e espigas mais baixas e menor produtividade de grãos. Quando as exigências nutricionais do milho são supridas, é possível obter um crescimento vigoroso durante a fase vegetativa, com melhor eficiência fotossintética e, conseqüentemente, aumentos na produção primária (Zafar-ul-Hye et al., 2020). O elemento N atua de forma expressiva nas características botânicas e fisiológicas na planta. Dong-liang et al. (2020) relataram que altas taxas de N em plantas de milho causaram um maior índice de área foliar e fotossíntese líquida, que influencia efetivamente no desenvolvimento vegetativo.

Verificou-se que a incidência média da doença foi relativamente baixa, provavelmente em função do processo de infecção natural (Pope e McCarter, 1992). Porém, as plantas se desenvolveram em uma área com a presença do fungo no solo e com condições ambientais favoráveis à ocorrência do carvão comum que, mesmo em baixa incidência, possivelmente promoveu algum nível de estresse fisiológico na cultura pela possível existência de plantas assintomáticas (Breford et al., 2009). Aventa-se a hipótese que este estresse foi amenizado com a adubação nitrogenada associada à aplicação foliar de silicato de potássio, pois foi constatada uma menor incidência média nas plantas que receberam estes fertilizantes. Esta prática pode ser considerada para compor o controle cultural de doenças de plantas, que contribui com a sustentabilidade econômica de sistemas produtivos (Silva et al., 2012; Guazina et al., 2020).

Apesar do K_2SiO_3 não promover oscilações nas características morfológicas (Tabela 3), existem evidências indicando que a utilização de fontes de Si pode contribuir com um maior acúmulo de macronutrientes na parte aérea da planta (Stocco et al., 2014). O Si também influencia a fisiologia do milho, como foi observado por Xu et al. (2016), Galindo et al., (2020) e Ning et al., (2020). Estes autores expuseram que a adição de Si aumentou a fluorescência da clorofila e alguns parâmetros fotossintéticos, bem como antioxidantes enzimáticos, parâmetros de desenvolvimento de parte aérea e rendimento de grãos. Ibrahim et al. (2020) avaliaram plantas de milho em situação de déficit hídrico severo e moderado, sob aplicação foliar de K_2SiO_3 e relatam que a fonte de Si mitigou danos induzidos pelo estresse devido aos aumentos expressivos de prolina, açúcares solúveis e ácido ascórbico.

Aydoğdu e Boyraz (2011) estudaram o efeito da fertilização com N em plantas de milho para verificar a incidência da doença, inoculando artificialmente *U. maydis*. As fontes de N foram uréia, (0, 100, 200 e $300 \text{ kg} \cdot ha^{-1}$), quatro doses de esterco de curral e fertilizantes orgânicos (0, 12, 18 e $24 \text{ t} \cdot ha^{-1}$). Semelhantemente aos resultados obtidos no presente trabalho, estes autores não constataram diferença significativa na incidência da doença em função das doses avaliadas. Bocianowski et al. (2016) avaliaram, por dois anos, a sanidade de híbridos de milho em função de diferentes fertilizantes minerais em uma condição de baixa incidência natural de carvão comum (menos de 1%). Dependendo da safra, foi observada menor incidência de *U. maydis* nas plantas que receberam fertilizantes em relação ao tratamento controle.

Observou-se que, na ausência ou presença de silicato de potássio, a produtividade apresentou ajuste a uma equação de primeiro grau em função das doses crescentes de N. Quando as plantas receberam a menor dose de N ($50 \text{ kg} \cdot ha^{-1}$), houve

aumento significativo de aproximadamente 39% na produtividade nas plantas que receberam pulverização foliar de K_2SiO_3 . A produtividade não diferiu entre as plantas que receberam ou não K_2SiO_3 nas demais doses de nitrogênio. Além disso, constatou-se que houve diferença ($P < 0,05$) de produtividade entre as doses de N somente nas plantas que não foram pulverizadas com K_2SiO_3 (Tabela 4), onde a ausência do fertilizante foliar silicatado fez com que o desempenho do milho adubado com a menor dose de N fosse menor.

Quando as plantas foram adubadas com a menor dose de N, o K_2SiO_3 provavelmente mitigou estresses fisiológicos típicos do cultivo de milho na segunda safra e, indiretamente, causados pelo processo infeccioso de *U. maydis*. Além disso, Silva et al. (2021) observaram potencialização dos efeitos do N e sua maior absorção em plântulas de milho quando foram cultivados com presença de Si em solução nutritiva, com aumento da atividade metabólica e na ausência de fatores de estresse. Estas informações indicam que o uso do silicato de potássio pode ser uma ferramenta valiosa no cultivo do milho em segunda safra em Mato Grosso do Sul, porém, é imprescindível a avaliação de sua viabilidade econômica (Guazina et al., 2020).

De acordo com Freitas et al. (2011), a produtividade do milho não diferiu com a aplicação de Si, via foliar, em diferentes épocas, o que foi ratificado por Teodoro et al. (2014). Conforme estes autores, este fato somente ocorreu pelas plantas não terem nenhum tipo de estresse durante o ciclo e se desenvolverem com boa disponibilidade hídrica. Sousa et al. (2010) constataram aumento de 10,2% na produtividade do milho pelo uso de K_2SiO_3 via foliar nas fases de V4 e V6, na dose de $3,2 \text{ L ha}^{-1}$ com $171 \text{ g de Si L}^{-1}$, havendo um incremento de 18,3 sacas por ha^{-1} , ou seja, para cada 1kg Si houve incremento de $33,3 \text{ sacas ha}^{-1}$.

Devido à ausência de correlação de rendimento de grãos com as demais características estudadas (Figuras 1 e 2), é possível afirmar que os efeitos ambientais foram análogos para ambos experimentos. Em relação às características que apresentaram correlação, aponta-se que plantas de milho de ciclo precoce atingem a maturidade reprodutiva em um intervalo de tempo menor e, logo, vão apresentar altos valores de correlação entre altura de planta/inserção de espiga (Gonçalves et al., 2018).

5. Conclusão

As doses crescentes de K_2O avaliadas não alteram a morfologia das plantas, incidência de carvão comum e produtividade de grãos quando já existem teores elevados de K no solo.

O N associado ao K_2SiO_3 impacta positivamente nas características morfológicas e produtividade de grãos do milho cultivado e reduz a incidência de carvão comum em segunda safra.

A pulverização foliar com K_2SiO_3 em plantas de milho cultivadas na segunda safra pode ser uma prática que acrescenta valor na busca da sustentabilidade e do melhor uso de fertilizantes nitrogenados nos sistemas de produção agropecuários.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pela concessão de bolsas de iniciação científica, o suporte financeiro e a disponibilização dos servidores técnico-administrativos que ajudaram nas operações de campo.

Referências

Amtmann, A., Troufflard, S. & Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133, 682–691.

- Andreotti, M., Souza, E. C. A., Crusciol, C. A. C., Rodrigues, J. D. & Büll, L. T. (2000). Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(12), 2437-2446.
- Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality - A literature review in Europe. *Plants*, 7(3), 54.
- Aydoğdu, M. & Boyraz, N. (2011). Effects of nitrogen and organic fertilization on corn smut (*Ustilago maydis* (DC) Corda.). *African Journal of Agricultural Research*, 6(19), 4539-4543.
- Bocianowski, J., Szulc, P., Tratwal, A., Nowosad, K. & Piesik, D. (2016). The influence of potassium to mineral fertilizers on the maize health. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 1286-1292.
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. MAPA/ACS. 399p.
- Brefort, T., Doehlemann, G., Mendoza-Mendoza, A., Reissmann, S., Djamei, A. & Kahmann, R. (2009). *Ustilago maydis* as a pathogen. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 423-445.
- Casagrande, J. R. R. & Fornasieri Filho, D. (2002). Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(1), 33-40.
- CPTEC/INPE. (2021). Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <https://www.cptec.inpe.br>
- Dong-liang, Q. I., Tian-tian, H. U. & Xue S. (2020). Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root-zone irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(11), 2792-2806.
- Fernandes, P. B., Bitencourt, L. P., Theodoro, G. F., Curcio, U. A., Theodoro, W. A., Arruda, C. O. C. B. (2020). Influence of calcium silicate on soil fertility and corn morphology. *Journal of Agricultural Studies*, 8(1), 51-63.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P. & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952.
- Ferreira, S. M. R., de Mello, A. P., dos Anjos, M. D. C. R., Krüger, C. C. H., Azoubel, P. M., & de Oliveira Alves, M. A. (2016). Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Food chemistry*, 191, 147-151.
- Freitas, L. B. de, Coelho, E. M., Maia, S. C. M. & Silva, T. R. B. (2011). Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Revista Ceres*, 58(2), 262-267.
- Fuentes, L. F. G., Souza, L. C. F. de., Serra, A. P., Rech Jeresu. & Vitorino A. C. T. (2018). Corn agronomic traits and recovery of nitrogen from fertilizer during crop season and off-season. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(10), 1158-1166.
- Gonçalves, G. M. B., Pereira, M. G., Ferreira Júnior, J. A., Schwantes, I. A., Durães, N. N. L., Crevelari, A. & Amara Junior, A. T. (2018). Development and selection of super-sweet corn genotypes (sh2) through multivariate approaches. *Bragantia*, 77, 536-545.
- Guazina, R. A., Theodoro, G. F., Muchalak, S. M., & Pessoa, L. G. A. (2019). Aplicação foliar de silício na produtividade e sanidade de cultivares de soja. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18, 187-193.
- Guazina, R. A., Nass, R. A. R., Theodoro, G. F., Brumatti, R. C., Muchalak, S. M. & Golin, H. O. (2020). Agronomic and economic evaluation of sequential spray of silicon and fungicides for a sustainable soybean crop. *Journal of Agricultural Studies*, 8(2), 1-16.
- Ibrahim, M. F. M., Abd El-Samad, G., Ashour, H., El-Sawy, A. M., Hikal, M., Elkelish, A., El-Gawad, H. A., El-Yazied, A. A., Hozzein, W. N. & Farag, R. (2020). Regulation of agronomic traits, nutrient uptake, osmolytes and antioxidants of maize as influenced by exogenous potassium silicate under deficit irrigation and semiarid conditions. *Agronomy*, 10, 1212.
- Korndörfer, P. H., Silva, G. C., Teixeira, I. R., Silva, A. G. & Freitas, R. S. (2010). Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 40(2), 119-125.
- Lange, A., Cavalli, E., Cavalli, C., Buchelt, A. C. (2019). Adubação potássica e seu efeito residual no sistema soja-milho safrinha em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 18(2), 192-205.
- León-Ramírez, C. G., Cabrera-Ponce, J. L., Martínez-Espinoza, A. D., Herrera-Estrella, L., Méndez, L., Reynaga-Peña, C. G. & Ruiz-Herrera, J. (2004). Infection of alternative host plant species by *Ustilago maydis*. *New Phytologist*, 164(2), 337-346.
- Manigandan, S., Gunasekar, P., Devipriya, J. & Nithya, S. (2019). Emission and injection characteristics of corn biodiesel blends in diesel engine. *Fuel*, 235, 723-735.
- Moise, E., McNeil, J. N., Hartley, S. E., & Henry, H. (2019). Plant silicon effects on insect feeding dynamics are influenced by plant nitrogen availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167, 91-97
- Moterle, L. M., Santos, R. F. (2019). Época de aplicação de fungicida na cultura do milho segunda safra. *Colloquium Agrariae*, 15(2), 61-71.
- Oliveira, F. C., Netto, M. S., Araújo, L. S., Almeida, A. C. S., Silveira, P.M. & Cunha, P. C. R. da. (2016). Corn development and production in function of sources of nitrogen fertilizers and doses. *Revista Caatinga*, 29(4), 812-821.
- Pavan, E. & Duckett, S. K. (2019) Longissimus muscle composition and palatability of grazing steers supplemented with corn oil or corn grain. *Meat and Muscle Biology*, 3(1), 181-193.
- Pope, D. D. & Mccarter, S. M. (1992). Evaluation of inoculation methods for inducing common smut on corn ears. *Phytopathology*, 82(9), 950-955.
- Qiu, S., Xie, J., Zhao, S., Xu, X., Hou, Y., Wang, X., Zhou, W., He, P., Johnston, A. M., Christie, P. & Jin, J. (2014). Long-term effects of potassium fertilization on yield, efficiency, and soil fertility status in a rain-fed maize system in northeast China. *Field Crops Research*, 163, 1-9.

- Resende, A. V., Borghi, E., Gontijo Neto, M. M., Santos, F. C., Coelho, A. M., Simão, E. P. Nutrição e adubação da cultura do milho. In: Prado, R.M., Campos, C.N.S. *Nutrição e adubação de grandes culturas*. FCAV, 2018. p.253-274
- Rezende, R. P., Golin, H. O., Abreu, V. L. S., Theodoro, G. F., Franco, G. L., Brumatti, R. C., Fernandes, P. B., Bento, A. L. L. & Rocha, F. A. T. R. (2020). Does intercropping maize with forage sorghum effect biomass yield, silage bromatological quality and economic viability? *Research, Society and Development*, 9(4), p.1-25.
- Sakr, N. (2017). The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against insect pests review article. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 52(2), 185-204.
- Silva, E. S., Prado, R. M., Soares, A. A. V. L., Almeida, H. J. & Santos, D. M. M. (2021). Response of corn seedlings (*Zea mays* L.) to different concentrations of nitrogen in absence and presence of silicon. *Silicon*, 13, 813–818.
- Silva, R. R., Theodoro, G. F., Libório, C. B., Pessoa, L. G. A. (2012). Influência da densidade de cultivo de dois genótipos de milho na severidade da mancha de cercospora e no rendimento de grãos na 'safrinha. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(4), 1449-1454.
- Soratto, R P., Crusciol, C. A. C., Castro, G. S. A., Costa, C. H. M. D. & Ferrari Neto, J. (2012). Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(5), 1538-1544.
- Sousa, J. V., Rodrigues, C. B., Luz, J. M. Q., Carvalho, P. C. de., Rodrigues, T. M., & Brito, C. H. de. (2010). Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. *Bioscience Journal*, 26(4), 502-513.
- Souza, D. M. G. & Lobato, E. (2004). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa, (2a ed.), 416 p.
- Stocco, F. C., Passos, R. R., Andrade, F. V. & Mesquita, L. F. (2014). Escórias de siderurgia na nutrição de gramíneas cultivadas em latossolo vermelho-amarelo. *Bioscience Journal*, 30(4).
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2016). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. Artmed, (6a ed.),
- Theodoro, P. E., Ribeiro, L. P., Corrêa, C. C. G. & Torres, F. E. (2014). Desempenho de híbridos de milho sob aplicação foliar de silício no cerrado sul-matogrossense. *Bioscience Journal*, 30(3), 224-231.
- Theodoro, G. F., Golin, H. O., Silva, M. S., Rezende, R. P. & Abreu, V. L. S. (2018). Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(2), 25-30.
- Ul-allah, S., Ijaz, M., Nawaz, A., Sattar, A., Sher, A., Naeem, M., Shahzad, U., Farooq, U., Nawaz, F. & Mahmood, K. (2020). Potassium application improves grain yield and alleviates drought susceptibility in diverse maize hybrids. *Plants*. 9(1), 75.
- Vergütz, L., Novais, R. F. & Valadares, R. V. (2017). Recomendação de corretivos e adubação. In: Galvão, J. C., Borém, A., Pimentel, M. A. *Milho: do plantio à colheita*. UFV, 107-138.
- Wasaya, A., Yasir, T. A., Sarwar, N., Farooq, O., Rehman, A., Mubeen, K., Ali, M., Affan, M. & Aziz, A. (2021). Foliage applied potassium improves stay green, photosynthesis and yield of maize (*Zea mays* L.) under rainfed condition. *Plant Physiology Reports*, 26, 38–48.
- Wright, K. (2018). *Corrgram [R-package]*. kwstat.github.io/corrgram
- Xu, H., Lu, Y. & Xie, Z. (2016). Effects of silicon on maize photosynthesis and grain yield in black soils. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(11): 779-785.
- Zafar-ul-Hye, M., Wasim, M. M., Munir, T. M., Aon, M., Shaaban, M., Abbas, M. & Ahmad, M. (2020). Co-application of sugarcane bagasse biochar, farmyard manure and mineral nitrogen improved growth indices of corn grown in alkaline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 43(9), 1293-1305.