



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE AGRONOMIA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**



**Francielle Borges Carneiro**

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO À SUBSTITUIÇÃO DE K POR Na**

**UBERLÂNDIA-MG,**

**2022**

FRANCIELLE BORGES CARNEIRO

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO À SUBSTITUIÇÃO DE K POR Na**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Araújo Hulmann Batista

Uberlândia – MG

2022

## **AGRADECIMENTOS:**

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por me acompanhar em toda minha trajetória acadêmica.

À minha família, agradeço por todo apoio, foi graças a todo incentivo que recebi durante esses anos que hoje posso celebrar esse marco em minha vida, a minha formatura. Em especial, gostaria de agradecer a minha mãe, por ser minha eterna companheira, por me apoiar sempre em minhas decisões, puxar minha orelha quando necessário e, principalmente por nunca ter permitido que eu desistisse dos meus sonhos e dos meus objetivos.

À minha irmã Florence, que encheu minha vida de alegria com sua chegada.

À minha prima, Fernanda, que me presenteou com um presentinho especial chamado Gabriel, que fez com que eu voltasse a sorrir perante às dificuldades da vida.

À Naninha, minha segunda mãe, pelo apoio, incentivo e carinho de sempre.

Às minhas tias, pelo apoio e pelo amor incondicional.

À minha avó Lazara, pelo incentivo ao aprofundamento na gramática e na língua portuguesa.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado durante a graduação. Em especial ao Mateus, que foi um irmão que a vida me deu, e que nunca mediu esforços para me ajudar ou me deixar feliz.

Ao professor Wedisson Oliveira Santos e aos técnicos Igor e a Jessica do LABAS pelos auxílios, explicações e disponibilidade em me ajudar sempre no que fosse necessário.

A Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade em concretizar o curso de Agronomia e especialmente à Prof. Dra. Araújo Hulmann Batista pela oportunidade de estar sob sua orientação e por todo auxílio prestado durante o período de orientação, o conhecimento transmitido contribuiu grandemente para a minha formação.

Não poderia deixar de agradecer em memória da Vó Cida e do Vô Mar, que deixaram um legado muito grande de caráter, união e bons exemplos. E a Cacá, que é minha eterna princesa e que sempre estará presente em minhas lembranças e no meu coração.

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	7
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4	CONCLUSÃO .....	24
5	REFERÊNCIAS .....	24

## RESUMO

A agricultura brasileira é altamente dependente do fornecimento externo de fertilizantes, especialmente os potássicos. Com o presente trabalho, objetivou-se avaliar respostas do milho à substituição de (potássio)  $K^+$  por (sódio)  $Na^+$ . O estudo foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia durante o mês de Janeiro de 2022. A unidade experimental constituiu-se de um vaso com  $1,0 \text{ dm}^{-3}$  de solo corrigido com mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, cuja relação molar Ca/Mg foi de 4/1. Antes do plantio, aplicou-se  $300 \text{ mg/dm}^3$  de P em todo o volume de solo utilizando o superfosfato triplo como fonte do nutriente. Semanalmente, após a emergência e desbaste das plantas, foram aplicadas doses de N, S, Zn, Cu, Mn, Fe e Mo. Os tratamentos consistiram de cinco proporções de Na/K (100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100) para duas doses de K ou Na ( $50$  e  $200 \text{ mg/dm}^3$ ) e um tratamento controle (ausência de fertilização com Na ou K). Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com quatro repetições. Como variáveis avaliou-se o crescimento inicial das plantas, massa de matéria seca e conteúdo de K e Na. Também, ao final do experimento foram determinados os teores disponíveis de K e Na (Mehlich 1). Os resultados foram submetidos a análise de regressão e as médias comparadas por teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo software R. A substituição de K por Na apesar de não afetar negativamente o crescimento inicial do milho até 75%, causa sintomas de deficiência de potássio, e isso influencia na sua fisiologia.

**Palavras-chave:** Adubação potássica, sódio, fertilizantes alternativos, substituição de nutriente.

## ABSTRACT

Brazilian agriculture is highly dependent on the external supply of fertilizers, especially potassium. The present study aimed to evaluate corn responses to the replacement of (potassium) K by (sodium) Na. The research was conducted in a greenhouse at the Federal University of Uberlândia in January 2022. The experimental unit consisted of a pot with  $1.0 \text{ dm}^3$  of soil corrected with a mixture of calcium carbonate and magnesium carbonate, whose molar ratio Ca/Mg was

4/1. Before planting, 300 mg/dm<sup>3</sup> of P was applied to the entire soil volume using triple superphosphate as a source of the nutrient. Weekly, after plant emergence and thinning, doses of N, S, Zn, Cu, Mn, Fe, and Mo were applied. The treatments consisted of five Na/K ratios (100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100) to two doses of K or Na (50 and 200 mg/dm<sup>3</sup>) and a control treatment (absence of Na or K fertilization). The treatments were distributed in randomized blocks with four repetitions. The variables evaluated were initial plant growth, dry matter mass, and K and Na content. Also, at the end of the experiment, the available K and Na contents (Mehlich 1) were determined. The results were submitted to regression analysis and the means were compared using the Tukey test at 5% probability using the R software. The replacement of K by Na, despite not negatively affecting the initial growth of corn up to 75%, leaves the plant became deficiency potassium, which influences its physiology.

**Key-words:** Potassium fertilization, replacement, alternative fertilizers.

## 1 INTRODUÇÃO

O K é um elemento fundamental para produção do milho, depois do N, é absorvido em maiores quantidades, sendo que, em média, 30% são exportados para os grãos (COELHO, 2005). A produção de milho no Brasil depende da utilização de fertilizantes, já que é praticada em solos, geralmente de baixa fertilidade para K.

Este nutriente representa parte importante dos nutrientes importados pelo Brasil, gerando elevados custos e dependência do mercado internacional (SILVA e HERMANN, 2013). Segundo informações da Afnews Agrícola (2021) para o KCl, principal fonte de K para a agricultura, o Brasil produziu apenas 3,5% do total do que é consumido no país. Destaca-se que este nutriente representa elevados custos para os produtores agrícolas, o que justifica a busca por alternativas que visem reduzir a necessidade de sais potássicos, por fontes mais baratas e produzidas em território nacional, como o NaCl.

A importância desta investigação é relevante para a cultura do milho (*Zea mays*, L), que apresenta grande destaque na economia brasileira, além disso, é o alimento mais produzido no mundo, devido a sua versatilidade de consumo, que atende desde a produção animal até a agroindústria. Com uma razoável distribuição regional, o principal produtor nacional é Mato Grosso, que juntamente com Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais produziram 74,2% da safra nacional em 2017/18 (CONAB, 2016).

Esta cultura ganha especial destaque, pois é muito cultivada na segunda safra, logo após a safra de soja. Nesta época as condições ambientais são menos favoráveis, especialmente quanto à disponibilidade hídrica e com relação aos gastos com fertilizantes, que devem ser mínimos, uma vez que a expectativa de produtividade é reduzida.

Solos com fertilidade já construída irão exigir menores investimentos em fertilizantes, que têm expressiva participação nos custos de produção (RICHETTI, 2012). Ressaltando que a boa nutrição do milho safrinha melhora a tolerância das plantas aos efeitos do déficit hídrico (COELHO e RESENDE, 2008). A adubação do milho safrinha nas mais diversas regiões produtoras é

bastante variável, mas basicamente realizada com adubos contendo nitrogênio (N), fósforo (P) e/ou K. Em algumas situações, opta-se por realizar a adubação também com micronutrientes (SIMÃO, 2016).

Em termos de fisiologia das plantas e a possibilidade de substituir parte do K por fontes alternativas, mais acessíveis ao mercado brasileiro, é importante considerar as pesquisas que têm sido realizadas com o objetivo de elucidar melhor o tema. Os papéis do K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> na nutrição de plantas geraram investigações essenciais às plantas superiores (WAKEEL et al., 2011). Entretanto, sabe-se que mais de 90% do K utilizado pelas plantas está presente nos vacúolos e é responsável pelo controle do potencial osmótico das plantas, e esta, não é uma função específica do K. Na verdade trata-se de uma função físico-química que não necessariamente é exercida pelo nutriente (EPSTEIN e BLOOM, 2005). Além disso, existe consenso de que algumas plantas podem responder à aplicação de elementos considerados não essenciais, melhorando em crescimento e produtividade, como ocorre em diversas espécies onde houve a substituição parcial de K por Na (GARCIADÉBLAS et al., 2003; ALI et al, 2009; WAKEEL et al, 2010b). Elementos que são fisicamente e quimicamente similares, como é o caso do K e Na, podem ser substituídos nestas funções não específicas, inclusive diminuindo o nível crítico do K, quando o segundo é fornecido (SUBBARAO et al, 2003).

Neste sentido, diversos estudos sobre a substituição de K por Na demonstram que é possível, para muitas culturas como por exemplo a beterraba, e condições agrícolas, a substituição de parte do fertilizante potássico por Na, uma vez que este último, apesar de não essencial e até mesmo considerado tóxico para algumas espécies, cumpre algumas das funções no metabolismo vegetal (MATEUS et al, 2021). Diversos autores puderam comprovar, inclusive, que a presença de Na em ambientes onde há baixo fornecimento de K, atua de forma positiva e diminui os sintomas de deficiência deste último (SUBBARAO et al, 2003; MATEUS et al, 2021). Portanto, esta substituição é possível na nutrição de plantas, pois, ambos atuam fisiologicamente na ativação enzimática da ATPase, na osmorregulação, na absorção de macronutrientes, na permeabilidade das células, na síntese de carboidratos, na conversão da frutose em glicose, na abertura e fechamento estomático, no vigor de plantas e no



transporte de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) para as células das plantas (KORNDORFER, 2007).

A substituição de K por Na nos processos fisiológicos das plantas não é apenas de interesse acadêmico, mas tem implicações práticas substanciais para o gerenciamento de fertilizantes. No entanto, até agora não foram descritos aspectos pragmáticos pelos estudos realizados (WAKEEL, et al., 2011). O Na é um elemento químico presente em altos teores em solos pouco intemperizados (KORNDORFER, 2007). Em nutrição mineral de plantas, o Na é classificado como elemento benéfico, pois, quando presente no solo ou na solução nutritiva, pode promover o aumento da produtividade em algumas culturas. É absorvido na forma iônica Na<sup>+</sup> e possui alta mobilidade nos tecidos vegetais, com uma concentração variando entre 0,013 e 35,1 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea (INOCENCIO et al, 2014). Por exemplo, o Na pode substituir o K na nutrição da beterraba, sendo necessário um alto grau para atingir o máximo de produção e baixar o nível crítico de K<sup>+</sup>. Vale salientar sobre sintomas de deficiência nutricional relativos à Na terem sido observados em algumas espécies por diversos autores (WAKEEL et al., 2009; WAKEEL et al., 2011). Em algumas culturas o fornecimento de doses conjuntas de K e Na podem melhorar o desenvolvimento das plantas (ZHANG et al., 2006). Por outro lado, o Na<sup>+</sup> é tóxico para a maioria das plantas. Há evidências consideráveis de que a exclusão do Na<sup>+</sup> é o mecanismo para sobrevivência de culturas importantes para combater o estresse promovido por este elemento (WAKEEL et al., 2009). Assim, é fundamental considerar que as plantas são classificadas em quatro grupos, de acordo com a tolerância ao Na: I - compreende aquelas que elevam a produtividade com a substituição parcial de K por Na; II - que respondem à substituição, porém possuem ligeira queda na produtividade em relação ao primeiro grupo; III - que são indiferentes à substituição; e IV - que na substituição de qualquer proporção de K por Na reduz a produtividade (FAQUIN, 2005; KORNDORFER, 2007).

A reciclagem de nutrientes num sistema de vida fechado, que é quando os resíduos têm uma destinação final e com isso, eles passam por processos que buscam aproveitar ao máximo suas propriedades, inclusive transformando-os novamente em matérias-primas que vão reiniciar todo o processo, não seria um problema se as necessidades nutricionais de plantas, humanos e animais

estivessem na mesma proporção. Contudo, o  $\text{Na}^+$  é necessário em quantidades relativamente elevadas no metabolismo humano e animal, e não segue o mesmo padrão para os vegetais. Assim, quando  $\text{Na}^+$  é adicionado a este sistema para satisfazer as exigências humanas e animais, é acumulado nos seres vivos, e finalmente acumulado no solo. Juntamente com o desenvolvimento de plantas resistentes ao  $\text{Na}^+$ , a utilização deste na nutrição vegetal para culturas específicas, tem de ser concebida para eliminar os seus efeitos nocivos no desenvolvimento.

Ainda, é fundamental destacar, que pesquisas com estes elementos químicos são importantes não somente no aspecto da resposta das plantas, mas no que tange a qualidade dos solos. Isto porque além da preocupação com a melhoria da fertilidade dos solos e produtividade das áreas agrícolas, existe (de forma legítima) a preocupação com relação a conservação da qualidade dos solos. Por isto, é crescente a demanda por pesquisas que tratem do efeito salino do uso de fertilizantes nos solos agrícolas. Entretanto, mesmo com todo o empenho e preocupação em reduzir a salinidade dos solos cultivados, a substituição de K por Na pode ser uma estratégia interessante e importante, apesar da maior salinidade do segundo.

Considerando os apontamentos anteriores, objetiva-se com o presente trabalho avaliar algumas respostas no desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays*) mediante a substituição de K (KCl) por sódio (NaCl).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado na casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, município de Uberlândia - MG.

Os tratamentos consistiram de cinco proporções de Na/K (100/0; 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100), mais um tratamento controle (sem fertilização com Na ou K) para duas doses de Na ou K (50 e 200  $\text{mg/dm}^3$ ). Os tratamentos foram aplicados no momento do plantio em todo o volume do solo e foram distribuídos em blocos casualizados com quatro repetições.

Foram realizadas três aplicações de uma solução nutritiva previamente preparada conforme descrito na Tabela 1, para todos os tratamentos, considerando o fornecimento das doses requeridas dos nutrientes em um

volume de solo de 1dm<sup>3</sup> para a cultura do milho (Novais et al., 1991). Cada unidade experimental recebeu 20 mL da solução nutritiva em cada aplicação. A primeira aplicação foi feita dia 21/01/2022, a segunda dia 26/01/2022 e a terceira dia 02/02/2022. Na Figura 1a e 1b está apresentada a solução e sua distribuição realizada com o auxílio de uma pipeta para todos os tratamentos.

**Tabela 1.** Composição da solução nutritiva utilizada para fornecimento dos nutrientes requeridos ao desenvolvimento da cultura do milho.

Fonte	Aplicação (mg dm <sup>-3</sup> )
Sulfato de Amônio ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	150
Ácido Bórico (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	0,82
Cloreto de Manganês (MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	3,7
Sulfato de Zinco (ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O)	4,0
Sulfato de Cobre II (CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O)	1,3
Sulfato de Ferro II (FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O)	1,6
Molibdato de Amônio ((NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0,15

Fonte: Modificado por Novais et al. (1991)



1a

1b

**Figura 1.** Aplicação de solução nutritiva multinutriente (N, S, Zn, Cu, Mn, Fe e Mo) nas unidades experimentais.

O solo utilizado no trabalho foi coletado na camada de 0 – 20 cm na Fazenda Experimental do Glória, município de Uberlândia, MG. Pertence à classe Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa (Embrapa, 2018) e foi escolhido devido à baixa disponibilidade natural de K. O experimento foi realizado em vasos de 1dm<sup>3</sup> (unidade experimental), onde foi colocado o solo seco e peneirado (malha  $\leq$  2 mm), corrigido com mistura 4/1 Ca/Mg, utilizando carbonato de cálcio e carbonato de magnésio. Todas as unidades experimentais receberam as mesmas doses de outros nutrientes, conforme Novais et al. (1991) para experimentos em casa de vegetação.

O plantio das sementes de milho ocorreu em janeiro de 2022 e foi conduzido por um período de quarenta dias. Foi utilizada a cultivar NS80 da Nidera, semeando-se 10 sementes por vaso (Figura 2a) e após oito dias, foi realizado o desbaste, deixando apenas 4 plantas por vaso (Figura 2b).



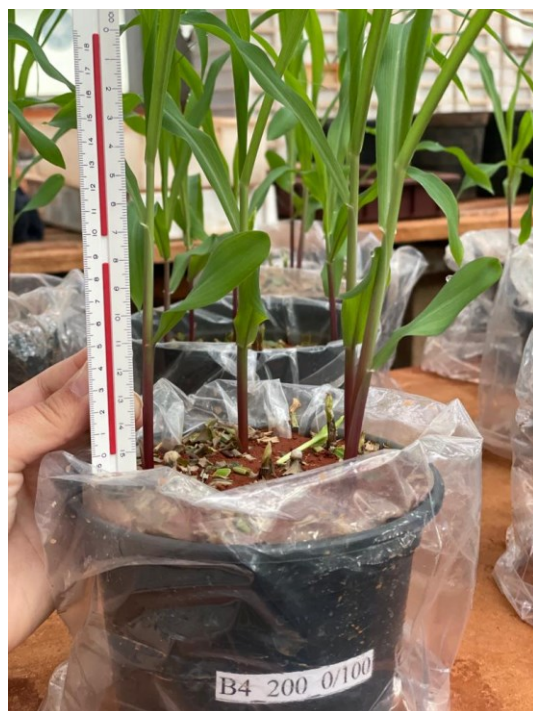
2a

2b

**Figura 2.** Imagem do experimento em casa de vegetação antes (2a) e depois do desbaste das plantas germinadas (2b).

Após este período foram avaliados os parâmetros altura de planta aos 7, 14, 21 e 30 dias (Figura 3), massa seca e o conteúdo de K e Na na parte aérea das plantas. Após a coleta e limpeza do material vegetal, este foi seco em estufa de circulação de ar a 65 °C até obtenção de massa constante. As amostras foram então moídas em moinho do tipo Wiley para dar continuidade ao processo de análise foliar. Os teores de K e Na foram determinados em equipamento de espectrofotometria de emissão de chama.





**Figura 3.** Medição da altura das plantas com o uso do escalímetro.

Para determinação do K foi diluído o extrato obtido na digestão nítrico-perclórica (7/1), para que a concentração de K da solução permanecesse dentro da curva padrão preparada (EMBRAPA, 2013). Geralmente, este extrato é diluído 10 vezes, na proporção 1:9, usando uma parte de extrato para nove partes de água ultra pura. O fotômetro foi calibrado com os padrões 0 e 50 mg/L de K, respectivamente, para as emissões do equipamento de 0 e 100, respectivamente, valores pertencentes ao intervalo de concentração estabelecido para a curva de calibração. É feita então a leitura da curva analítica obtendo a respectiva equação e a leitura das amostras, com posterior transformação da emissão em concentração de K.

A determinação do Na foi realizada diretamente no extrato obtido por solubilização nítrico-perclórica. O fotômetro foi calibrado com os padrões 0 e 10 mg/L Na, respectivamente, para as emissões 0 e 50 valores menor e maior da curva de calibração. Foram realizadas as leituras dos demais padrões, quando da estabilização do aparelho. Procedeu-se a leitura da curva padrão obtendo a respectiva equação e as leituras das amostras. Mesmo na chama de propano, pode haver ionização do potássio, para suprimir esse efeito, adiciona-se sódio nos padrões e nas amostras, na concentração de 0,1g/L.

Os solos foram coletados dos vasos ao final do experimento com auxílio de minitrado, secos ao ar, passados em peneira de malha 2 mm para análise de K e Na trocáveis por Mehlich 1 e acidez ativa.

Para realização de análise do teor de K e Na no solo foram realizados os procedimentos analíticos descritos a seguir. Foram tomados 5 cm<sup>3</sup> de TFSA em frascos plásticos de 100 mL e adicionados 50 mL do extrator Mehlich 1. As amostras foram agitadas por 15 min em agitador circular horizontal a 160 rpm e permaneceram em repouso por ± 16 h. Foram tomadas alíquotas de ± 10 mL do sobrenadante em um becker e realizada a determinação a leitura diretamente neste extrato, utilizando um espectrofotômetro de emissão em chama. Foi utilizada a solução Mehlich-1, que é composta por H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,0125 mol/L<sup>1</sup>) e HCl (0,05 mol/L<sup>1</sup>).

Os resultados obtidos de cada unidade experimental foram submetidos a teste de normalidade e homogeneidade de variância para então realizar a análise de variância (ANOVA). Foi realizada análise de regressão para os dados e as médias foram comparadas por Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha=5\%$ ). As análises foram realizadas com o programa R.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na germinação não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2). Isto ocorreu conforme esperado, uma vez que as sementes contam com sua própria reserva nutricional e taxa germinativa, sofrendo pouca influência do substrato, ressaltando que a presença do Na não influenciou negativamente o processo de germinação e estabelecimento das mudas.

**Tabela 2.** Média do número de sementes germinadas por vaso em cada tratamento.

Tratamento Na/K	Dose de K	Sementes germinadas
(%)	mg/dm <sup>3</sup>	<i>n</i>
<b>0/100</b>	50	9,75
<b>25/75</b>	50	9,5
<b>50/50</b>	50	10
<b>75/25</b>	50	10
<b>100/0</b>	50	10

<b>Controle</b>	0	10
<b>0/100</b>	200	10
<b>25/75</b>	200	10
<b>50/50</b>	200	10
<b>75/25</b>	200	10
<b>100/0</b>	200	10

A análise de variância para a altura das plantas (dados não apresentados) demonstrou que não houve interação entre as porcentagens de Na/K e as doses. Assim, os resultados foram avaliados separadamente para cada dose (50 mg/dm<sup>3</sup> e 200 mg/dm<sup>3</sup>) como dois experimentos distintos. As análises de variância do efeito dos tratamentos de K e Na sobre a altura, nas doses de 50 mg/dm<sup>3</sup> e 200 mg/dm<sup>3</sup> estão detalhadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, e demonstram que houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos.

**Tabela 3.** Análise de variância do efeito das diferentes proporções de K e Na sobre a altura na dose de 50 mg/dm<sup>3</sup>

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Blocos	3	0,68	0,223	
Tratamentos	5	209,51	21,90	22,65**
Resíduo	15	14,51	0,97	
Total	23	124,70		
C.V	9,04%			

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; F: estatística f; CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 4.** Análise de variância do efeito das diferentes proporções de K e Na sobre a altura na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Blocos	3	2,98	0,99	
Tratamentos	5	215,07	43,01	57,40**
Resíduos	15	11,24	0,75	



Total	23	229,29		
C.V	7,14%			

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; F:estatística f; CV: Coeficiente de variação.

O teste de Tukey para o fator B (Tabela 5) mostrou que a dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> promoveu maior crescimento das plantas, quando comparada à dose de 50 mg/dm<sup>3</sup>. Isto indica que a menor dose escolhida é insuficiente para a demanda da planta por K. Ressalta-se, entretanto, que não é possível afirmar que a dose maior tenha suprido toda a necessidade pelo nutriente, pois, o incremento não chegou a apresentar o nível crítico em nenhum resultado. Isto é positivo no presente experimento, uma vez que a literatura consultada demonstrou que em ambientes que apresentam restrição de K, o Na pode exercer um efeito benéfico no desenvolvimento das plantas (SUBBARAO et al., 2003; MATEUS et al, 2021).

**Tabela 5.** Valores médios de altura do caule para as doses de 200 e 50 mg/dm<sup>3</sup> pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Grupos	Tratamentos	Médias
A	200 mg.dm <sup>-3</sup>	13,11 a
B	50 mg.dm <sup>-3</sup>	11,62 b

Os resultados apresentados na Tabela 6 e 7 mostram que não houve diferença significativa entre a altura das plantas até a substituição de 75 % do K por Na. Estes resultados sugerem que, considerando o efeito da substituição na variável altura de planta, não há prejuízo para o desenvolvimento das plantas até esta proporção de substituição. Por outro lado, a substituição de 100% por Na foi negativa para o desenvolvimento das plantas, e isto se deve às funções essenciais do K que não podem ser exercidas por nenhum outro elemento químico (EPSTEIN e BLOOM, 2005). O potássio é essencial para toda a vida vegetal, e na maioria das plantas terrestres é o principal nutriente inorgânico catiônico. Os papéis do K<sup>+</sup> nas plantas podem ser resumidos da seguinte forma: (1) ativação enzimática, (2) balanceamento de carga e (3) osmorregulação. Em relação à ativação enzimática em algumas reações vitais não há a possibilidade de substituição do K por nenhum outro elemento, pois o tamanho do espaço disponível no local da reação (raio iônico do K encaixa perfeitamente) não

comporta outro cátion monovalente (WAKEEL et al, 2011). Esta conclusão é em função da similaridade das respostas no tratamento 100/0 (Na/K) com o tratamento controle, onde foi omitido o fornecimento de ambos elementos químicos.

**Tabela 6.** Altura média das plantas (cm) em resposta aos diferentes tratamentos na dose de 50 mg/dm<sup>3</sup>.

<b>Tratamento (% Na/K)</b>	<b>Altura das plantas</b>
	cm
0/100	12,53 a
25/75	13,22 a
50/50	11,97 a
75/25	11,47 a
100/0	8,91 b
Controle	7,17 b

Os tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 7.** Altura média das plantas (cm) em resposta aos diferentes tratamentos na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>.

<b>Tratamento (% Na/K)</b>	<b>Altura das plantas</b>
	cm
0/100	14,94 a
25/75	14,38 a
50/50	14,16 a
75/25	13,25 a
100/0	8,83 b
Controle	7,17 b

Os tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim, como mencionado anteriormente, o baixo desenvolvimento da altura das plantas no tratamento 100/0, que foi estatisticamente igual ao controle, ocorreu devido à deficiência de K nas suas funções específicas - para as quais ele é essencial - e não devido à toxidez de Na. Na imagem 4a, observa-se que o tratamento 100/0 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> demonstrou sintomas de deficiência de K, como - baixo crescimento e amarelecimento de folhas mais velhas. Ao lado

dele, encontra-se o tratamento controle, equivalente ao tratamento 100/0 nas características observadas visualmente e, possivelmente, fisiológicas. Esta percepção visual aliada aos resultados estatísticos (Figura 5), leva à conclusão de que ambos tratamentos são iguais para o desenvolvimento das plantas, ou seja, apresentaram deficiência de K.

Já na imagem 4b estão os tratamentos nos quais as plantas apresentaram as melhores características visuais - tratamentos 0/100 e 75/25 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>. Observa-se nestes tratamentos que a substituição por até 75% de Na não causou nenhuma deficiência severa ou efeitos deletérios em decorrência de toxidez. Quando comparado ao tratamento 0/100, que é 100% de K, as plantas apresentaram bom desenvolvimento em relação à altura, vigor e sanidade. Apesar de haver diferença visual para o tratamento 100% K, com melhor desenvolvimento para este, os resultados estatísticos para matéria seca foram iguais nos tratamentos 0/100 e 75/25 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>, sendo estes, superiores aos demais (Figura 5).



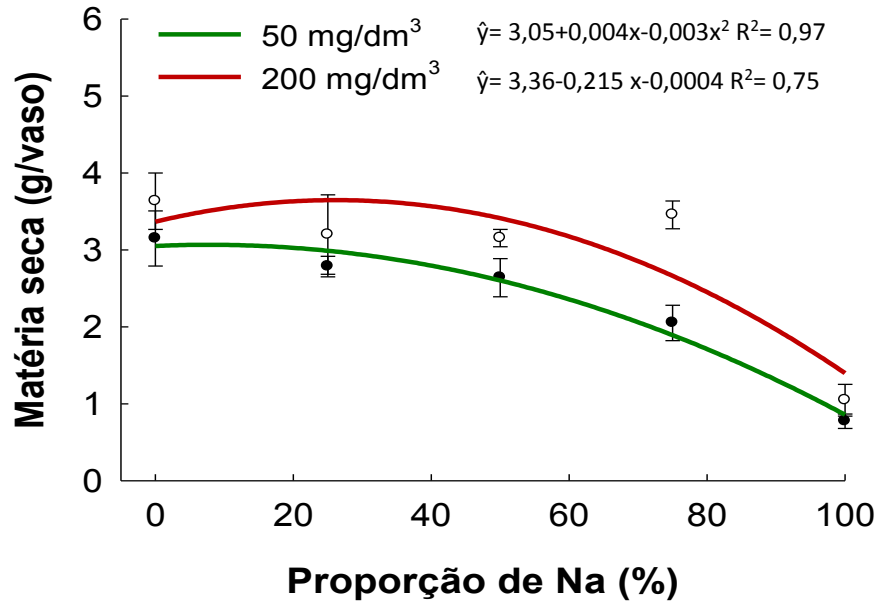
4a.

4b.

**Figura 4.** 4a Tratamento 100/0 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> e o tratamento controle; 4b Tratamento 0/100) e 75/25 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>.

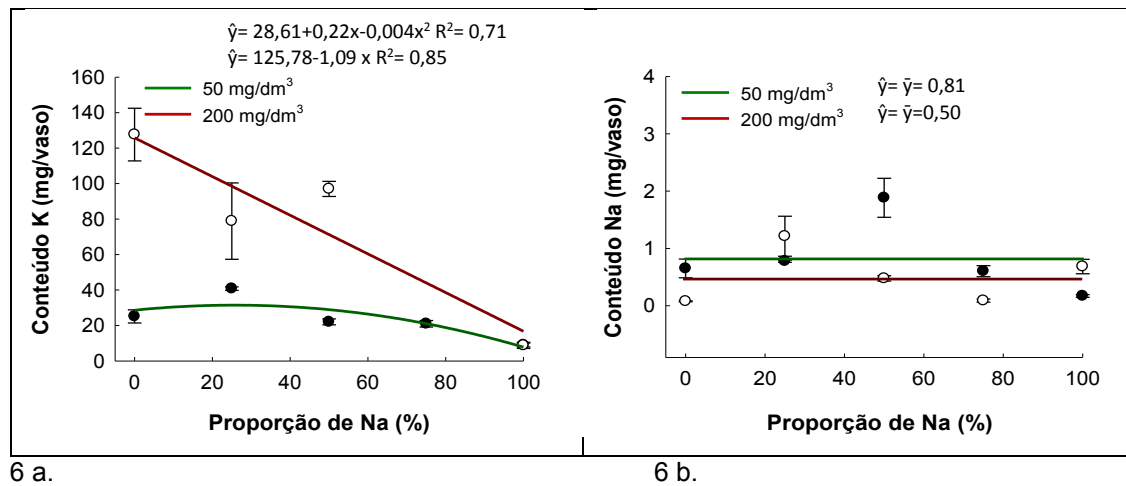
Os tratamentos na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> apresentaram maiores teores de matéria seca da parte aérea por vaso (valores em g) quando comparados aos tratamentos na dose de 50 mg/dm<sup>3</sup>. Os tratamentos que mais se destacaram foram 0/100 e 75/25 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> (aproximadamente 3,5 g/vaso) e os menores valores para esta variável foram encontrados no tratamento 100/0 na dose de 50 mg/dm<sup>3</sup> (aproximadamente 1,5 g/vaso). Aparentemente, como mencionado anteriormente, não há evidências de prejuízo para o desenvolvimento das plantas de milho com a substituição de K por Na até a proporção de 50%. Outra conclusão possível com base nos resultados obtidos, é de que quanto menor a dose de K aplicada, pior é o efeito da substituição, ao contrário do que foi considerado por outros trabalhos desenvolvidos nesta linha de pesquisa (SUBBARAO et al, 2003). A deficiência de K leva ao menor crescimento da parte aérea das plantas, o que a partir de 50% de substituição, passa afetar mais significativamente as funções específicas do nutriente essencial. Uma vez que até 90% do que o K exerce como funções nas plantas, não é algo específico deste nutriente, nota-se a possibilidade de substituição em parte, não no todo, por elemento de funções similares, no caso, o Na no controle do potencial osmótico.

O aumento da proporção de Na afetou negativamente, de forma quadrática, a produção de matéria seca do milho, para ambas as doses (Figura 6).



**Figura 5.** Produção de matéria seca da parte aérea do milho submetido a fertilização com Na e K em diferentes doses (50 e 200 mg/dm<sup>3</sup>) e proporções (0, 25, 50, 75 e 100%). Pelo menos um parâmetro das equações de regressão foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Barras verticais representam o erro padrão da média, n= 4.

Houve efeito diferenciado das proporções de Na/K no acúmulo desses elementos pelas plantas de milho. Na dose 50 mg/dm<sup>3</sup>, o aumento na proporção de Na afetou o conteúdo de K de forma quadrática, já na dose 200 mg/dm<sup>3</sup> o aumento da proporção de Na diminuiu linearmente a absorção de K (Figura 6). Para Na, curiosamente o aumento na proporção deste elemento não afetou seu conteúdo.

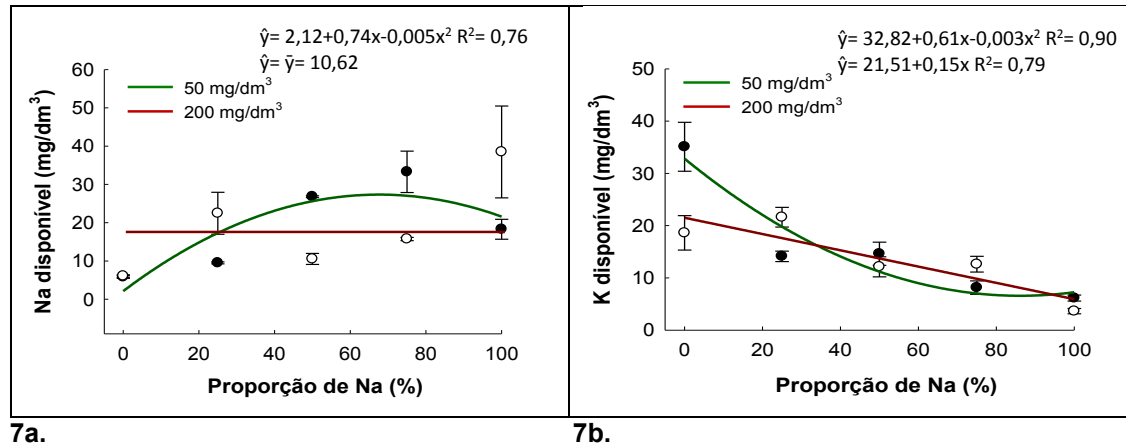


**Figura 6. 6a.** Conteúdo de K e Na na parte aérea do milho submetido a fertilização com esses elementos em diferentes doses (50 e 200 mg/dm<sup>3</sup>) e proporções (0, 25, 50, 75 e 100%). Pelo menos um parâmetro das equações de regressão foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Barras verticais representam o erro padrão da média, n= 4.

Vale destacar que apesar do aumento no fornecimento de Na, o conteúdo nas unidades experimentais não apresentou variações significativas na maior parte das doses testadas, exceto para o tratamento de 50/50 na dose de 50 mg/dm<sup>3</sup> e 25/75 na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>. É importante considerar que mesmo as doses fornecidas de K e Na sendo equivalentes entre os tratamentos, os teores na matéria seca da parte aérea apresentaram diferenças da ordem de 100 vezes a mais de K em relação ao Na. É possível concluir que a planta apresenta algum mecanismo de proteção para a absorção de doses excessivas de Na, não possibilitando efeitos nocivos do elemento em seu metabolismo e desenvolvimento (RODRÍGUES-NAVARRO, 2006).

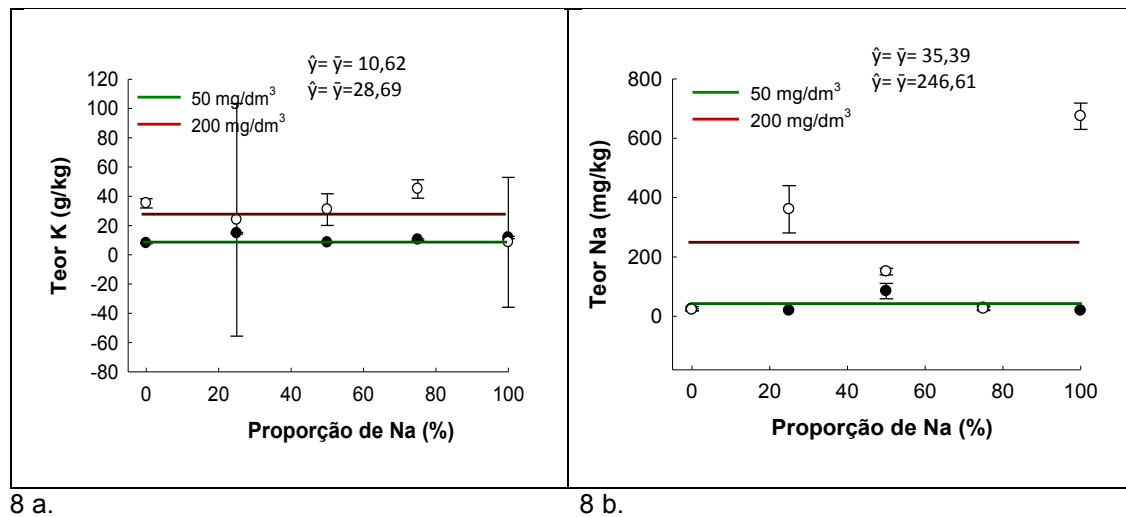
Houve aumentos de Na disponível no solo, demonstrado pelos resultados apresentados na Figura 7a, o que torna as respostas em relação ao conteúdo do elemento nas plantas ainda mais relevantes. Estudos de absorção e aproveitamento de Na nas espécies vegetais, com atenção para os aspectos fisiológicos e respostas metabólicas, podem esclarecer melhor este comportamento. Conforme aumento na dose fornecida de Na, há maior disponibilidade do elemento no solo, especialmente para a dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>, ao contrário do observado para o aproveitamento pelas plantas. O efeito inverso, resultados de acordo com o esperado, foi observado para o K disponível no solo (Figura 7b) e seu conteúdo nas plantas.

Na Figura 7b observa-se que o aumento da proporção de Na, diminuiu o teor disponível de K, o que é altamente esperado já que com o aumento da proporção de Na diminui a dose de K, e vice-versa.



**Figura 7.** Teor disponível de K e Na no solo após cultivo de milho submetido a fertilização com Na e K em diferentes doses (50 e 200 mg/dm<sup>3</sup>) e proporções (0, 25, 50, 75 e 100%). Pelo menos um parâmetro das equações de regressão foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Barras verticais representam o erro padrão da média, n= 4.

Os teores de K ou Na na parte aérea do milho não foram afetados pelas proporções Na/K em ambas as doses (Figura 8), o que é inesperado, já a produção de matéria seca foi uma variável sensível. Adicionalmente, o elevado erro padrão para os teores de K certamente dificultou a significância estatística. Para Na, a falta de consistência de tendência desses dados repercutiu também negativamente no conteúdo, em termos de significância.



**Figura 8.** Teor de K ou Na na parte aérea de plantas de milho submetido a fertilização com esses elementos em diferentes doses (50 e 200 mg/dm<sup>3</sup>) e proporções (0, 25, 50, 75 e 100%). Pelo menos um parâmetro das equações de regressão foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Barras verticais representam o erro padrão da média, n= 4

#### 4 CONCLUSÃO

A substituição de K por Na apesar de não afetar negativamente o crescimento inicial do milho até 75%, deixa a planta com uma deficiência maior de potássio, e isso influencia na sua fisiologia. A porcentagem de 50/50 se mostrou mais eficiente deixando um intervalo mais seguro entre o bom desenvolvimento e a possibilidade de prejuízos causados por deficiência de potássio.

#### 5 REFERÊNCIAS

ALI, L., RAHMATULLAH, MAQSOOD, M. A., KANWAL, S., ASHRAF, M., AND HANNAN, A. Potassium substitution by sodium in root medium influencing growth behavior and potassium efficiency in cotton genotypes. J. Plant Nutr. 32: 1657–1673, 2009.

COELHO, A. M.; O Potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2, 2004, São Paulo. Anais do II



Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Potafos, 2005. 841 p.

COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2008. 10 p. (Circular Técnica 111).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 3 - Safra 2015/16, n 5 - Quinto levantamento, fevereiro 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Second ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA. 2005.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

GARCIADÉBLAS, B., SENN, M.E., BANUELOS, M. A., AND RODRÍGUEZ-NAVARRO, A. Sodium transport and HKT transporters: the rice model. *Plant J.* 34:788–801, 2013.

INOCENCIO, M. F.; CARVALHO, J. G.; FURTINI NETO, A. E. Potássio e sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. *Revista Árvore.* Viçosa, p. 113-123, 2014.

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.

MATEUS, N.S.; FLORENTINO, A.L.; SANTOS, E.F.; FERRAZ, A.V.; GONCALVES, J.L.M.; LAVRES, J. Partial substitution of K by Na alleviates drought stress and increases water use efficiency Eucalyptus species seedlings. *Frontier in Plant Science*, v. 12:1-16, 2021.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. et al. (Coord.). Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2016.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura do milho safrinha, 2013, em Mato Grosso do Sul. Comunicado Técnico 182. Dourados, MS. 2012

RODRÍGUEZ-NAVARRO, A., RUBIO, F. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *J. Exp. Bot.* 57: 1149–1160, 2006.

SILVA, J. R. P.; HERMANN, E. R. Fontes de potássio para a cultura do milho (*Zea mays*, L.). 4 f. - Curso de Agronomia, Faculdades Gammon, Paraguaçu Paulista, 2013.

SIMÃO, E. P. Características agronômicas e nutrição do milho safrinha em função de épocas de semeadura e adubação. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, 2016. Disponível em: [https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Eduardo%2019\\_2\\_16\(3\).pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Eduardo%2019_2_16(3).pdf). Acesso em: 26 ago. 2021.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; BERRY, W. L.; WHEELER, R. M. Sodium-a functional plant nutrient. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 391–416, 2003.

UNITED STATES DEPARTMENT AGRICULTURE – USDA. Agricultural Projections. Disponível em: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

WAKEEL, A., HANSTEIN, S., PITANN, B., SCHUBERT, S. Potassium substitution in plants as affected by salt stress. *J. Plant Physiol.* 167: 725–731, 2010b.

WAKEEL, A.; FAROOQ, M. ; QADIR, M.; SCHUBERT, S. Potassium Substitution by Sodium in Plants, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30:4, 401-413, 2011.

ZHANG, Y.; Li, Q.; ZHOU, X.; ZHAI, C.; Li, R. Effects of partial replacement of potassium by sodium on cotton seedling development and yield. *J. Plant Nutr.* 29: 1845–1854. 2006

