

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TIAGO DA SILVA RODRIGUES

**SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE  
POTÁSSIO NO CULTIVO DO ALGODOEIRO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TIAGO DA SILVA RODRIGUES

**SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE  
POTÁSSIO NA CULTURA DO ALGODÃO**

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Coorientador: Prof. Dr. Acácio Aparecido Navarrete

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022



## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE:** Tiago da Silva Rodrigues

**ORIENTADOR:** Dr. Cassiano Garcia Roque

**TÍTULO:** Silicato de potássio em substituição ao cloreto de potássio na cultura do algodão

**AVALIADORES:**

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto

Chapadão do Sul, 07 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 07/02/2022, às 09:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 07/02/2022, às 09:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Ferreira Barreto, Professor do Magisterio Superior - Substituto**, em 07/02/2022, às 09:06, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus.

Aos meus pais, Dorico Garcia Rodrigues e Maria Luiza da Silva Garcia, e irmã Patrícia da Silva Rodrigues por todo apoio em meus estudos e esforço para que pudesse concluí-los.

A Patricia Gomes Porto, pelo companheirismo e por me aguentar em meus piores dias e mesmo assim estar ao meu lado, querendo sempre o meu melhor e me incentivar a crescer cada vez mais.

Ao orientador Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque, pela amizade, por transmitir todo conhecimento necessário e principalmente pela paciência durante todos os momentos do mestrado.

Ao Prof. Dr. Acacio Aparecido Navarrete, que além de coorientador foi um grande amigo por diversos momentos, não medindo esforços para apoiar e dividir seu conhecimento. Bem como o Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto ao qual somo anos de amizade desde a graduação, e tenho como um grande exemplo de determinação, que muito contribuiu para que esse trabalho chegasse até aqui.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro concedido. A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pelo conhecimento, conselhos e experiência transmitido.

Ao Grupo Mudnutti, em especial ao Paulo Roberto Spatti Buzolin por todo apoio fornecido para que pudesse desenvolver este trabalho, recursos e por permitir para que eu pudesse buscar cada vez mais conhecimento nos solos de suas propriedades.

E a todos amigos e familiares não mencionados, que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho e me apoiaram neste período.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1. Média pluviométrica, temperatura máxima e mínima a cada dez dias durante os meses de condução do experimento. Chapadão do Sul, MS, 2019/2020..... 14
- Figura 2. Massa média de dez capulhos do terço inferior do algodoeiro em função de fontes e doses de K..... 17
- Figura 3. Massa média de dez capulhos do algodoeiro em função de fontes e doses de K.....19
- Figura 4. Resposta produtiva do algodoeiro em função de fontes e doses de K.....21

### CAPÍTULO 2

- Figura 1. Média pluviométrica, temperatura máxima e mínima a cada dez dias durante os meses de condução do experimento. Chapadão do Sul, MS, 2019/2020.....29
- Figura 2. Teor de potássio na camada de 0 – 5 cm no solo em função de fontes e doses de K.....33
- Figura 3. Teor de potássio na camada de 5 – 10 cm de profundidade em função das doses de K.....35
- Figura 4. Teor de potássio na camada de 10 – 15 cm de profundidade em função das fontes de K.....37
- Figura 5. Teor de potássio foliar em função de fontes e doses de K.....38
- Figura 6. Número de cópias do gene *amoA* em função das fontes e doses de potássio obtidas em extração de DNA do solo.....40

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO 1**

Tabela 1. Análise de caracterização química do solo da área experimental na profundidade de 0,0-0,20 m, estratificada a cada 0,05m.....14

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para componentes de produção, produtividade e rendimento de fibra do algodoeiro em função de diferentes fontes e doses de adubo potássico em cobertura.....16

### **CAPÍTULO 2**

Tabela 1. Análise de caracterização química do solo da área experimental na profundidade de 0,0-0,20 m, estratificada a cada 0,05m.....28

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para teor de potássio no solo e na folha do algodoeiro em função de diferentes fontes e dose de fertilizante potássico em cobertura.....31

## RESUMO

O cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de potássio (K) utilizada na agricultura brasileira. No entanto, a necessidade de importação, a alta nos preços e as preocupações referentes aos impactos dessa fonte para a microbiota do solo tem despertado o interesse por fontes alternativas. O silicato de potássio (SiK) tem sido estudado como uma alternativa de substituição ao KCl. O objetivo geral desse trabalho foi avaliar os efeitos da substituição do KCl por SiK oriundo do pó de rocha de fonolito sobre os parâmetros produtivos do algodoeiro, e sua dinâmica sobre aspectos nutricionais da planta e microbiológicos do solo. Assim, este trabalho está composto por dois capítulos, que descrevem (I) a eficiência de fontes para nutrição de K no algodoeiro; e (II) a dinâmica do K no solo através de adubação de cobertura com fonte solúvel e alternativa. Para isso, um experimento foi instalado na safra de verão 19/20, no município de Chapadão do Sul - MS, onde foram avaliadas duas fontes de adubação de K (KCl e SiK), combinadas com cinco doses de  $K_2O$  em cobertura, sendo: 0, 80, 170, 250 e 300 kg ha<sup>-1</sup>. Foram avaliados no capítulo I os componentes de produção: altura de plantas, população inicial e final de plantas, massa de dez capulhos médios e dez capulhos por terços da planta (inferior, médio e superior), produtividade de algodão em caroço, produtividade em fibra e rendimento de fibra. No capítulo II, foram avaliados: o K nas camadas do solo estratificadas a cada 5 cm (0-5; 5-10; 10-15 e 15-20), o teor de K no tecido foliar e as bactérias nitrificantes com base na quantificação de genes *amoA*. Os resultados obtidos para a maioria dos itens não apresentaram diferença, evidenciando o SiK como uma alternativa para a substituição do KCl em solos com características nutricionais semelhantes ao do presente trabalho. Para massa de dez capulhos, o KCl apresentou melhor desempenho, principalmente no terço inferior, e para produtividade de algodão em caroço houve interação entre as doses de cloreto de potássio. Para os teores de K no solo até a camada de 0-10 cm, ambas as fontes apresentaram resultados semelhante ao aumento das doses, para camada de 10-15 cm, o KCl apresentou melhor desempenho em disponibilidade e resposta ao incremento de dose, sendo que de 15-20 ambas as fontes não se diferiram estatisticamente. O melhor acúmulo foliar também foi obtido com o uso do KCl, respondendo linearmente ao aumento da dose. Para o grupo de bactérias nitrificantes, o dano a microbiota foi acentuado quando se usou KCl, sendo que o SiK se assemelhou ao controle (sem aplicação de K), evidenciando não causar prejuízos a essa comunidade.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum*. Fonolito. Rochagem. Salinidade do solo.

## ABSTRACT

High concentration and solubility make KCl the main source of potassium used in Brazilian agriculture, which has generated high import costs and concerns regarding the impacts of this source on the soil microbiota. Potassium silicate has been studied as an alternative to KCl. The general objective of this work was to evaluate the effects of replacing potassium chloride with potassium silicate from phonolite rock powder on cotton production parameters, and its dynamics on nutritional and microbiological aspects of the soil. Thus, this work is composed of two chapters, which describe (I) the efficiency of sources for potassium nutrition in the cotton crop; and (II) the dynamics of potassium in the soil through topdressing with a soluble and alternative source. For this, an experiment was installed in the 19/20 summer crop, in the municipality of Chapadão do Sul - MS, where two sources of potassium fertilization (potassium chloride (KCl) and potassium silicate) were evaluated, combined with five doses of supply of topdressing fertilization, being: 0, 80, 170, 250 and 300 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. In Chapter I, the production components were evaluated: plant height, initial and final plant population, weight of ten medium bolls and ten bolls per third of the plant (lower, medium and upper), seed cotton productivity, fiber productivity and fiber yield. In chapter II, the following were evaluated: potassium dynamics in the soil surface layers stratified every 5 cm (0-5; 5-10; 10-15 and 15-20), potassium accumulation in leaf tissue, and abundance of nitrifying bacteria based on quantification of *amoA* genes. The results obtained for most items do not differ, showing potential silica as an alternative for a replacement with relevant nutritional characteristics in relation to the present work. Ten boll weight for the main performance effect, and for cotton production mainly for the sensitization effect. For the potassium contents in the soil, the layer of 0-10cm both differences of dose increase, for the layer of 10-15cm the KCl even presented better performance in availability and response to the dose increment, being that of 15-20 both sources did not differ statistically. The best foliar accumulation was also obtained with the use of KCl, responding linearly to the increase in the dose. As for the group of nitrifiers, the damage to the microbiota was accentuated when KCl was used, and the potassium silicate was similar without power, evidencing that it did not cause control to this community.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum*. Phonolite. rock. Soil salinity.



## SUMÁRIO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA..... Erro! Indicador não definido.

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>10</b>
<b>SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE POTÁSSIO NO ALGODOEIRO .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>24</b>
<b>SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE POTÁSSIO: SOLO, PLANTA E MICROBIOTA .....</b>	<b>24</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>24</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>24</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>

## CAPÍTULO 1

### SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE POTÁSSIO NO ALGODOEIRO

#### RESUMO

Altamente dependente da importação do cloreto de potássio (KCl), o Brasil dispõe de matérias primas como o silicato de potássio (SiK), oriundo de rochas fonolíticas que após o processo de moagem apresenta teores aproximados de 8% de K<sub>2</sub>O e 52% de SiO<sub>2</sub>, fato esse que poderia minimizar custos expressivos de importação e ampliar alternativas para a agricultura brasileira, incluindo o seu uso na cultura do algodoeiro. O objetivo foi avaliar a resposta do algodoeiro a doses e fontes de K. O trabalho foi conduzido a campo, em blocos ao acaso, no esquema fatorial 2x5 sendo 2 fontes (KCl e SiK) e 5 doses (0, 80, 170, 250 e 300 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), na safra 19/20. Foram avaliados os componentes de produção: altura de plantas, população inicial e final de plantas, massa de dez capulhos médios e dez capulhos por terços da planta (inferior, médio e superior), produtividade de algodão em caroço, produtividade em fibra e rendimento de fibra. Os resultados para a maioria dos itens não apresentaram diferença, evidenciando o SiK como uma alternativa para a substituição do KCl em solos com alto teor de K, semelhantes ao do presente trabalho. Para a massa de dez capulhos, o KCl apresentou melhor desempenho, principalmente no terço inferior, e a maior produtividade de algodão em caroço foi obtida na dose de 188 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, independentemente da fonte.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum*; Fonolito; Rochagem; Salinidade do solo.

#### ABSTRACT

Highly dependent on the importation of potassium chloride, Brazil has raw materials as well as potassium silicate, coming from phonolitic rocks that, after the milling process, present approximate contents of 8% of K<sub>2</sub>O and 52% of SiO<sub>2</sub>, a fact that could minimize significant import costs and expand alternatives for Brazilian agriculture, including cotton. The objective of the present work was to evaluate the response of cotton plants to different doses and sources of potassium. The work was carried out in the field, in randomized blocks, in a 2x5 factorial scheme, with 2 sources (potassium chloride and silicate) and 5 doses (0, 80, 170, 250 and 300 kg ha<sup>-1</sup>), in the crop. 19/20. The production components were evaluated: plant height, initial and final plant population, weight of ten medium bolls and ten bolls per third of the plant (lower, medium and upper), seed cotton productivity, fiber productivity and yield of fiber. The results for most items showed no difference, showing potassium silicate as an

alternative to replace potassium chloride in soils with high potassium content similar to the one in the present work. For the mass of ten bolls, chloride showed better performance, mainly in the lower third, and for seed cotton yield there was no interaction between potassium chloride doses, with 188 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O being the dose with the highest efficiency.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum*; Phonolite; Rocking; Soil salinity.

## INTRODUÇÃO

Em oposição aos recordes da produção agrícola brasileira dos anos atuais, temos a baixa autossuficiência em produção de fertilizantes, cenário este, que faz do Brasil um país altamente dependente da importação, sendo o cloreto de potássio um grande exemplo disso, com uma necessidade superior a 90% de importação desse nutriente (SIPTER, et al., 2020)

Essa alta taxa de importação está diretamente ligada à sua importância para os vegetais, sendo o segundo elemento mais requerido por eles, o potássio apresenta particularidades quanto ao seu comportamento no sistema solo planta, podendo ser facilmente lixiviado ou absorvido quando na solução do solo, e por não participar de nenhum composto orgânico que o fixe nos tecidos vegetais, pode ser prontamente ciclado e devolvido ao sistema, desprezando até mesmo a necessidade da decomposição prévia desse tecido (ROSOLEM et al., 2006).

Além dos fatos acima citados, o cloreto de potássio apresenta outras implicações relacionadas ao seu uso, bem como a salinidade dessa fonte (índice salino:115) e ao fato do cloro ser seu íon acompanhante, o que afeta tanto o acúmulo de massa seca dos vegetais, como observado em sorgo por Coelho et al. (2017), quanto à presença de microrganismos no solo (YAN et al., 2015).

Essa preocupação com o cloro, vem justamente por tratar-se de um micronutriente exigido pelas plantas em baixa quantidade, no entanto quando aplicado via cloreto de potássio, que contém 40% de cloro, a quantidade disponibilizada vai muito além das exigências nutricionais, e o impacto disso é muito grande para os microrganismos do solo, pois 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl resulta em algo semelhante ao uso de 400 L ha<sup>-1</sup> de água sanitária, que ao ser utilizado no solo acarreta em um efeito nocivo aos microrganismos (SINGH et al., 2013).

Conforme Yan et al. (2015) todo cuidado com os microrganismos é necessário, pois esses somam apenas 0,5% da massa do solo, porém suas funcionalidades para a agricultura são enormes, uma vez que grande parte dos processos de conversão, transporte, solubilização e ciclagem dos nutrientes para formas assimiláveis para as plantas são realizadas por essa microbiota presente no solo.

Esta preservação dos microrganismos de solo, está diretamente relacionado à uma das alternativas estudadas para o fornecimento de potássio, que é o sistema de rochagem. Brandão et al., (2014) apresenta que rochas como o fonolito, após passarem por processos de moagem que as deixem em aspecto granulométrico de pó (filler), ao ter contato com fungos da espécie *Aspergillus niger* são solubilizadas e possuem eficiência na liberação de potássio, sendo esse efeito também obtido com outros grupos de microrganismos, como bactérias diazotróficas evidenciado por Florentino et al. (2017), tendo também como apontado por Teixeira et al. (2015) o processo térmico de calcinação como uma possível alternativa para aumentar a solubilidade desses minerais, expondo-os a temperaturas de 600 a 1200°C.

O fonolito é uma rocha constituída por feldspatos potássicos oriunda de processo vulcânico, que além de potássio possui outros elementos químicos, como silício, classificado como benéfico às plantas, e os nutrientes de plantas manganês, cálcio e ferro (TEIXEIRA et al. 2012). Embora seja praticamente insolúvel em água e possua baixa concentração de potássio em sua composição (1% solúvel em água e aproximadamente 8% de K<sub>2</sub>O solúvel em ácido cítrico), o silicato de potássio apresenta características de liberação lenta, baixa salinidade e isenção de cloro, uma vez que o principal íon acompanhante do potássio é o silício (25% Si).

Por se tratar de fontes “*in natura*” e com dinâmica muito diferente do cloreto de potássio, as fontes oriundas do processo de rochagem necessitam de validações sobre sua eficiência e comportamento para atender as demandas nutricionais das mais variadas culturas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento do algodoeiro em função do fornecimento de potássio via cloreto e silicato em diferentes doses.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido em lavoura comercial de algodão da Fazenda Gavea, Chapadão do Sul, MS, (18°44'48" S, 52°41'50" O, e 784 m de altitude), com clima do tipo AW, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação de Koppen. A área apresenta precipitação média anual de 1800 mm, temperaturas médias anual de 21,0°C e umidade relativa do ar entre 50-70%, conforme dados fornecidos pela estação meteorológica próximo ao campo experimental cedidos pelo grupo SLC. A precipitação pluvial diária ocorrida no decorrer do experimento, registrada de dezembro de 2019 a junho de 2020 (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado segundo Embrapa (2018) como Latossolo Vermelho Distrófico (Oxisol - Soil Survey Staff, 2014), de textura argilosa.

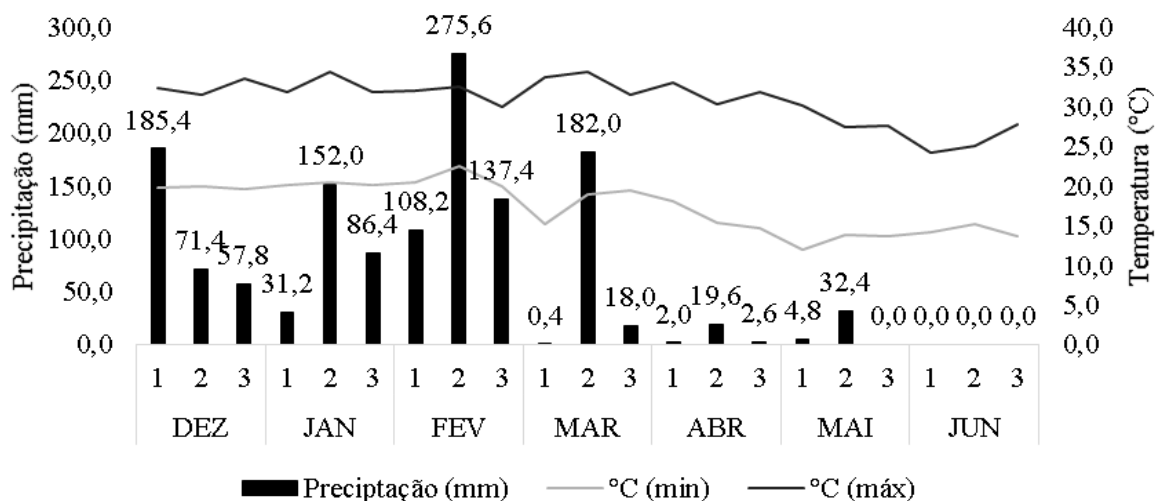


Figura 1. Média pluviométrica, temperatura máxima e mínima a cada dez dias durante os meses de condução do experimento. Chapadão do Sul, MS, 2019/2020.

A semeadura foi realizada no dia 18 de dezembro, com a variedade de algodão FM 906 GLT, em área anteriormente cultivada com *Brachiaria ruziziensis* para formação de palhada. A adubação de instalação do campo experimental seguiu os procedimentos da lavoura comercial, no qual foram aplicados via sulco de plantio 400 kg ha<sup>-1</sup> de 04 – 28 – 08, resultando em 16 kg ha<sup>-1</sup> de N, 112 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 32 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o levantamento inicial da fertilidade do solo, realizou-se a coleta 10 dias após o plantio (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de caracterização química do solo da área experimental na profundidade de 0,0-0,20 m, estratificada a cada 0,05m.

Profundidade (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O dag/kg	P ---mg/dm <sup>3</sup> ---	K	Ca	Mg	Al cmolc/dm <sup>3</sup>	H	S.B	CTC	V
0-5	5,17	3,33	13,24	47,29	3,28	1,20	0,00	3,80	4,60	8,40	54,76
5-10	5,04	3,01	13,23	36,65	2,95	1,02	0,60	3,40	4,06	8,06	50,37
10-15	5,03	2,55	10,12	36,33	2,80	1,05	0,10	3,50	3,94	7,54	52,25
15-20	4,81	2,88	11,29	31,58	2,42	0,87	0,11	3,69	3,37	7,17	47,00

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x5, constituído de duas fontes de potássio, sendo cloreto de potássio (KCl – 60% K<sub>2</sub>O e 48% Cl, índice salino (IS): 115) e silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> – 8% K<sub>2</sub>O e 55% SiO<sub>2</sub>, (IS): 0,63), e cinco doses aplicado em cobertura com base nos teores médios extraídos para a média do histórico produtivo da propriedade, sendo: 0, 80, 170, 250 e 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Os adubos potássicos foram aplicados manualmente a lança sobre toda a parcela em uma única aplicação aos 22 dias após a emergência (DAE).

As parcelas experimentais foram demarcadas com 6 linhas de semeadura com 6 m de comprimento e 0,80 m de espaçamento entre linhas. A área útil utilizada para as avaliações foram os 4 m centrais das 4 linhas centrais, deixando-se 1 m de bordadura nas extremidades.

Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais foram realizados conforme a necessidade e seguiram todos os padrões utilizados na lavoura comercial, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitoreguladores.

#### **Avaliações:**

**População de plantas** – Foi realizado o stand inicial e final de plantas, somando o total de plantas emergidos nas 4 linhas centrais de cada parcela, e posteriormente convertido através da média para população de plantas por ha.

**Altura de plantas** - Foram avaliados 4 m das duas linhas centrais aos 60 e 90 dias após a emergência.

**Massa de 10 capulhos** – Foram coletados 30 capulhos das linhas adjacentes as duas linhas centrais, sendo coletado 10 em cada nível de desenvolvimento da planta (terço inferior, médio e superior) e determinada a massa de 10 capulhos de cada nível e média de 30 capulhos.

**Produtividade** – Foram colhidos os capulhos de 4 m de duas linhas centrais da área útil. As amostras foram pesadas, resultando no rendimento bruto de algodão em caroço. Em seguida, as amostras foram beneficiadas e descaroçadas com o uso de uma descaroçadeira adaptada para pequenas quantidades de algodão, resultando na separação da fibra e do caroço para se estipular o rendimento de fibras e porcentagem da relação do rendimento de fibra/caroço.

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira 2008). Foi utilizado o teste de Tukey para comparação entre as fontes de potássio. As doses foram submetidas a análise de regressão polinomial, sendo testados os modelos linear e quadrático. Em todos os casos adotou-se 5% de significância.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As fontes e doses de potássio aplicadas em cobertura não apresentaram efeito sobre o desenvolvimento vegetativo do algodoeiro, atribuindo altura de plantas semelhantes tanto aos 60 como nos 90 dias após a emergência (Tabela 2). Com as maiores doses de cloreto de potássio, era esperado que o desenvolvimento inicial pudesse ser prejudicado, devido a

elevada salinidade das altas quantidades de KCl. Porém, esse efeito não foi observado a campo mesmo quando comparado ao silicato de potássio que possui baixa salinidade, ou ao controle que foi isento dessas fontes, o que pode estar relacionado aos períodos de estiagem após a aplicação das fontes, que acarretou liberações mais gradativas no início. Essa salinidade ou até mesmo uma maior tolerância da cultura aos efeitos salinos, como evidenciado por Sousa et al. (2010) onde o algodoeiro, quando comparado ao sorgo e feijão-de-corda, apresentou melhor desempenho no acúmulo de matéria seca, e teve pouca alteração nos teores de potássio e incremento no teor de prolina que é um aminoácido essencial para a osmoproteção durante estresses hídricos e salinos. Em genótipos de algodão colorido, Soares et al. (2021), trabalhando com irrigação salina em três fases de desenvolvimento do algodoeiro, observaram que essa salinidade inicial foi benéfica para a cultura, não afetando os componentes de produção e até mesmo promoveu maior acúmulo de massa verde quando irrigado nos estágios vegetativos.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para componentes de produção, produtividade e rendimento de fibra do algodoeiro em função de fontes e doses de potássio em cobertura.

Fonte de variação	Altura de planta		População plantas	MDC <sup>1</sup>	Massa de dez capulhos			Produtividade		Rendimento de Fibra
	60	90			Superior	Médio	Inferior	em caroço	em fibra	
Fonte (F)	0,1 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	8,6 <sup>**</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	5,1 <sup>*</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>
Dose (D)	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>**</sup>	3,3 <sup>*</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
F x D	1,5 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>**</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>	3,9 <sup>**</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,5	5,4	6,1	2,83	8,45	7,2	6,85	7,62	7,34	2,92
Média geral	----cm----		Plantas /m	-----	Gramas-----			-----@ha <sup>-1</sup> -----		--%--
	0,58	1,02	6,89	55,14	51,34	58,2	55,88	292,57	131,04	44,83

<sup>1</sup>MDC Massa de dez capulhos, \*\*, \*, ns: (P ≤ 0,01), (P ≤ 0,05) e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação.

É digno de nota que mesmo o algodoeiro não tendo sido afetado fisiologicamente pela salinidade a que foi submetido, vale ressaltar que a microbiota do solo provavelmente pode ter sofrido alterações que não foi demonstrado pela cultura em questão, contudo práticas repetitivas do uso de altas dosagens de fontes salinas, podem assim como em estudo conduzido por Luo et al. (2017) levar a redução significativa de microrganismos como as bactérias halofílicas leves, bactérias solubilizadoras de fosfato, bactérias amonificadoras, bactérias nitrificantes e bactérias desnitrificantes que são de extrema importância para as plantas e também para aspectos ambientais do agroecossistema.

Após a semeadura do algodão, o campo experimental passou por um longo período de déficit hídrico, com chuvas espaciais e em poucas quantidades diariamente, uma vez que a Figura 1 apresentou esses dados distribuídos no intervalo de 10 dias, com o intuito de concentrar o mínimo possível os dados pluviométricos simulando uma distribuição diária normal, onde a umidade remanescente no solo pré-plantio foi suficiente para a emergência das plântulas, porém com o agravamento da estiagem e as altas temperaturas, parte das plantas apresentaram sintomas de escaldadura. No entanto, como observado na Tabela 2, as médias de população de plantas não apresentaram diferença entre os tratamentos, confirmando a presença de *stand* inicial e final de plantas iguais, não interferindo nos demais resultados.

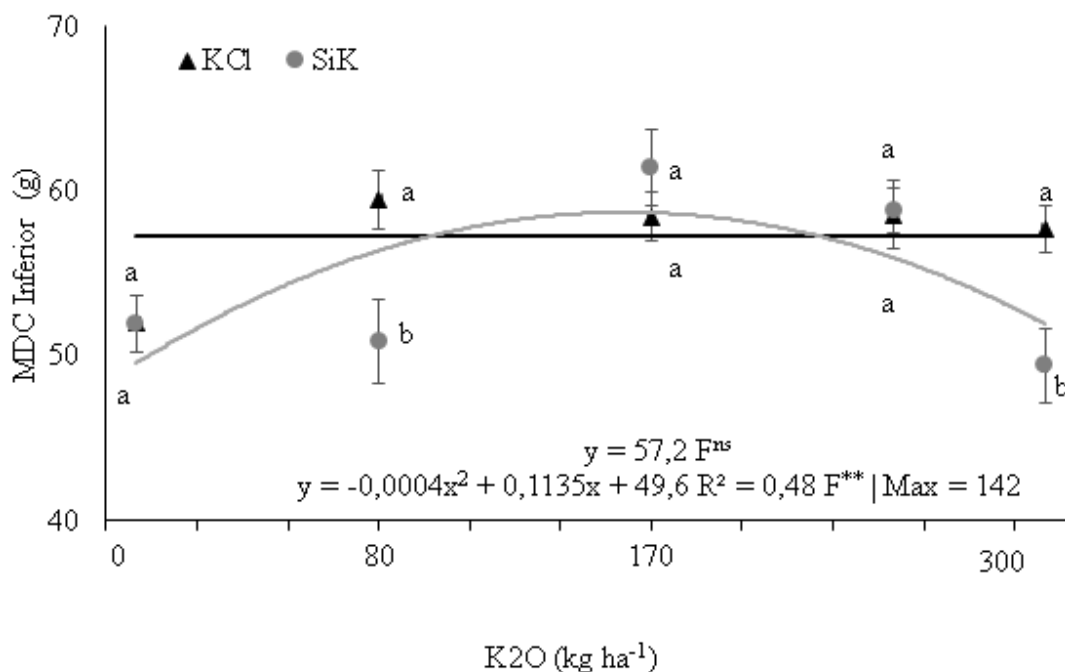


Figura 2. Massa de dez capulhos (MDC) do terço inferior do algodoeiro em função de fontes e doses de K. KCl: cloreto de potássio. SiK: silicato de potássio. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença pelo teste F. <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>: não significativo e significativo a 1%. Máx: ponto de máximo da regressão.

A massa de dez capulhos inferior (MDC) demonstrado na Figura 2, apresentou interação entre os fatores, onde o cloreto mostrou-se superior ao silicato de potássio na formação de massa de capulhos nas doses de 80 e 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. No trabalho de Echer et al. (2009), comparando fontes solúveis de potássio (cloreto, sulfatos e nitrato), tal diferença não foi observada, o que sugere que a diferença apresentada nesse trabalho esteja diretamente relacionada com a solubilidade das fontes. Em outro estudo, Echer et al. (2020) apontaram o



uso de fertilização potássica de sistema como uma alternativa rentável, que vêm a eliminar boa parte dos problemas de perda de potássio no solo, obtendo bons resultados fitotécnicos ao realizar a aplicação do cloreto de potássio precocemente em gramíneas do gênero *Urochloa ruziziensis* utilizadas como plantas de cobertura pré-plantio do algodão, conseguindo evitar danos por salinidade, perda por lixiviação, fixação em solos argilosos, ganho operacional por não requerer parcelamento de doses, e controlando assim a liberação do nutriente de modo mais gradativo por meio da ciclagem de nutrientes. Outro indicativo é que quando fracionamos a planta em três partes, foi possível observar que para o terço superior e médio não houve diferença entre os tratamentos, sendo terço inferior o principal responsável pela diferença da massa dos capulhos (Figura 3). O algodoeiro possui desenvolvimento em formato de espiral apresentando vários eventos simultâneos, onde no início da frutificação dos ramos do terço inferior, o terço superior ainda está em pleno desenvolvimento vegetativo ocorrendo uma disputa interna pelos fotoassimilados (SILVA et al., 2011). Dessa forma, é possível que as plantas nutridas com cloreto de potássio tenham assimilado de forma mais rápida para suprir essa demanda e redistribuído melhor para atender os principais drenos, que são os de frutificação como descrito por Rosolem (2001), onde após os 90-95 dias da cultura instalada, a absorção de potássio é diminuída, sinalizando assim a importância do suprimento nutricional desse elemento antes desse período para que o mesmo possa estar disponível para atender melhor essa redistribuição.

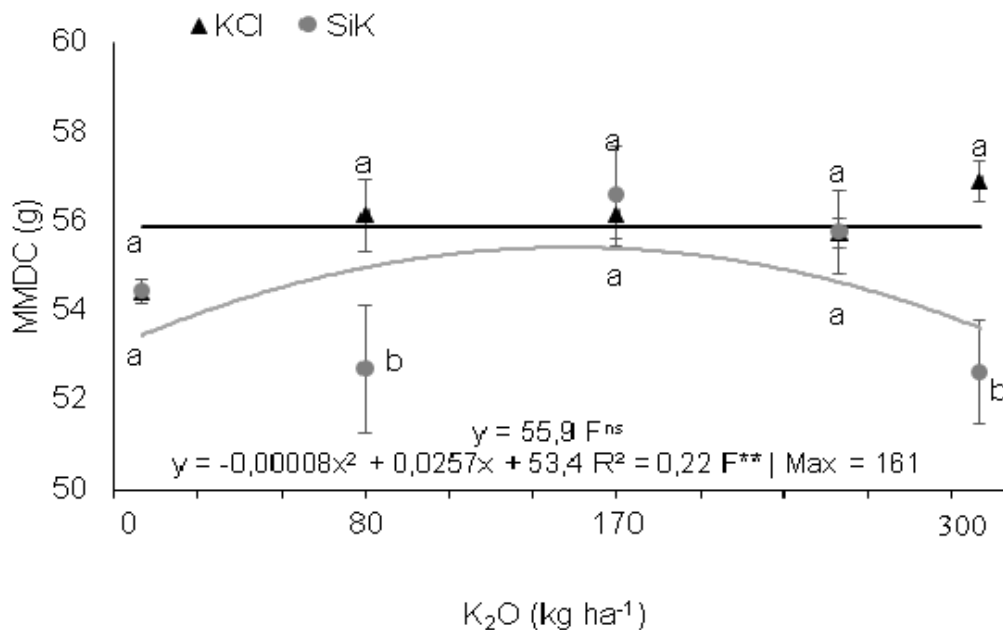


Figura 3. Massa de dez capulhos do algodoeiro em função de fontes e doses de K. KCl: cloreto de potássio. SiK: silicato de potássio. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença pelo teste F. <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>: não significativo e significativo a 1%. Máx: ponto de máximo da regressão.

A produtividade bruta, mensurada em arrobas de algodão em caroço por hectare (@ha<sup>-1</sup>), não foi alterada mediante as fontes de potássio. Respostas produtivas semelhantes entre as duas fontes, demonstram que o uso de uma fonte com menor solubilidade em solos com bons teores de K é viável, não acarretando diminuição da produtividade do algodoeiro. Porém, para o capim Paiaguás, em estudo com as mesmas fontes Cruz et al., (2021) obteve resultados insatisfatórios para produção de massa vegetal ao substituir o cloreto de potássio pelo fonolito (silicato de potássio), apontando principalmente a solubilidade como o principal fator limitante. Para Harley e Gilkes (2000), o uso de pós de rocha como fertilizantes precisam passar por processos de escassez de nutrientes no solo para que tal fato estimule a sua solubilização, por meio de microrganismos e exsudações de ácidos pela rizosfera, fato contrário ao presente trabalho, onde não houve essa escassez de nutrientes e tal estímulo pode não ter ocorrido. Esses fatos corroboram com os presentes em estudo por Pádua (2012), onde a disponibilidade de potássio oriundos de pó de rocha, perduraram por 400 dias após a colheita da soja em sistema onde não ocorreu limitação deste nutriente, garantindo uma liberação lenta desse elemento ao sistema.

Houve diferença em função das doses de potássio, com ponto de máxima para a dose de 188 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Com base no teor de potássio inicial do solo próximo a 40 mg dm<sup>-3</sup>, o fornecimento de 32 kg ha<sup>-1</sup> durante a semeadura somado aos 188 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O indicado no ponto de máxima, fazem jus a dose recomendada em boletim pela Fundação MT (2001), para atender a expectativa de produtividade de algodão em caroço de 4.500 kg ha<sup>-1</sup>, sendo esta produtividade semelhante à média no ponto de máxima apresentado nesse trabalho. Resultados de Rosolem et al., (2012) indicam que o pico da extração de potássio está relacionado a determinado ponto de produtividade, a partir do momento que esse ponto é atingido a absorção do nutriente é diminuída, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho, onde doses superiores ao ponto de máxima não resultaram em acréscimo de produtividade. Mesmo o solo em estudo já apresentando bons teores de potássio, a resposta a dose de 188 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O via cloreto, pode ser explicada pela relação (Ca+Mg/K) superior a 20, onde a disponibilidade de potássio está estreitamente relacionada aos teores de Ca e Mg como apontado por Oliveira et al., (2001).

O fato de que até mesmo o tratamento controle não apresentou diferença entre as fontes e doses utilizadas pode estar relacionado tanto com o teor do nutriente presente no solo não ser restritivo, como também corroboram com os dados extraídos de Echer et al. (2020), onde assim como no presente trabalho ter sido instalado sobre palhada de *Urochloa ruziziensis*, pode ter beneficiados a ciclagem desse nutriente e atendido a demanda da cultura mesmo que não tenha ocorrido adubação de sistema a planta de cobertura se mostrou eficiente extrair o potássio já presente no solo. Tal prática só demanda alguns cuidados como o da dessecação com a antecedência adequada para que não se tenha impactos negativos como os apresentados por Nepomuceno et al. (2012) na cultura da soja, onde dessecações com períodos inferiores a dez dias antes do plantio comprometeram o desempenho e a produtividade da cultura.

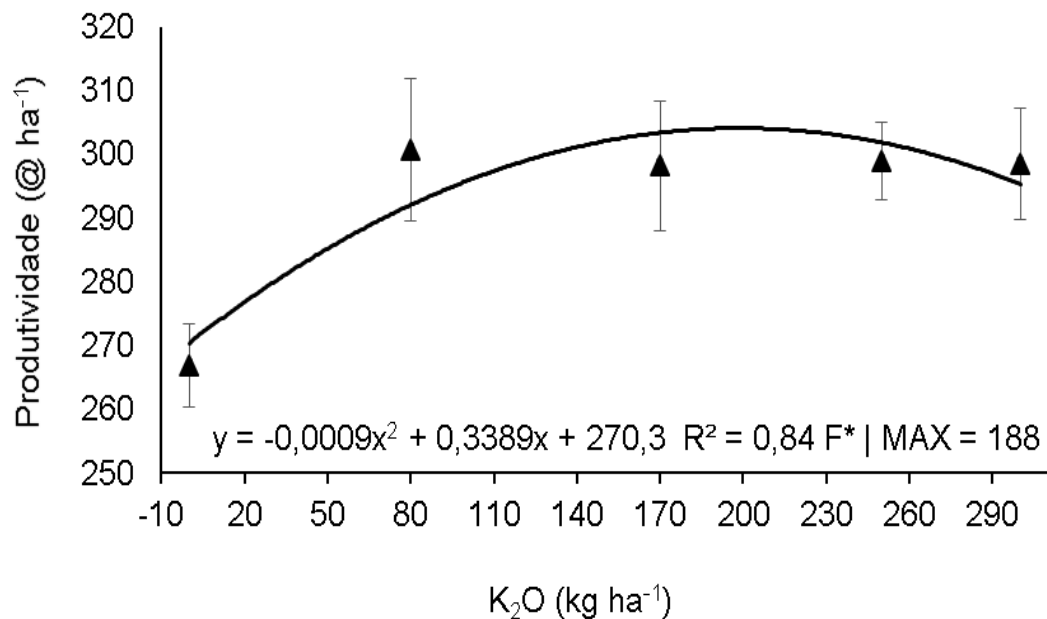


Figura 4. Resposta produtiva do algodoeiro em função de doses de K. \*: significativo a 5%. Máx: ponto de máximo da regressão

A produção de pluma após o descaroçamento não apresentou diferença entre os tratamentos, indicando que a diferença na produtividade de algodão em caroço pode estar relacionada a massa dos caroços, e não do volume de fibra produzido. Tal fato também foi evidenciado por Pedroza et al., (2003) ao utilizar biossólidos na cultura do algodoeiro, onde segundo os autores a cultura pode optar por um crescimento alométrico, e destinar mais energia para a produção de sementes. Também ficou evidenciado no rendimento de fibra (Tabela 2), onde os tratamentos não influenciaram essa característica, resultando em porcentagem média de 44,83% da participação de fibra sobre o rendimento total colhido, rendimentos superiores a 40% são requeridos pela indústria têxtil, pois como mostram Coutinho et al. (2015) produto de maior interesse do algodoeiro é sua fibra representando cerca de 3,5 vezes mais o valor pago por ela sobre o do caroço, indicando também o porquê de ser o foco principal do programas de melhoramento da cultura, sendo que Martus et al. (2015) estudando genótipo de algodão observaram que são predominantemente fatores genéticos que ditam o rendimento de fibra, e dificilmente fatores ambientais ou de manejo nutricional e alteram essa características como ocorrido no presente estudo.

## CONCLUSÕES

O uso do silicato de potássio para solos com o teor de potássio já próximo ao ideal para a cultura não apresenta efeito negativo sobre o desenvolvimento e produtividade do algodoeiro, podendo essa ser uma fonte alternativa a substituição do cloreto de potássio.

As elevadas dosagens de potássio não apresentaram diferenças estatísticas que justifiquem sua utilização, sendo que a melhor dose é a de 188 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Não foi evidenciado nenhuma fitotoxicidade para as doses de até 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para ambas as fontes utilizadas, no entanto cabe a ressalva sobre os aspectos microbiológicos do solo que abrem espaço para maiores estudos sobre seus impactos no sistema produtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, J. A. V. et al. Solubilization of diabase and phonolite dust by filamentous fungus. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.5, p.740-745, 2014.

COELHO, D. S. et al. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n.2, p.178-192, 2017.

COUTINHO, C. R. et al. Produtividade e qualidade de fibra de cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na região do semiárido mineiro. **Essentia**, v.16, n. 2, p. 62-82, 2015.

CRUZ, C. A. C. et al. Efficiency of phonolite as a potassium source for Paiaguás palisadegrass. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 51, 9 p., 2021.

ECHER, F. R. et al. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro I – Produtividade, qualidade de fibras e análise econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, suplemento 1, p. 1135-1144, 2009.

ECHER, F. R., PERES, V. J. S., ROSOLEM, C. A. Potassium application to the cover crop prior to cotton planting as a fertilization strategy in sandy soils. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1–10, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. – Brasília, 2018. 356 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

- FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa do algodão**. Rondonópolis, 2001. 283 p.
- HARLEY, A. D; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutr Cycl Agroecosys**. v.56, p. 11–36, 2000.
- LUO, J. et al. Effects of soil salinity on rhizosphere soil microbes in transgenic Bt cotton fields, **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, p. 1624-1633, 2017.
- MARTUS, I. S. et al. Componentes de produtividade de diferentes genótipos de algodoeiro sob sistema adensado. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer. v.11 n.21; p. 602-611, 2015.
- NEPOMUCENO, M. P. et al. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**, v.30, n.3, p.557-565, 2012.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.329-335, 2001.
- PÁDUA, E.J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Lavras: UFLA, 2012.
- PEDROZA, J. P. et al. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3 p.483-488, 2003
- ROSOLEM, C. A. et al. acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio pelo algodoeiro sob irrigação cultivado em sistemas convencional e adensado. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.36, p. 457-466, 2012.
- ROSOLEM, C.A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p.1033-1040, 2006.
- ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 95, p. 1-17, 2001.
- SILVA, I. P. F. et al. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**, Ano X, n. 20, 10 p., 2011.
- SINGH, D. et al. Soil diversity: A key for natural management of biological and Chemical constitute to maintain soil health & fertility. **International Journal of Bio-Science and Bio-Technology**. v. 5, n. 1, p. 41-50, 2013.

SIPERT, S. et al. Identification and quantification of main anthropogenic stocks and flows of potassium in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v.27, p.32579-32593, 2020.

SOARES, L. A. A. et al. Phytomass and production components of colored cotton under salt stress in different phenological stages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.132-138, 2021.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy. Twelfth Edition**, 2014. US. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Washington DC., USA.

SOUSA, C. H. C. et al. Respostas Morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. **Agropecuária Técnica**, Areia, n. 2, v.31, p. 29-36, 2010.

TEIXEIRA, A. M. S. et al. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

TEIXEIRA, A. M. S. et al. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. **Holos**, v. 5, p. 52-64, 2015.

YAN, N. et al. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**. v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015.

## CAPÍTULO 2

### SILICATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO DE POTÁSSIO: SOLO, PLANTA E MICROBIOTA

#### RESUMO

O silicato de potássio (SiK) obtido da rochagem do fonolito, não contém cloro em sua composição, apresenta baixa salinidade e solubilidade, podendo ter menor efeito negativo na microbiota do solo e pode garantir ao sistema um efeito residual maior, atenuando perdas por lixiviação, quando comparado ao cloreto de potássio (KCl). O objetivo foi comparar as fontes KCl e SiK quanto a dinâmica no solo, teor no tecido foliar do algodoeiro e impacto sobre microrganismos nitrificantes do solo. O trabalho foi conduzido a campo, em blocos ao acaso, no esquema fatorial 2x5 sendo 2 fontes (KCl e SiK) e 5 doses (0, 80, 170, 250 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), na safra 19/20. Foram avaliados os teores de potássio em 4 profundidades do solo (0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm), teor de potássio no tecido foliar e abundância de bactérias nitrificantes com base na quantificação de genes *amoA*. Os teores de potássio no solo até a camada de 0-10 cm de ambas as fontes apresentaram dinâmica semelhante e resposta ao aumento das doses, para camada de 10-15 cm o KCl apresentou melhor desempenho em disponibilidade e resposta ao incremento de dose, de 15-20 ambas as fontes não se diferiram. O melhor teor foliar foi obtido com o uso do KCl, respondendo linearmente ao aumento da dose. Já para o grupo de nitrificantes o dano a microbiota foi acentuado quando a fonte foi KCl, o silicato de potássio se assemelhou ao tratamento controle, evidenciando não causar prejuízos a essa comunidade.

**Palavras-chave:** Nitrificantes. Teor foliar. Lixiviação. Solubilidade.

#### ABSTRACT

The potassium silicate obtained from the phonolite rock, does not contain chlorine in its composition, has low salinity and solubility, may have less negative effect on the soil microbiota and can guarantee the system a greater residual effect, attenuating losses by leaching, when compared to the KCl. The objective of the present work was to compare the sources of potassium chloride and silicate in terms of soil dynamics, accumulation in cotton leaf tissue and impact on soil nitrifying microorganisms. The work was carried out in the field, in randomized blocks, in a 2x5 factorial scheme, with 2 sources (potassium chloride and silicate) and 5 doses (0, 80, 170, 250 and 300 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), in the 19th crop. /20. Potassium contents at 4 soil depths (0-5; 5-10; 10-15 and 15-20 cm), potassium accumulation in leaf tissue, and abundance of nitrifying bacteria based on the quantification of *amoA* genes



were evaluated. The potassium contents in the soil up to the 0-10cm layer, both sources showed similar dynamics and response to increasing doses, for the 10-15cm layer, KCl presented better performance in availability and response to the dose increment, from 15-20 both sources did not differ. The best foliar accumulation was obtained with the use of KCl, responding linearly to the increase in the dose. As for the group of nitrifiers, the damage to the microbiota was accentuated when the source was KCl, the potassium silicate was similar to the control treatment, showing no harm to this community.

**Keywords:** Nitrifiers. Leaf content. Leaching. Solubility.

## INTRODUÇÃO

O algodoeiro é considerado uma das mais importantes culturas de fibra têxtil na agricultura mundial (BELTRÃO et al., 2011) e o Brasil é um dos principais países produtores. A produção brasileira de algodão em caroço foi de mais de 6.800.000 toneladas no ano de 2019 (FAO, 2019a), sendo que a quantidade de pluma de algodão exportada foi de 1.600.000 toneladas (FAO, 2019b). O Centro-oeste brasileiro é a maior região produtora de algodão em caroço, sendo que com 4,7 milhão de toneladas, o Mato Grosso se destaca como o principal estado produtor, seguido por Mato Grosso do Sul e Goiás (IBGE, 2019).

O uso de fontes de K na produção e na qualidade da fibra do algodoeiro mostra que quando esse elemento é aplicado na forma de sulfato, ocorre uma maior produtividade de pluma, assim como observado também melhora na qualidade da fibra, no entanto se torna uma fonte de alto custo, fazendo com que o KCl seja a principal fonte utilizada (PERVEZ et al., 2004a; PERVEZ et al., 2004b; MAKHDUM et al., 2006).

Sendo observado por Lazof e Bernstein (1999), altas doses de K na forma de KCl pode levar ao aumento da salinidade da rizosfera, ocasionando a diminuição do potencial osmótico na solução do solo, dificultando assim, a absorção de água pelas raízes, além de ter um alto acúmulo de Cl nas folhas das plantas adubadas com KCl, ocasionando influencia em processos fisiológicos importantes.

O cloro é tido também como um esterilizante natural e extremamente ofensivo aos microrganismos do solo, sendo as bactérias nitrificantes um bom exemplo de sua ação, pois conforme observado por Megda et al. (2014), a elevação no teor desse elemento afeta diretamente esse grupo.

A solubilidade do KCl é outro fator que a princípio se é tida como uma grande vantagem, pois garante sua disponibilidade de imediato, no entanto o expõe a riscos de lixiviações antes que ocorra a sua absorção, tornando necessário novos mecanismos capazes

de controlar a taxa de liberação desses nutrientes para que não se tenha perdas tão acentuadas (Martins et al. 2010).

Fontes alternativas de K que não sejam tão prejudiciais as plantas e ao sistema produtivo como um todo, têm se tornado alvo de trabalhos que explore todos os ônus e bônus que seu uso pode gerar. O pó de rochas fonolíticas, fontes de potássio e silício utilizados *in natura* após o processo moagem de rochas, tem sido uma dessas alternativas. O uso desse silicato é tido como um processo reminerador, pois o mesmo fornece também alguns outros nutrientes como Mn, Ca e Fe, apresenta baixa salinidade e solubilidade, diferindo-o muito do KCl (TEIXEIRA et al., 2012)

O Si, na fase reprodutiva, pode contribuir na formação de pectinas presentes na estrutura da parede celular dos grãos de pólen, como observado em *Lychnis alba* (CRANG; MAY, 1974) e em algodão (BOYLSTON et al., 1990), acarretando no favorecimento da resistência física da parede celular (KIDO et al., 2015), a formação da flor e a produção e viabilidade dos grãos de pólen (POLSTER et al., 1978).

O fornecimento desse elemento para as plantas, contribui para a melhoria da integridade física da membrana, fazendo com que seja raro o extravasamento de eletrólitos ocasionados pela peroxidação lipídica, pois, após absorvido, o elemento benéfico se deposita na forma de opala nos espaços extracelulares e na parede celular, podendo aumentar a resistência das células (ZARGAR et al., 2019).

Na fase de alongamento da fibra de algodão, a concentração de Si é alta nas fibras, ressaltando a importância desse elemento benéfico na formação da fibra (BOYLSTON et al., 1990; BOYLSTON, 1988). Atualmente, o silício tem despertado a atenção e o interesse de pesquisadores em todo mundo. Apesar de não ser considerado um elemento essencial, a absorção e acumulação do silício pelas plantas trazem inúmeros benefícios (KORNDÖRFER et al. 2002).

Embora o potencial uso do fonolito seja em substituição a fontes de potássio, muito pouco se sabe sobre a influência que ele exerce sobre as demais características do sistema solo-planta. Além de substituir o potássio nutricionalmente, o silicato de potássio pode contribuir para a saúde do solo e da sua microbiologia. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a dinâmica do potássio no solo e na planta, e em um grupo funcional de nitrificantes em função do fornecimento de potássio através do cloreto e do silicato.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em lavoura comercial de algodão da Fazenda Gavea, Chapadão do Sul, MS, (18°44'48" S, 52°41'50" O, e 784 m de altitude), com clima do tipo AW, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação de Köppen. A área apresenta precipitação média anual de 1800 mm, temperaturas médias anual de 21,0°C e umidade relativa do ar entre 50-70%, conforme dados fornecidos pela estação meteorológica próximo ao campo experimental cedidos pelo grupo SLC. A precipitação pluvial diária ocorrida no decorrer do experimento, registrada de dezembro de 2019 a junho de 2020 (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado segundo Santos et al. (2018) como Latossolo Vermelho Distrófico (Oxisol - Soil Survey Staff, 2014), de textura argilosa.

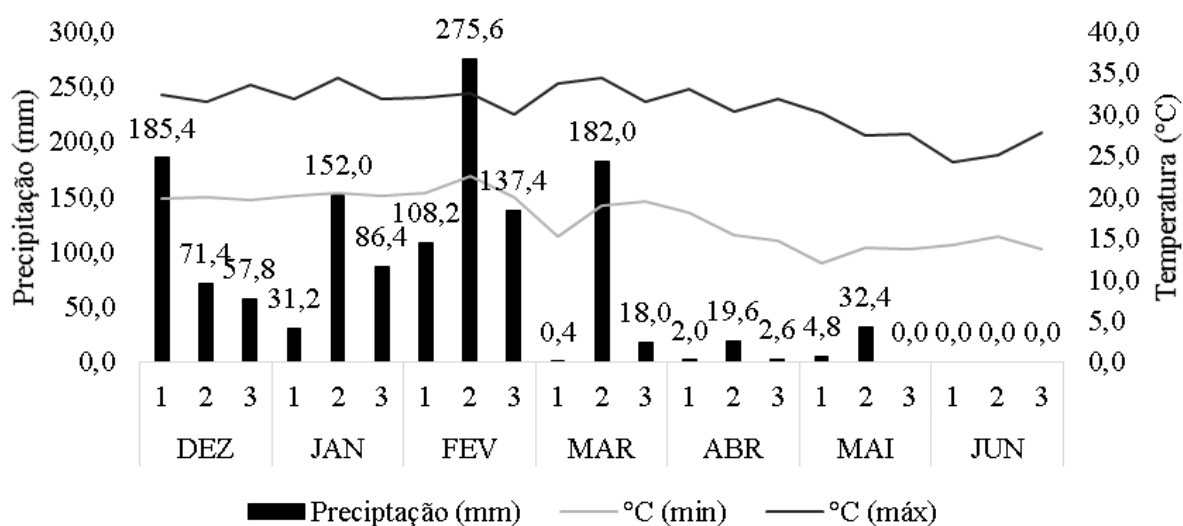


Figura 1. Média pluviométrica, temperatura máxima e mínima a cada dez dias durante os meses de condução do experimento. Chapadão do Sul, MS, 2019/2020.

A semeadura foi realizada no dia 18 de dezembro, com a variedade de algodão FM 906 GLT, em área anteriormente cultivada com *Brachiaria ruziziensis* para formação de palhada. A adubação de instalação do campo experimental seguiu os procedimentos da lavoura comercial, no qual foram aplicados via sulco de plantio 400 kg de 04 – 28 – 08, resultando em 16 kg ha<sup>-1</sup> de N, 112 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 32 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o levantamento inicial da fertilidade do solo, realizou-se a coleta 10 dias após o plantio, sendo os dados da análise química abaixo descritos (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de caracterização química do solo da área experimental na profundidade de 0,0-0,20 m, estratificada a cada 0,05m.

Profundidade (cm)	pH (CaCl)	M.O dag/kg	P ---mg/dm <sup>3</sup> ---	K -----	Ca -----	Mg -----	Al -----	H -----	S.B -----	CTC -----	V -----
0-5	5,17	3,33	13,24	47,29	3,28	1,20	0,00	3,80	4,60	8,40	54,76
5-10	5,04	3,01	13,23	36,65	2,95	1,02	0,60	3,40	4,06	8,06	50,37
10-15	5,03	2,55	10,12	36,33	2,80	1,05	0,10	3,50	3,94	7,54	52,25
15-20	4,81	2,88	11,29	31,58	2,42	0,87	0,11	3,69	3,37	7,17	47,00

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x5, constituído de duas fontes de potássio, sendo cloreto de potássio (KCl – 60% K<sub>2</sub>O e 48% Cl, índice salino (IS): 115) e silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> – 8% K<sub>2</sub>O e 55% SiO<sub>2</sub>, (IS): 0,63), e cinco doses aplicado em cobertura com base nos teores médios extraídos para a média do histórico produtivo da propriedade, sendo: 0, 80, 170, 250 e 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Os adubos potássicos foram aplicados manualmente a lanço sobre toda a parcela em uma única aplicação aos 22 dias após a emergência (DAE).

As parcelas experimentais foram demarcadas com 6 linhas de semeadura com 6 m de comprimento e 0,80 m de espaçamento entre linhas. A área útil utilizada para as avaliações foram os 4 m centrais das 4 linhas centrais, deixando-se 1 m de bordadura nas extremidades.

Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais foram realizados conforme a necessidade e seguiram todos os padrões utilizados na lavoura comercial, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores.

As avaliações foram realizadas seguindo as metodologias descritas a seguir para cada variável:

**Teor de potássio no solo** – A coleta das amostras foi realizada 150 dias após a implantação do experimento, em cada uma das parcelas de maneira homogênea foram realizadas duas perfurações nas entre linhas e duas nas linhas de semeadura da área útil da parcela. As amostras foram coletadas com trado do tipo sonda para facilitar a separação das camadas amostradas conforme a estratificação a cada 5 cm de profundidade. Cada camada era depositada em um recipiente para que as somatórias das 4 perfurações fossem homogeneizadas e representasse as camadas: 0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 e 15 -20 cm de cada parcela. As amostras foram enviadas ao laboratório de solos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Câmpus de Chapadão do Sul (UFMS), onde se submeteu à análise química de potássio (Teixeira et al. 2017).

**Teor de potássio na folha** – A coleta de folhas foi realizada 100 dias após a emergência da cultura, sendo coletado o número de 25 folhas dentro da área útil de cada parcela. Foram coletadas a quinta folha a partir do ápice da haste principal durante o período de florescimento conforme metodologia descrita por Prado et al. (2008). As folhas foram submetidas a tríplice lavagem com solução detergente a 0,1%, solução ácido clorídrico a 0,3% e água deionizada, posteriormente foram secas e acondicionadas em sacos de papel e submetidas a secagem em estufa de ar de circulação forçada a temperatura de 65° C pelo período de 72 horas até que se obteve massa constante. Logo após, as folhas sem pecíolo foram submetidas ao processo de moagem em moinho de facas do tipo Willey. As amostras após moídas foram acondicionadas em saquinhos plásticos e enviados para laboratório privado de análises químicas de solo e tecido vegetal para quantificação de potássio.

**Extração do DNA total do solo** – Para a quantificação da comunidade de bactérias nitrificantes presente no solo, foram coletadas 18 amostras de solo nos tratamentos com as doses 0, 80 e 170 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> de ambas fontes de potássio em esquema factorial 3x2. As amostras de solo foram coletadas na camada do solo de 0-15 cm com o auxílio de um tubo de PVC estéril e transportadas sob gelo em caixa térmica até o laboratório e armazenadas a -20°C, sendo cada amostra oriunda de uma parcela dos tratamentos acima descritos. Uma porção de 0,25 g de cada amostra de solo foi pesada e homogeneizada em tampão de extração comercial (PowerLyzer Power Soil Kit (Qiagen, Hilden, Alemanha) e o isolamento do DNA genômico do solo foi feito de acordo com as instruções do fabricante.

**Quantificação do gene *amoA*** – Para quantificação do número de cópias do gene *amoA* de bactérias, curva padrão foi construída a partir de DNA DSMZ 28437 (*Nitrosomonas europaea*) contendo o gene alvo. A reação de amplificação do gene *amoA* foi feita utilizando o seguinte conjunto de *primers*: *amoA*-1F e *amoA*-2R (Rotthauwe, et al., 1997), que amplificaram um fragmento específico de aproximadamente 491 pb. A amplificação foi feita em solução contendo: 5-10 ng de DNA, 1 x tampão de PCR, 100 µM dNTPs, 1,5 mM de uma solução de 25 mM MgCl<sub>2</sub>, 1 U de *Taq* polimerase, 5 pmol de cada *primer*, 1% de Albumina do soro bovino (BSA) e água ultrapura (Milli-Q) esterilizada para um volume final de 25 µL. A reação foi realizada em termociclador (GeneAMP PCR System 9700 – Applied Biosystems) nas seguintes condições: 5 min a 95°C para desnaturação inicial, seguida por 35 ciclos com desnaturação a 95°C por 40 s, anelamento dos *primers* a 56°C por 30 s, extensão a 72°C por 1 min e extensão final por 10 min a 72°C. A purificação do fragmento amplificado foi feita com GenElute PCR Clean-Up Kit (Sigma), e seguiu-se o protocolo de acordo com as

instruções do fabricante. Uma alíquota do material purificado foi verificada em gel de agarose 1% (Figura 1), quantificada por fluorímetro (Quantus™ Fluorometer – Promega) e diluídos em série a partir de  $1.E^6$  (1:10). Em seguida, 1  $\mu$ L de DNA de cada amostra foi utilizado em reações de qPCR conforme descrito abaixo:

Tabela 2. Protocolo de extração e amplificação de DNA por meio de reações qPCR.

MIX	Concentração Final	Volume ( $\mu$ L)
<b>GoTaq qPCR Master Mix 2X</b>	1X	5
<b>Primer 926 F (5 <math>\mu</math>M)</b>	280 nM	0,56
<b>Primer 1026 R (5 <math>\mu</math>M)</b>	280 nM	0,56
<b>DNA</b>	1	1
<b>CXR Reference Dye</b>	0,1	0,1
<b>BSA</b>	0,5	0,5
<b>Água</b>	N/A	2,28

As reações foram corridas em equipamento *StepOnePlus Real Time PCR System* (Applied Biosystems) nas seguintes condições: 1 Holding de 95°C por 10 min; 40 ciclos de 95°C por 40s; 56°C por 30 s e 72°C por 1 min, com detecção de sinal; 1 melting-curve de 95°C por 15 s; 56°C 1 min; 56°C até 95°C com leitura de fluorescência; 95°C por 15 s.

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira 2008). Foi utilizado o teste de Tukey para comparação entre as fontes de potássio. As doses foram submetidas a análise de regressão polinomial, sendo testados os modelos linear e quadrático. Em todos os casos adotou-se 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes e doses de potássio aplicadas em cobertura apresentaram efeito na dinâmica do nutriente nas diferentes camadas do solo, com exceção da última camada que não apresentou interferência dos tratamentos utilizados (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para teor de potássio no solo e na folha do algodoeiro em função de fontes e dose de potássio em cobertura.

Fonte de variação	Teor de K no solo				Teor foliar
	0-5	5-10	10-15	15-20	60 (DAE)
	cm				
Fonte (F)	1,3 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	4,9 <sup>*</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>*</sup>
Dose (D)	4,2 <sup>**</sup>	5,8 <sup>**</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>
F x D	0,8 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	2,9 <sup>*</sup>
CV	27,2	20,18	43,5	47,96	5,4
Média geral	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				g kg <sup>-1</sup>
	20,88	23,98	9,79	6,88	15,1

\*\* , \* , ns: (P ≤ 0,01), (P ≤ 0,05) e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação.

As concentrações de potássio no solo apresentaram diferença significativa principalmente nos primeiros 15 cm de profundidade do solo, sendo que para as camadas de 0 a 5 e de 5 a 10 cm a diferença apresentada está associada a dose de K utilizada, já para a camada de 10 a 15 cm houve diferença referente a fonte utilizada (Tabela 2). Essa dinâmica do potássio no solo está relacionada a diversos fatores como o teor de argila do solo, sendo solos arenosos mais propensos a perdas por lixiviação (Raij et al., 1996), a capacidade de ligação desse elemento aos colóides do solo perante a sua valência e saturação de elementos como Ca e Mg, que por serem bivalentes sobressaem sobre o K nos sítios de adsorção (Raij, 1991), a reposição do mesmo ao sistema seja por meio de adubação mineral ou por ciclagem de nutrientes oriundos de restos vegetais de culturas anteriores como observado por Rosolem et al. (2006) através da palhada de milho que não só diminuiu o potencial de lixiviação do potássio por sua cobertura de solo, como também o devolveu para o sistema, e também por fatores de compactação como estudado por Medeiros et al. (2005).

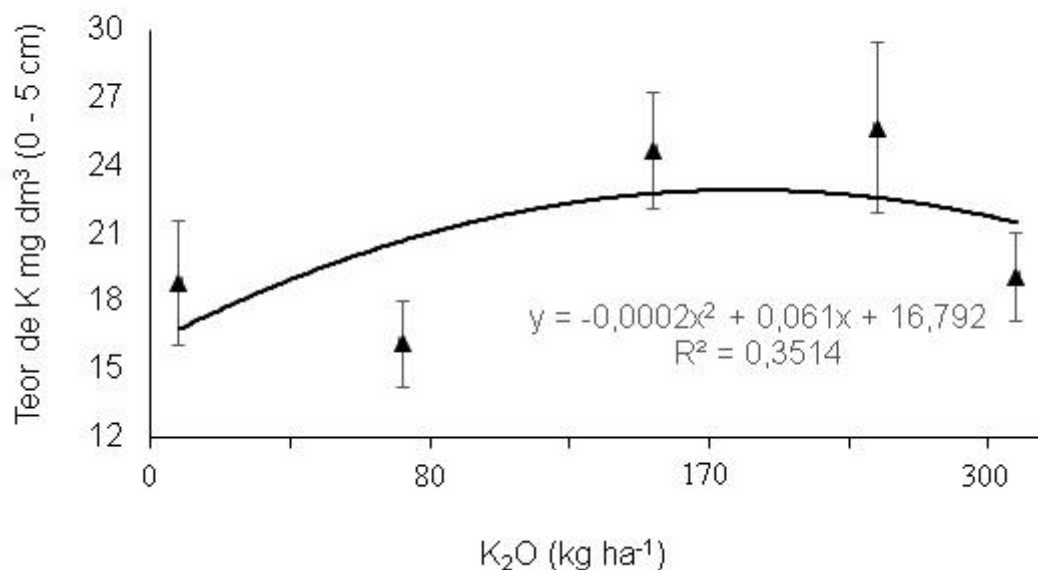


Figura 2. Teor de potássio na camada de 0 – 5 cm no solo em função de fontes e doses de K.

Para a camada de 0 a 5 cm de profundidade houve diferença para as doses, com ponto de máxima ajustado pela equação para a dose de 152,5 kg de K<sub>2</sub>O para o maior teor de potássio desta camada (Figura 2). Por se tratar de um solo com altos teores de argila, passíveis de compactação pelo intenso tráfego de máquinas agrícolas principalmente em momentos de elevada umidade no solo, era esperado que altas dosagens de potássio resultassem em maior retenção nas camadas mais superficiais do solo devido o adensamento presente nessa camada. Através de estudo com arroz, disponibilidade hídrica e de macronutrientes como N, P e K, Medeiros et al. (2005) observaram que conforme aumenta-se o nível de compactação, houve decréscimo linear na concentração destes nutrientes na parte aérea das plantas, o que pode ter acontecido no presente trabalho, onde as maiores doses de K ficaram retidas, porém, o sistema radicular provavelmente não teve acesso para estar extraindo esses nutrientes em maiores quantidades. Para o silicato de potássio, essa alta concentração em camadas superficiais pode tornar a sua disponibilidade ainda mais lenta, como apontado por Martins et al. (2015), que ao trabalharem com fontes de rochas *in natura* para o fornecimento de K, observaram que a presença gradativa de calcário limitou disponibilidade de K destacando a importância de processos como a calcinação para aumentar a eficiência em sua disponibilidade, tal fato pode estar relacionado ao presente trabalho por se tratar de áreas que há muitos anos vem sendo conduzida no Sistema Plantio Direto, e suas calagens serem feitas



a lanço e sem incorporação, o que resulta em uma alta concentração de corretivos a base de Ca e Mg nas primeiras camadas.

Outra análise interessante a ser feita no teor disponível de K para a camada de 0 a 5 cm de profundidade (Figura 2) é o fato da cultura antecessora ao trabalho ter sido uma braquiária, que muito provavelmente tem grande contribuição aos teores de K presentes nas primeiras camadas por meio da ciclagem desse nutriente, corroborando com o apresentado por Echer et al. (2012) onde a presença da palha de braquiária promoveu maior acúmulo desse nutriente nas plantas de algodão, quando comparado a plantas onde foi retirado toda palhada de cobertura. Essa ciclagem de K é muito rápida, e as gramíneas geralmente possuem maior capacidade de acumular e posteriormente disponibilizar esse nutriente (PACHECO et al., 2013), uma vez que o K possui alta mobilidade no interior da planta e não está ligado a nenhuma estrutura orgânica sendo assim facilmente liberado dos tecidos foliares em decomposição seja por precipitações ou ação de microrganismos (CAVALCANTE et al., 2012).

Em trabalho analisando a adubação de sistema com K, Echer et al. (2020) observaram que a ciclagem desse elemento é muito eficiente pela ação da braquiária, no entanto ressaltou que a presença de chuva é fundamental para que ocorra essa reposição ao solo em tempo hábil para a cultura, conforme ao observado no presente trabalho, que embora tenha passado por uma estiagem nos estádios iniciais, teve o restante do seu ciclo com regime regular de chuvas.

A presença de maiores teores de K nas camadas superiores do solo já era característica da área onde foi instalado o trabalho conforme apresentado na Tabela 1, coletada logo após a semeadura do algodão, onde já se observava o decréscimo no teor de K conforme amostrava-se camadas inferiores, a segunda coleta foi realizada 150 dias após a implantação do experimento, e embora esse comportamento ainda tenha sido semelhante, mostra teores inferiores ao da primeira coleta, apontando que a cultura extraiu em grande quantidade tanto o teor existente quanto a adubação que foi realizada.

Para a Figura 3, observou-se incremento linear do teor de K no solo para a camada de 5 a 10 cm quando comparado ao tratamento que não houve fornecimento de K independente da fonte utilizada, com médias superiores a camada de 0 a 5 cm, o que demonstra que ambas as fontes percolaram no perfil até essa profundidade no período de 150 dias.

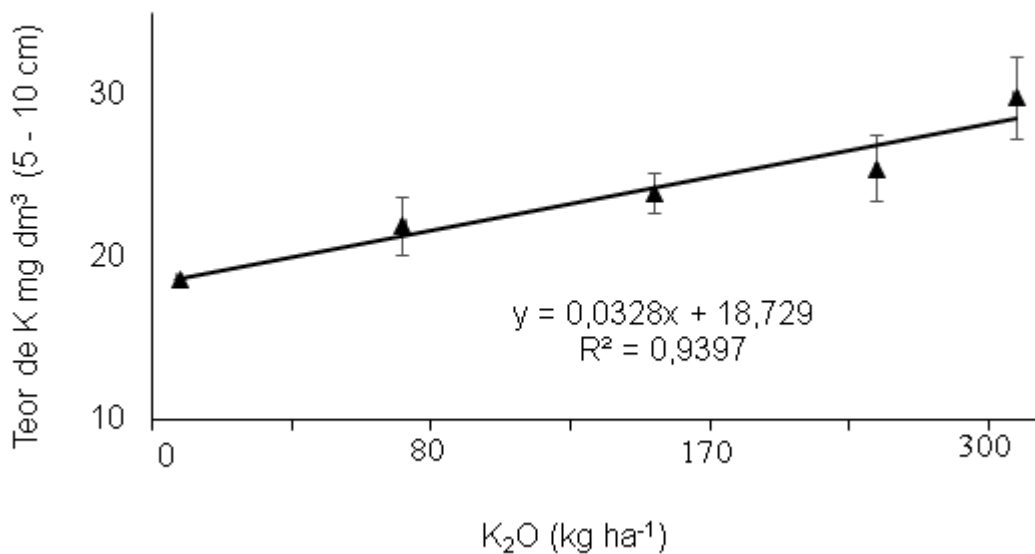


Figura 3. Teor de potássio na camada de 5 – 10 cm de profundidade em função das doses de K.

O intervalo entre a aplicação e a coleta de solo, com todas as condições climáticas presenciadas no trabalho provavelmente foram suficientes para que houvesse solubilização até mesmo do SiK, para que o mesmo mantivesse teores que não se diferiram dos tratamentos com KCl. Silva Filho e Vidor (2001) aponta fatores como intemperismo pela ação da água, temperatura e agentes químicos e biológicos como responsáveis pela solubilização do pó de rocha, o que vai de encontro ao teor de potássio oriundo do SiK para essa camada de solo, uma vez que o solo do presente trabalho apresentava com bom teor de matéria orgânica e condições favoráveis de temperatura e água para que isso ocorresse.

Já para Harley e Gilkes (2000) a presença desses fatores precisam somar às sinalizações promovidas pela rizosfera de que há escassez desse nutriente para que alterações de exsudações aconteçam e mudanças como a alteração do pH da rizosfera ocorra, e se tenha a solubilização desses nutrientes de fontes tão insolúveis quanto o SiK utilizado no presente trabalho. Em revisão, Ribeiro et al. (2020) cita também a eficiência da rizosfera em alterar o pH de seus exsudatos e com isso beneficiar microrganismos capazes de exercer ações intemperistas capazes de complexar e reduzir esses nutrientes através de ácidos orgânicos ou inorgânicos que beneficiam a planta ao disponibilizar os nutrientes que ela necessita.

Conforme Franchini et al. (2003) em solos com alto teor de material orgânico, o K pode se tornar menos passível de lixiviação do que Ca, Mg e Al em consequência da ligação entre esses cátions de maior valência e os ânions orgânicos oriundos dos resíduos vegetais, gerando

complexos de carga nula e predispostos a lixiviações, deixando maiores quantidades de K disponível. Franchini et al. (2001) trabalhando com extrato vegetais em coluna de solo notaram resultado semelhante ao trabalho anterior ao se tratar da disponibilidade de K. Ambos estudos e a presença de um solo que conforme Sobral et al. (2015), pode ser considerado como de alto teor de matéria orgânica com níveis acima de  $3 \text{ dag kg}^{-1}$  (Tabela 1) para as camadas de 0,0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m de profundidade, o que explicaria a disponibilidade crescente de K proporcionalmente ao incremento de dose utilizada no presente trabalho.

O fato de ambas as fontes não terem se diferido até a camada de 0,00 a 0,10 m de profundidade é de grande importância para a cultura do algodoeiro, que embora possua raízes pivotantes e agressivas, capazes de atingir mais de 2,00 m de profundidade (Carvalho et al., 1996), concentram cerca de 80% de sua massa radicular situados nos primeiros 20 cm de solo (CAVALERI; INFORZATO, 1956, citados por GRIDI-PAPP, 1965).

Já para a camada de 0,10 a 0,15 m houve diferença apenas para a fonte utilizada, sendo o KCl mais eficiente para atingir essa profundidade durante o período desse estudo (Tabela 2). Tal fato já era esperado perante a diferença de solubilidade das duas fontes, sendo que fontes oriundas de minerais silicatados mesmo que moídas a ponto de se tornarem um pó muito fino, precisam de tempo para que disponibilizem seus nutrientes, ainda mais em camadas onde a matéria orgânica já começa a reduzir sua atividade. Em trabalho com minerais silicatados com o intuito de se fornecer potássio, Manning et al. (2017), observaram através de microscopia eletrônica, desgastes em grãos de feldspatos potássicos a partir de reações promovidas pela rizosfera de plantas, no entanto, esses autores relataram que os danos presentes eram de baixa capacidade de liberação, sendo necessário observar essas atividades por um tempo maior do que o período ao qual submeteram suas avaliações que foi o prazo de 10 semanas.

Essa solubilização provavelmente ocorreu nas duas primeiras camadas do presente estudo, no entanto para a camada de 0,10 a 0,15 m, ficou evidente que caso tenha acontecido essa degradação do feldspato, provavelmente não chegou a atingir grandes patamares ao longo dos 150 dias após a aplicação da fonte, liberando quantidades inferiores a ponto de diferir-se estatisticamente do KCl (Figura 4).

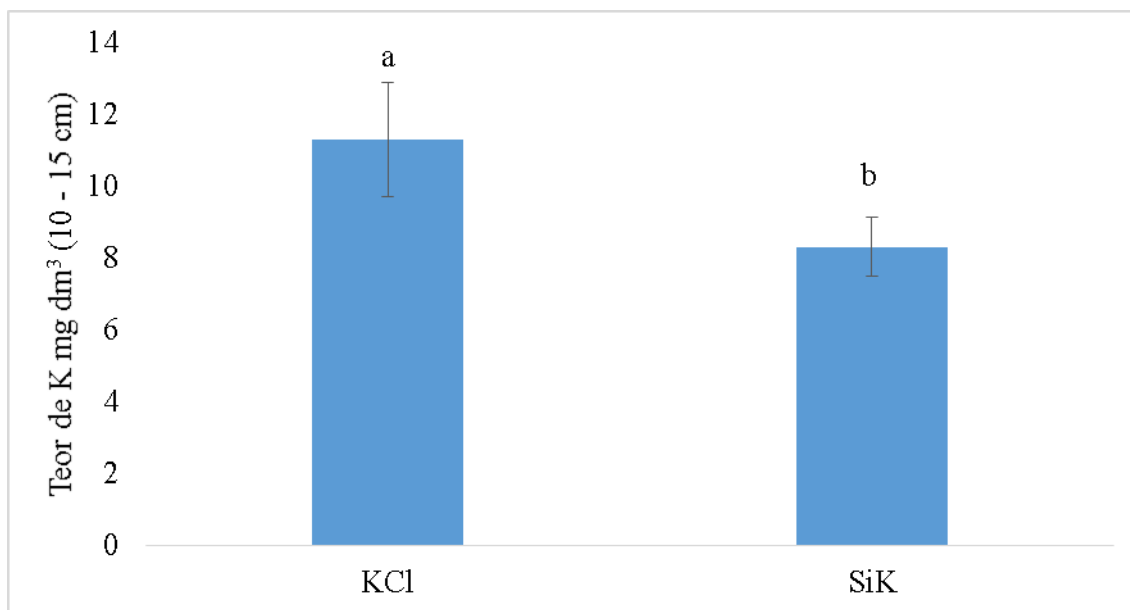


Figura 4. Teor de potássio na camada de 10 – 15 cm de profundidade em função das fontes de K. KCl: cloreto de potássio. SiK: silicato de potássio. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença pelo teste F.

Em grande parte, essa solubilidade do KCl está relacionada ao seu par iônico com o cloro, que como apontado por Duarte et al. (2013) assemelha-se em dinâmica ao gesso agrícola, que possui ligação com o sulfato de cálcio promovendo o arraste desses nutrientes para camadas mais profundas. Já para minerais silicatados, esses autores consideram sua baixa solubilidade, o potencial de correção da acidez do solo e o fato do seu íon acompanhante ser o silício, como um dos motivos que reduz sua percolação pelo perfil do solo.

Esse comportamento de maior lixiviação do KCl também se relaciona a questão do tamponamento das camadas superiores, bem como observado por Souza et al. (2009), que ao saturar camadas de solo e mensurar o transporte do K das camadas superiores para as inferiores, notaram uma maior retenção nas camadas iniciais e posteriormente uma descida do elemento conforme se atinge a capacidade tampão. O que diferencia ambos trabalhos, é que a campo além desse processo de saturação depender de condições climáticas e também físicas do solo, ainda temos a cultura do algodão promovendo a extração desse K de maneira simultânea a esse processo, competindo diretamente com os sítios de absorção do solo, e conforme Rosolem (2001) geralmente o período de maior demanda desse nutriente pelo algodoeiro é até os 95 dias após a emergência da cultura.

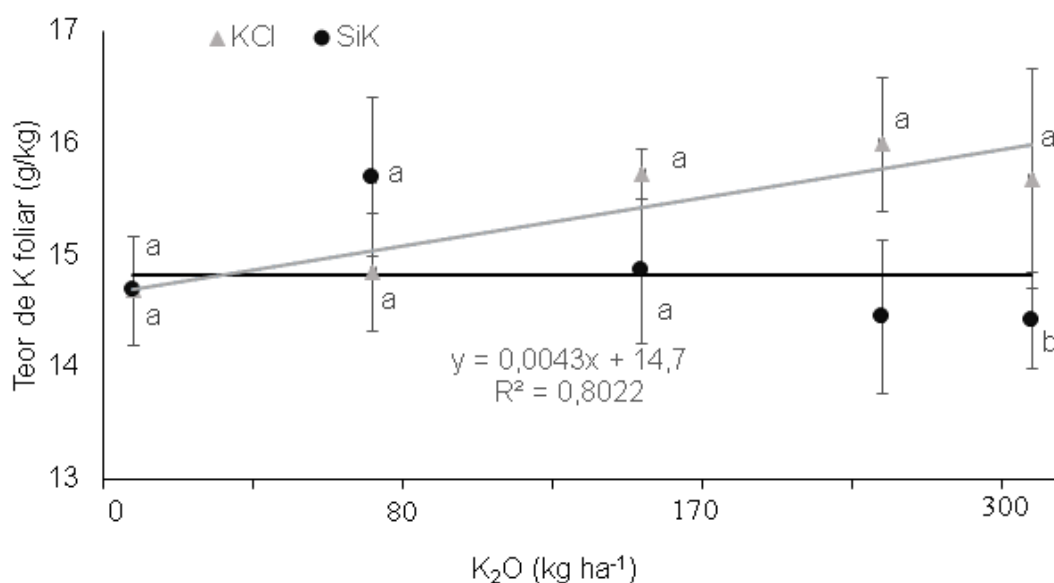


Figura 5. Teor de potássio foliar em função de fontes e doses de K. KCl: cloreto de potássio. SiK: silicato de potássio. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença pelo teste F.

As concentrações de K na folha apresentaram interação para as fontes e doses utilizadas (Tabela 2), sendo os maiores teores obtidos com a utilização do KCl. Para a fonte KCl, obteve-se aumento linear no teor de K na folha, as maiores concentrações desse nutriente na folha foram obtidas com a dose de 250 kg de K<sub>2</sub>O via KCl (Figura 5). Para os tratamentos com K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> não houve diferença entre as doses utilizadas, apresentando médias similares. Mesmo com o uso de elevadas doses de potássio, os teores presentes no tecido foliar não apresentaram aumento que extrapolasse a faixa do ideal necessário pela cultura, conforme trabalho com índice DRIS apontado por Kurihara et al. (2013), a faixa de suficiência de potássio para a cultura do algodoeiro na folha abrange os teores de 13,7 a 18,2 gkg<sup>-1</sup>, sendo considerado insuficiente e excesso, teores abaixo de 13,7 e acima de 24,2 g.kg<sup>-1</sup> respectivamente. O fato do teor de K ter ficado dentro da quantidade de suficiência pode ter sido benéfico para o equilíbrio das bases Ca e Mg, pois como apontado por Kappes et al. (2016) conforme o teor de K aumentou no tecido foliar, tanto Ca quanto Mg apresentaram quedas.

A coleta de folha foi realizada aos 100 dias após a emergência, momento em que conforme Rosolem e Witacker (2007) a planta está em processo de redistribuição dos nutrientes acumulados para atender as demandas do processo reprodutivo, tendendo a apresentar menores teores na folha, uma vez que esse elemento possui alta mobilidade dentro

da planta e não faz parte de nenhum componente estrutural. Nesse mesmo trabalho, Rosolem e Witacker (2007) utilizando nitrato de potássio via aplicação foliar pôde observar que o algodoeiro quando bem nutrido via solo, não apresentou incremento de K devido as aplicações via folha do nutriente, apontando a adubação via solo como uma importante forma de fornecimento do elemento.

Os teores obtidos com o silicato de potássio ficaram mais próximos ao mínimo teor de suficiência, o que pode estar relacionado diretamente com a baixa solubilidade da fonte, onde mesmo a análise tendo sido realizada em um período de muita umidade devido ao excesso de chuvas (Figura 1), o que facilitaria a absorção pelo principal processo de contato do íon com a raiz que é o de difusão. Esse mesmo fator de umidade pode ter favorecido a absorção do K via KCl obedecendo o gradiente de concentração conforme o aumento da dose, diferentemente do observado por Borin et al. (2017), onde o adensamento de plantas e o déficit hídrico afetaram a absorção de K via KCl, mesmo com o aumento de dose.

Mesmo a cultura do algodão apresentando um ciclo superior as culturas anuais como a soja e o milho, provavelmente seria necessário maior período de tempo para que a liberação do potássio fosse suficiente para atender a demanda da cultura via silicato de potássio, semelhante ao apresentado por Tavares et al. (2018) ao trabalhar com capim braquiária, onde o acúmulo de massa seca obtido pelo uso do silicato de potássio isolado, foi inferior ao uso de composto enriquecido, composto misturado com silicato de potássio, e composto puro, sendo superior apenas quando comparado a testemunha, o que torna evidente a necessidade de que essa fonte necessite de ações de intemperismo para que possa liberar os nutrientes de interesse.

O teor adequado de K na planta é primordial para várias atividades de seu metabolismo, e a análise foliar para esse elemento nos fornece informações de suma importância para detectar problemas desde a formação de raízes e folhas, bem como atividades fotossintéticas e respiratórias da planta. Em trabalho avaliando os impactos da deficiência de potássio no algodoeiro, Fontana et al. (2020) observaram que quando as plantas foram expostas a deficiências de K, o crescimento de área foliar passou de 170% em uma planta devidamente nutrida em 8 dias, para 43% em plantas com restrição desse elemento, sendo percebido também melhor desenvolvimento radicular, maior taxa respiratória de raízes e folhas, e até mesmo na capacidade fotossintética em plantas supridas com K, os mesmos autores evidenciaram que esses distúrbios desencadeados pela deficiência de K está relacionado aos microRNAs, responsáveis por genes codificadores de proteínas que atuam no desenvolvimento radicular e da planta.

Além das dinâmicas físico-químicas do solo, temos também uma grande interferência biológica sobre esse sistema, e tratamentos como os utilizados no presente trabalho estão diretamente ligados a eficiência desse grupo. O aumento da dose de cloreto no solo diminuiu o número de cópias do gene *amoA* por grama de solo (Figura 6). De maneira direta, este resultado mostra o efeito negativo do cloreto sobre bactérias oxidadoras de amônio presentes nesse mesmo solo. De maneira indireta, os resultados revelam a diminuição da nitrificação nesse ambiente, uma vez que a nitrificação é um processo da oxidação de amônio. Vale lembrar que o nitrato oriundo da nitrificação é, em geral, a fonte predominante de N em solos cultivados.

Megda et al. (2014) também mostraram diminuição da biomassa microbiana e da nitrificação no solo com o aumento da concentração de Cl. Da mesma forma, Pereira et al. (2019) também observaram que a reposição de Cl por meio de restos culturais associadas a fertilizações com altas doses de KCl elevavam o teor de Cl a ponto de prejudicar a atividade microbiana e também a mineralização do N no solo, sendo esse micronutriente apontado como de forte potencial oxidante e ter efeito biocida sobre as comunidades microbianas do solo (CHEN; WONG, 2004).

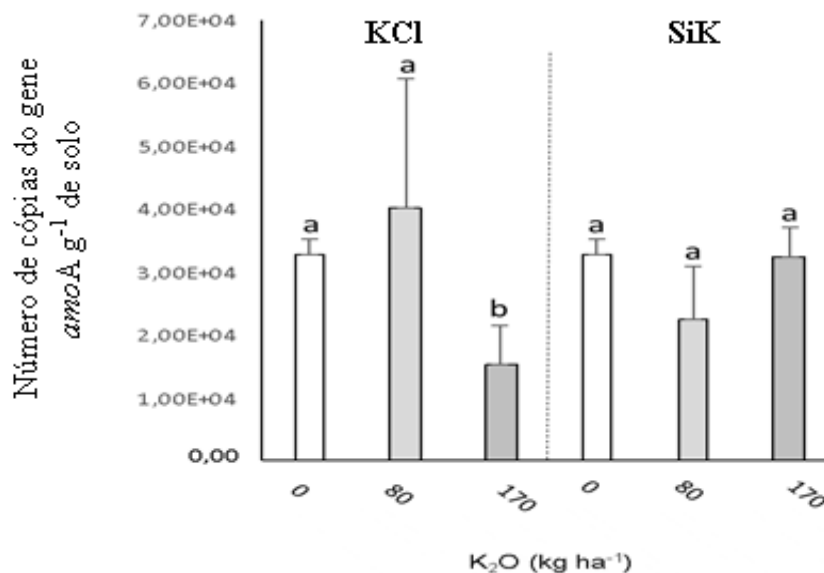


Figura 6. Número de cópias do gene *amoA* em função das fontes e doses de potássio obtidas em extração de DNA do solo. KCl: cloreto de potássio. SiK: silicato de potássio. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença pelo teste F.

O fato dessa avaliação ter sido realizada já ao final do ciclo do algodoeiro também ressalta que esse impacto possa ter sido maior em momentos anteriores durante o

desenvolvimento da cultura, como apontado por Pereira et al. (2019) ao observar que pode haver recuperação em comunidades que foram afetadas, sendo esse um processo apontado por Megda et al. (2014) como uma capacidade de adaptação que esses microrganismos possuem perante a essas condições adversas.

O algodoeiro ao contrário de culturas como tabaco e abacaxi, apresenta grande tolerância ao excesso de Cl no solo após a germinação e o estabelecimento das plântulas, podendo crescer e se desenvolver normalmente em teores que variam de 100 a 1600 mg.kg<sup>-1</sup> de Cl (Yang et al., 2016), todavia, na microbiota do solo se tem quedas na atividade de nitrificantes na ordem de 33 a 55% quando há o aumento gradativo dos teores de 0 a 18 g L<sup>-1</sup> Cl (PANSWAD; ANAN, 1999).

Em estudo sobre os impactos dos processos de nitrificação do solo e o que causam ao meio ambiente, Liu et al. (2021) sugerem nitrato como fonte de N que sofra menor interferência do K, recomendando também que seja reduzido ou evitado o uso de K quando a opção por N vier de fontes amoniacais, no entanto o K está sempre ligado a uma das maiores demandas nutricionais das plantas, sendo o segundo mais importante para a cultura do algodão. O SiK mesmo com elevação de dose não afetou o número de cópias do gene *amoA* por grama de solo, sendo assim uma alternativa viável para que não haja danos ao processo de nitrificação do solo. Schoen et al. (2016) observaram que o uso de rochas fonolíticas como o SiK apresentam muita sinergia com os microrganismos micorrizicos principalmente por se tratar de uma rocha alcalina e com baixa salinidade somado a presença do silício que pode até mesmo beneficiar os microrganismos promovendo uma faixa melhor de pH para seu desenvolvimento.

## CONCLUSÕES

Ambas as fontes de potássio apresentaram comportamentos satisfatórios para a disponibilização de do nutriente para as camadas de 0 a 10 cm de profundidade.

Para camadas com profundidade de 10 a 15 cm o KCl apresenta-se como uma fonte superior em disponibilizar K no período a que foi submetido o presente trabalho.

O teor de K acumulado no tecido foliar é maior com a utilização do KCl, e esta linearmente relacionado ao aumento da dose utilizada dessa fonte.



Quanto maior a dose de KCl, maior é a sua influência negativa sobre abundância de bactérias nitrificantes, já para o SiK não há alteração sobre esse grupo, sendo esse um ponto positivo no uso dessa fonte para fornecimento de K.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. Faostat: Crops and livestock products (Cotton lint). 2019b. Disponível em:<<https://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de (Eds). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão manso e sisal**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 65-124, 2011.

BORIN, A. L. D. C. et al. Produtividade do algodoeiro adensado em segunda safra em resposta a adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ceres**. v.64, p.622-630, 2017.

BOYLSTON, E. K. et al. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition** 13, p. 131–148, 1990.

BOYLSTON, E. K. Presence of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition** 11, p. 1739–1747, 1988.

BRANDÃO, Z. N. et al. Uso de nitrogênio e fósforo e seus efeitos na nutrição do algodão irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 2, p. 213-218, 2012.

CARVALHO, P.P. **Manual do algodoeiro**. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 282 p. 1996.

CAVALCANTE, V.S. et al. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, 521–528, 2012.

CHEN, G. H.; WONG, M. T. Impact of increased chloride concentration on nitrifying activated sludge cultures. **Journal of Environmental Engineering**. v.130, p. 116–125, 2004.

CRANG, R. E.; MAY, G. Evidence for silicon as a prevalent elemental component in pollen wall structure. **Canadian Journal of Botany** 52, p. 2171–2174, 1974.

DUARTE, I. N. et al. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.

ECHER, F. R. et al. Effects of Potassium Management on Physiological Traits, Enzyme Activity and Cotton Fiber Cellulose Content. **Plant and soil**. V. 1, 22 p., 2020.

ECHER, F.R. et al. Crescimento inicial e absorção de nutrientes pelo algodoeiro cultivado sobre a palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Planta Daninha**, v. 30, 783-790. 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat: Crops (Seed cotton). 2019a. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TP> > . Acesso em: 25 jan. 2022.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

FONTANA, J. E. et al. Impact of potassium deficiency on cotton growth, development and potential microRNA-mediated mechanism. **Plant Physiology and Biochemistry**. v.153, p.72–80, 2020.

FRANCHINI, C. B. et al. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in soil science and plant analysis**. v. 34, p. 2045–2058, 2003.

FRANCHINI, J.C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**. v. 58, 357–360, 2001.

GRIDI-PAPP, I.L. Botânica e genética. In: Instituto brasileiro de potassa. Cultura e adubação do algodoeiro. p.117-160, 1965.

HARLEY, A. D; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutr Cycl Agroecosys**. v.56, p. 11–36, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Algodão herbáceo (em caroço)**. 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado> >. Acesso em: 25 jan. 2022.

KAPPES, C. et al.. Nitrogen and potassium in narrow-row cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0150103, 2016.

KIDO, N. et al. The matrix polysaccharide (1;3,1;4)-2-d-glucan is involved in silicon-dependent strengthening of rice cell wall. **Plant and Cell Physiology** 56, p. 268–276, 2015.

KORNDÖRFER, G. H. et al. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. GPSi-ICIAGU-UFU, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

KURIHARA, C. H. et al. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013.

LAZOF, D. B. BERNSTEIN, N. Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: consideration of leaf developmental stage. **New Phytol**. v.144: 85–94, 1999.

LIU, C. et al. Impacts of nitrogen practices on yield, grain quality, and nitrogen-use efficiency of crops and soil fertility in three paddy-upland cropping systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.101, p. 2218-2226, 2021.

- MAKHDUM, M. I. Effects of Long-term Application of Potassium Chloride Fertilizer on the Accumulation of Chloride in the Soil Profile, Water Relations, Fibre Quality and Yield Cotton in an Arid Environment, **In: World ccongress of soil science**, 18., 2006, Philadelphia. Anais. Philadelphia, PA. 2006.
- MANNING, D. A. C. et al. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of The Total Environment**. v.574, p.476-481, 2017.
- MARSCHNER, H. et al. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany**, v.47, issue suppl. 1, p.1255-1263, 1996.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. Diagnose foliar. In: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p.143-170.
- MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: ADÃO, B. L.; LINS, F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: Cetem, 2010. p. 205-221.
- MARTINS, V. et al. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 45, n. 1, p. 66-72, 2015.
- MEDEIROS, J.C. et al. Resposta do algodoeiro a doses de fósforo no cerrado. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2004. 4p. (Comunicado Técnico 217).
- Medeiros, R. D. et al. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.940-947, 2005.
- MEGDA, M. X. et al. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.72, p.84-87, 2014.
- PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.
- PANSWAD, T.; ANAN, C. Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds. **Water Research**, v.33, p.1165-1172, 1999.
- PEREIRA, D. G. C. et al. Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.49, 9 p. 2019.
- PERVEZ, H. et al. Effects of potassium rates and sources on fiber quality parameters in four cultivars of cotton grown in aridisols. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n. 12, p. 2235-2257, 2004a.

- PERVEZ, H. et al. Influence of potassium rates and sources on seed cotton yield and yield components of some elite cotton cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n. 7, p. 1295-1317, 2004b.
- POLSTER, J. et al. The role of boron, silicon and nucleic bases on pollen tube growth of *lilium longiflorum* (L.). *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* 47, p. 102–108, 1978.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 401 p. 2008.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 343 p.1991.
- RAIJ, B.V. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 285 p.1996.
- RIBEIRO, D. F. et al. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum* in soybean in the first and third year of cultivation. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.23, p.1-9, 2020.
- ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41,1033-1040, 2006.
- ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, v.66, n.1, p.147-155, 2007.
- ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 95, p. 1-17, 2001.
- SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Revista e ampliada**. Brasília, DF: Embrapa; 2018.
- SCHOEN, C. et al. Efficiency of the on-farm mycorrhizal inoculant and phonolite rock on growth and nutrition of *schinus terebinthifolius* and *eucalyptus saligna*. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.40, 14 p. 2016.
- SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 311-329, 2001.
- SOBRAL, L. F et al. **Guia prático para interpretação de resultados de análise de solo**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 13 p. 2015. (Documentos, 206).
- SOUZA, A. L. et al. Reflectometria no domínio do tempo em estudos de lixiviação de potássio em colunas de solo não-saturado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1219-1222, 2009.
- TAVARES, L. F. et al. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**. v.7, p.89–98, 2018.

TEIXEIRA, A. M. S. et al. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

TEIXEIRA, P.C. et al. Manual de métodos de análise de solos. Brasília: **Embrapa Solos**, 2017. 564p.

YANG, F. et al. Cotton yield and potassium use efficiency as affected by potassium fertilizer management with stalks returned to field. **Crop Science**. v.56, p.740-746, 2016.

ZARGAR, S, M. et al. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. **Biotech 9**, p. 1–16, 2019.