



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**SILTITO GLAUCONÍTICO CALCINADO E NÃO CALCINADO COMO
FERTILIZANTES PARA *Urochloa brizantha* cv. Marandú**

ISABEL CRISTINA ACCIARDI VIOLETTI

UBERLÂNDIA - MG
2018

ISABEL CRISTINA ACCIARDI VIOLETTI

**SILTITO GLAUCONÍTICO CALCINADO E NÃO CALCINADO COMO
FERTILIZANTES PARA *Urochloa brizantha* cv. Marandú**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA - MG
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

V795s Violatti, Isabel Cristina Acciardi, 1989
2018 Siltito glauconítico calcinado e não calcinado como fertilizantes para
Urochloa brizantha cv. *Marandú* / Isabel Cristina Acciardi Violatti. -
2018.
132 f.: il

Orientador: Hamilton Seron Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.758>
Inclui bibliografia

1. Agronomia - Teses. 2. Plantas forrageiras - Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Fertilizantes potássicos - Teses. 4. Silício na agricultura - Teses. I. Pereira, Hamilton Seron. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

**SILTITO GLAUCONÍTICO CALCINADO E NÃO CALCINADO COMO
FERTILIZANTES PARA *Urochloa brizantha* cv. Marandú**

Dissertação aprovada para a obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos, da Universidade Federal de Uberlândia (MG), pela banca examinadora formada por:

Uberlândia, 27 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, UFU/MG

Profa. Dra. Angélica Araújo Queiroz, IFTM/MG

Dr. Gustavo Alves Santos, KP Consultoria/MG

Prof. Dr. Beno Wendling, UFU/MG

UBERLÂNDIA - MG
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me proporcionado saúde, proteção e força para superar todos os desafios desta etapa.

Ao orientador, Professor Dr. Hamilton Seron Pereira, pelos ensinamentos compartilhados, orientação, atenção e ajuda durante a elaboração da dissertação e pelo exemplo de profissional.

A todas as pessoas do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) e também aos integrantes do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura (GPSI), que me auxiliaram para que a realização desse trabalho fosse possível. Em especial, a Luiz Henrique Silveira, Pedro Magno, Barbara Campos, Gustavo Alves Santos e Camila Carvalho pela valiosa contribuição.

À liderança da Monsanto, Débora Puecher, José Francisco Figueiredo, Paula Oliveira e Flávia Messias pela oportunidade concedida, pelo incentivo ao meu desenvolvimento, pela aplicabilidade dos novos conhecimentos na área e pela confiança. E a todo o time, pelo suporte nos momentos de ausência.

Aos queridos professores e amigos José Eduardo Corá e Roberval Daiton Vieira pela confiança, acompanhamento e suporte em meu crescimento profissional.

À minha família, pelo apoio, acompanhamento, exemplo, compreensão, incentivo e ensinamentos. Especialmente ao meu noivo, Guilherme, pela abdicação, companheirismo, carinho, presteza e auxílio em todos os momentos do mestrado, fazendo com que essa caminhada se tornasse mais tranquila.

Aos membros constituintes da banca examinadora, Professor Dr. Hamilton Pereira Seron, Professora Dra. Angélica Araújo Queiroz, Professor Dr. Beno Wendling e Dr. Gustavo Alves Santos, pelas considerações enriquecedoras ao trabalho.

Aos amigos, pelo carinho e a todos que de alguma forma contribuíram nessa etapa da minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	VII
GENERAL ABSTRACT	VIII
1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	111
2.1 FORMAS DISPONÍVEIS E DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO	11
2.2 IMPORTÂNCIA DO POTÁSSIO PARA AS PLANTAS	12
2.3 RESERVAS E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO MUNDO	14
2.4 FONTES TRADICIONAIS DE K	16
2.5 FONTES ALTERNATIVAS DE K PARA A AGRICULTURA.....	17
2.6 SILITO GLAUCONÍTICO	20
2.7 SILITO GLAUCONÍTICO CALCINADO.....	21
2.8 ADUBAÇÃO POTÁSSICA	24
2.9 GÊNERO <i>UROCHLOA</i> (SYN. <i>BRACHIARIA</i>)	26
2.10 <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDÚ (SYN. <i>BRACHIARIA BRIZANTHA</i>)	28
REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO I - SILITO GLAUCONÍTICO COMO FERTILIZANTE PARA <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDÚ	XLII
RESUMO.....	XLII
CHAPTER I - GLAUCONITIC SILTITE AS A FERTILIZER FOR <i>UROCHLOA</i> <i>BRIZANTHA</i> CV. MARANDÚ	XLIII
ABSTRACT.....	XLIII
1 INTRODUÇÃO.....	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA (GARANTIAS) DO PRODUTO	46
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E FONTES UTILIZADAS	47
2.3 CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	48
2.3.1 Tratamentos.....	48
2.3.2 Semeadura, adubação e manejo da cultura	49
2.4 AVALIAÇÕES.....	50
2.4.1 Parte aérea	50
2.4.2 Análises de solo.....	50

2.4.3	Índice de eficiência agronômica (IEA)	51
2.4.4	Percentual de K recuperado	51
2.5	DELINAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	51
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.1	MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA)	52
3.2	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA (IEA)	55
3.3	POTÁSSIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	57
3.4	SILÍCIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	62
3.5	MANGANÊS NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	65
3.6	MAGNÉSIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA	68
3.7	pH DO SOLO	71
4	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	CAPÍTULO II - SILITO GLAUCONÍTICO CALCINADO COMO FERTILIZANTE PARA <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDÚ.....	LXXIX
	RESUMO.....	LXXIX
	CHAPTER II – CALCINED GLAUCONITIC SILTITE AS A FERTILIZER FOR <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDÚ	LXXX
	ABSTRACT.....	LXXX
1	INTRODUÇÃO.....	81
2	MATERIAL E MÉTODOS	82
2.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO PRODUTO.....	82
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E FONTES UTILIZADAS	83
2.3	CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	84
2.3.1	Tratamentos.....	84
2.3.2	Semeadura, adubação e manejo da cultura	85
2.4	AVALIAÇÕES.....	86
2.4.1	PARTE AÉREA.....	86
2.4.2	Análises de solo.....	86
2.4.3	Índice de eficiência agronômica (IEA)	87
2.4.4	Percentual de K recuperado	87
2.5	DELINAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	87

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
3.1	MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA)	88
3.2	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA	97
3.3	POTÁSSIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	98
3.4	SILÍCIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	106
3.5	MANGANÊS NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA.....	110
3.6	CÁLCIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA	114
3.7	MAGNÉSIO NO SOLO E ACUMULADO NA PARTE AÉREA	119
3.8	PH DO SOLO	124
4	CONCLUSÕES.....	127
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	128
	REFERÊNCIAS.....	129

RESUMO GERAL

VIOLATTI, I. C. A. **Siltito glauconítico calcinado e não calcinado como fertilizantes para *Urochloa brizantha* cv Marandú.** 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

O Brasil importa a maior parte dos fertilizantes potássicos consumidos na agricultura devido, principalmente, aos solos possuírem baixa disponibilidade de macronutrientes e à ausência de autossuficiência no abastecimento de matérias-primas para a produção de adubos. Por isso, tornou-se fundamental a busca de fontes alternativas para suprir a necessidade do consumo interno desses fertilizantes. Assim, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica e efeito residual do siltito glauconítico não calcinado e calcinado, microgranulado e farelado fino, na cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), como fonte de potássio (K), silício (Si), manganês (Mn), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Foram conduzidos dois experimentos em vasos cultivados com braquiária, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênio órtico típico (RQo). Os tratamentos foram constituídos por doses de K₂O provenientes do siltito glauconítico (5, 20, 40 e 80 mg dm⁻³ de K₂O), além de um tratamento adicional controle (0 mg dm⁻³ de K₂O) e três tratamentos adicionais positivos para comparação (KCl na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O, KCl + Wollastonita na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 270 mg dm⁻³ de Si e KCl + MnSO₄ na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 2 mg dm⁻³ de Mn) e também foram constituídos por doses de K₂O provenientes do siltito glauconítico microgranulado e farelado fino (80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O), além de um tratamento adicional controle (0 mg dm⁻³ de K₂O) e dois tratamentos adicionais positivos para comparação (KCl na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O e KCl + Wollastonita na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 390 mg dm⁻³ de Si). Os experimentos foram conduzidos com quatro repetições em delineamento inteiramente casualizados (DIC) e parcelas constituídas de vasos plásticos preenchidos com 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA). Foram realizados três cortes sucessivos da cultura, bem como coletadas amostras de solo após terceiro corte, visando avaliar o efeito residual da fonte. Pôde-se verificar que o siltito glauconítico aumentou a MSPA, sendo observados resultados de MSPA superiores ao KCl na maior dose do terceiro corte. Para o siltito glauconítico calcinado também foi observado o mesmo comportamento, porém esse apresentou resultados superiores ao KCl nas três maiores doses utilizadas. O IEA (%) das fontes testadas foi superior ao padrão após o último corte das plantas, demonstrando o efeito residual e potencial dos produtos na substituição de fontes solúveis. As fontes testadas foram eficientes em disponibilizarem K, Si e Mn. Para a maioria dos tratamentos, os produtos testados responderam de forma semelhante aos padrões nos primeiros cultivos, apresentando valores superiores no terceiro cultivo, o que evidencia o efeito residual das rochas e potencial de disponibilizarem nutrientes em cultivos sucessivos.

Palavras chave: Plantas forrageiras. Fontes alternativas. Fertilizantes Potássicos. Sílico. Manganês.

¹ Comitê Orientador: Hamilton Seron Pereira – UFU (Orientador)

GENERAL ABSTRACT

VIOLATTI, I. C. A. Glauconitic siltite calcined and non-calcined as a fertilizer for *Urochloa brizantha* cv. Marandú 2018. 132 p. Tese (Masters in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia².

Brazil imports most part of the potassic fertilizers consumed in agriculture, mainly due to Brazilian soils having low amounts of macronutrients and lack of self-sufficiency in the supply of raw materials for the production of fertilizers. Therefore, the search for alternative sources to meet the need for internal consumption of fertilizers became fundamental. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency and residual effect of glauconitic siltite non-calcined and calcined microgranulated and fine granulated in the culture of *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), as a source of potassium (K), silicon (Si), manganese (Mn), calcium (Ca) and magnesium (Mg). Two experiments were performed, cultivating brachiaria in a Typic Dystrustox (clayey soil) and in a Typic Quartzipsamment (sandy soil). The treatments were constituted by K₂O doses from the galuconitic siltite (5, 20, 40 and 80 mg dm⁻³ of K₂O), with an additional control treatment (0 mg dm⁻³ of K₂O) and three additional positive treatments for comparison (KCl in the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O, KCl + Wollastonite at the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O + 270 mg dm⁻³ of Si and KCl + MnSO₄ at a dose 80 mg dm⁻³ of K₂O + 2 mg dm⁻³ of Mn) and were also composed of K₂O doses from the glauconitic siltite microgranulated and fine granulated (80, 160, 240 and 320 mg dm⁻³ of K₂O), besides an additional control treatment (0 mg dm⁻³ of K₂O) and two additional positive treatments (KCl in the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O and KCl + Wollastonite at the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O + 390 mg dm⁻³ of Si). The experiments were conducted with four replicates in a completely randomized design and plots consisting of plastic vessels with 5 kg of air dried fine soil (ADFS). Three successive crop cuts were performed, as well as soil samples collected after the third cut in order to evaluate the residual effect of the source. It was possible to verify that the glauconitic siltite increased DMAP, with DMAP results higher than KCl in the at higher dose of the third cut. For the calcined glauconitic siltite, the same behavior was observed, however, presenting higher results than KCl in the three higher doses used. In addition, the AEI (%) of the tested sources was higher than the standard after the last cut of the forage plants, demonstrating the residual and potential effect of the products in the substitution of soluble sources. The sources tested were efficient in providing K, Si and Mn to the plants. For the majority of treatments, the tested products responded similarly to the treatments in which KCl, KCl + Wollastonite and KCl + MnSO₄ were applied in the first cultures, presenting higher values in the third crop, which shows the residual and potential effect of the rocks in providing nutrients in successive crops.

Key words: Forage plants. Alternative sources. Potassium Fertilizers. Silicon. Manganese.

² Supervising Committee: Hamilton Seron Pereira – UFU (Advisor).

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola no Brasil depende diretamente das características químicas e físicas do solo, bem como das condições climáticas tropicais predominantes no país, que favoreceram o intemperismo, sendo esse um dos motivos dos solos brasileiros apresentarem, em geral, baixa disponibilidade de nutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e elevada acidez (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009; NAHASS; SEVERINO, 2009). Dentre os nutrientes, o K é um dos mais extraídos pelas plantas (CARVALHO et al., 2006), e está entre os que mais contribuem para aumentar a produtividade das pastagens, entretanto, os teores insuficientes desse nutriente na maioria dos solos brasileiros contrastam com as elevadas exigências das culturas.

Os solos de cerrado são considerados naturalmente ácidos, altamente intemperizados, e possuem aproximadamente 53 milhões de hectares cultivados com pastagem e gramíneas do gênero *Urochloa* (ANDRADE et al., 2016) concentrando-se em locais de baixa fertilidade. Fagundes et al. (2006) relataram que a baixa disponibilidade de nutrientes é, seguramente, um dos fatores que mais interferem na produtividade e na qualidade da forrageira.

Nesse contexto, para aumentar a disponibilidade de K para as plantas e obter maior capacidade de suprimento desse nutriente pelo solo, grandes quantidades de fertilizantes são necessárias. Do total de fertilizantes potássicos utilizados no Brasil, 90% é importado na forma de cloreto de potássio (KCl) (LIMA, 2016), representando grande ônus à balança comercial do país. Consequentemente, torna-se necessária a busca por fontes alternativas aos fertilizantes potássicos tradicionais visando reduzir a dependência externa, favorecer a utilização de fontes nacionais e aumentar a competitividade do agronegócio brasileiro. Assim, novos fertilizantes devem ser avaliados agronomicamente para constatar sua capacidade de fornecer nutrientes ao solo e às plantas, o que poderá resultar em níveis ótimos de produtividade com eficiência similar à das fontes habitualmente usadas na agricultura.

As rochas ou minerais industriais com potássio em sua composição podem ser utilizados como fontes alternativas para a produção de sais de potássio ou mesmo pela sua aplicação direta no solo, como fertilizantes de liberação lenta (SILVA, 2009). Desse modo, o desenvolvimento de um novo insumo agrícola, derivado de uma rocha existente no território nacional, beneficiaria o setor agrícola, bem como aumentaria a produção interna

de fertilizantes potássicos, diminuindo, consequentemente, a importação desse tipo de adubo.

Empresas têm desenvolvido pesquisas com o objetivo de se obter novos fertilizantes no Brasil. Uma alternativa atraente como fonte de K para as plantas é a utilização de siltito glauconítico em grânulos menores que 2 mm e do siltito glauconítico calcinado, que corresponde à calcinação dessa rocha e aquecimento a temperaturas elevadas para solubilização do nutriente. O siltito glauconítico é uma rocha de coloração verde composta por altos teores de minerais potássicos de baixa solubilidade em água, cujas jazidas são encontradas predominantemente no estado de Minas Gerais, na região do Alto-Paranaíba, formação geológica Serra da Saudade (PIZA et al., 2009). Por apresentar teores de K₂O que variam de 7 a 14%, a fonte é considerada promissora em disponibilizar K, via solo, para as culturas.

Além disso, é importante ressaltar que a fonte também apresenta em sua composição teores de outros nutrientes e elementos benéficos para as plantas, como Mg, Mn, Fe e Si. Apesar de já ter sido avaliado em testes preliminares em culturas como café, cana e milheto, ainda é desconhecido o efeito do siltito glauconítico e siltito glauconítico calcinado em áreas de pastagens.

Assim, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica e potencial de aplicação a longo prazo do siltito glauconítico e siltito glauconítico calcinado como fontes de K, Si, Mn, Ca e Mg para o desenvolvimento de fertilizantes alternativos na cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Formas disponíveis e dinâmica do potássio no solo

A disponibilidade e capacidade de suprimento de K do solo para as plantas variam em função das formas em que esse nutriente se encontra, da quantidade e grau de disponibilidade, da aplicação de fertilizantes, da CTC (Capacidade de Troca Catiônica) do solo, da ciclagem do nutriente pelas plantas, bem como das características físicas (textura e retenção de água) que afetam a movimentação e dinâmica do potássio da solução do solo até a raiz (MCLEAN; WATSON, 1985; MIELNICZUK, 1982; NACHTINGALL; VAHL, 1991).

O K pode ser encontrado em quatro formas no solo: solúvel, constituída pelo K que se encontra na solução do solo livre de forças de adsorção; trocável, na matéria orgânica e na solução do solo; não-trocável, dificilmente disponível, e estrutural (SPARKS; HUANG, 1985). Deve-se ressaltar que tais formas estão em equilíbrio entre si por meio da solução do solo, influenciando na sua disponibilidade para as plantas (NOVAIS et al., 2007), e tendo sua somatória equivalente ao K total do solo. Assim, ocorrendo absorção de K da solução do solo pelas plantas ou sua remoção pela percolação, uma fração dele, que estava adsorvida à fase sólida do solo, é liberada para a solução do solo, reestabelecendo assim o equilíbrio (DUARTE, 2012).

O K trocável, que contribui com 2 a 8% do K total do solo, encontra-se fricamente adsorvido às cargas negativas das superfícies orgânicas e inorgânicas da CTC do solo, estando prontamente disponível para a absorção pelas plantas (MIELNICZUK, 1982). Essa fração apresenta uma pequena participação em relação ao K total do solo, e a sua avaliação apenas demonstra a disponibilidade momentânea de K para as plantas (TISDALE; NELSON, 1993). Contudo, nos solos altamente intemperizados, o K trocável do solo pode constituir a reserva mais importante disponível às plantas (RAIJ, 1991).

Já o K não-trocável é aquele retido, ou que constitui a estrutura dos minerais primários e/ou secundários, denominado estrutural. Refere-se às reservas de médio e longo prazo para as plantas, tais como feldspatos potássicos e as micas (MARTIN; SPARKS, 1985). Também pode se encontrar neutralizando as cargas negativas no interior das entrecamadas dos argilo-minerais expansivos como a vermiculita e a esmectita, caracterizando-se como potássio fixado (SONG; HUANG, 1988).

De acordo com revisão apresentada por Sparks (1980), a passagem do K trocável para K solução é muito rápida, de maneira que o K trocável encontra-se na forma disponível para as plantas e o K não-trocável é moderadamente disponível às plantas, uma vez que sua passagem para trocável é lenta.

Para realizar a adequada recomendação de adubação potássica às culturas, é importante definir a disponibilidade às plantas das diferentes formas de K no solo (ELKHATIB; HERN, 1988), bem como suas influências na dinâmica do perfil do solo, pois, além do teor de K trocável, duas outras formas de K (K liberado a partir de resíduos de culturas e K não-trocável) podem migrar para a solução do solo, contribuindo para a nutrição das plantas em alguns solos, em curto prazo (ROSOLEM; NAKAGAWA, 1985; ROSOLEM et al., 1993; CALONEGO et al., 2005; KAMISKI et al., 2007; SIMONSSON et al., 2007) e, por isso, devem ser consideradas no sistema de produção (GARCIA et al., 2008).

O K tem boa mobilidade no perfil do solo, o que é importante em situações de aplicação em superfície, uma vez que o nutriente atingirá a rizosfera, facilitando a sua absorção. A quantidade de potássio que percola para camadas inferiores do solo, as quais estão abaixo da faixa de concentração de raízes, é influenciada pela fonte utilizada, textura do solo, pelo volume de água percolada e pela concentração do nutriente na solução do solo (NOVAIS, 2007).

Sais de potássio de alta solubilidade são facilmente lixiviados, especialmente em solos arenosos e de baixa CTC (KINPARA, 2003). A energia de retenção dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos coloides do solo segue uma série denominada liotrófica, resultando na maior lixiviação de potássio em solos bem drenados, com menor CTC (RAIJ, 1991), característica de grande parte da região do Cerrado do Brasil. Segundo Sanzonowicz e Mielniczuk (1985), as perdas de potássio por percolação ou lixiviação podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis e/ou portadoras de ânions pouco móveis no solo, como aquelas oriundas do pó de rocha.

2.2 Importância do potássio para as plantas

O K é um elemento classificado como macronutriente, devido à sua essencialidade e quantidade exigida pelas plantas. Depois do nitrogênio, é o nutriente mais exigido pela maioria das plantas cultivadas (MALAVOLTA, 1976). É o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais, sendo absorvido da solução do solo em grandes

quantidades pelas raízes na forma iônica K⁺. Possui muitas funções, dentre elas, é responsável pela ativação de cerca de 60 sistemas enzimáticos (MALAVOLTA et al., 1997). Devido ao fato de ser encontrado como cátion livre ou adsorvido e não fazer parte da constituição de moléculas orgânicas ou estruturas (RAIJ, 2011), proporciona alta mobilidade intracelular em qualquer nível de concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal, no xilema e floema (MALAVOLTA, 1980).

Além disso, o K possui funções fisiológicas como a elongação celular, resistência estomática, bem como está relacionado à taxa fotossintética (CAKMAK, 2005). Segundo Yamada (1994) e Raji (1991), as principais funções do potássio na planta estão relacionadas à influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese, resultando em uma melhor capacidade energética da planta e, consequentemente, em maior assimilação de carbono; à maior síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos; à translocação de produtos fotossintetizados nas folhas; ao uso mais eficiente da água, devido ao melhor funcionamento dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos, e ao aumento da resistência ao ataque de pragas e incidência de doenças. Quanto ao produto colhido, pode-se ressaltar que a absorção desse nutriente resulta em alimentos de maior qualidade, uma vez que o K melhora a utilização do N e a formação de proteínas, além de influenciar no tamanho de grãos, sementes e tubérculos, no conteúdo, maturação e armazenamento de frutos.

De acordo com Rubio et al. (2009), na ausência de K, pode-se observar redução na produção de matéria seca das plantas e do crescimento da parte aérea e raiz, uma vez que o nutriente está relacionado à expansão celular e às alterações no balanço de hormônios ligados ao crescimento. Além disso, a falta desse elemento pode interferir em todo o processo de absorção de outros nutrientes pela planta. Monteiro et al. (1980) afirmam que a adubação nitrogenada tem, por muitas vezes, apresentado respostas produtivas de gramíneas abaixo das esperadas em virtude de inadequados níveis de K, o que sugere uma interação entre a absorção e o aproveitamento desses dois macronutrientes.

A produção de espécies reativas de oxigênio nos cloroplastos é intensificada sob baixo suprimento de K, resultando no desenvolvimento de clorose e necrose das folhas em plantas com deficiência desse nutriente. Já Meurer (2006) afirma que um adequado suprimento de potássio resulta em incrementos positivos no crescimento de raízes e na nodulação das leguminosas, bem como em plantas mais tolerantes às condições climáticas e resistentes às pragas e ao acamamento.

O K possui alta redistribuição nos tecidos das plantas, portanto, os sintomas de deficiência surgem nas folhas mais velhas (MALAVOLTA et al., 1997). No estádio inicial da deficiência, aparecem manchas cloróticas, nos espaços entre as nervuras e espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (WILL, 1961; KAUL et al., 1968, 1970; ROCHA FILHO et al., 1978; DELL et al., 1995). No estádio mais avançado, a presença de clorose e necrose ocorrem até nas folhas mais jovens, enquanto as folhas velhas enrolam e secam (SILVEIRA, 2000).

A adubação potássica adequada pode minimizar o efeito negativo de deficiências hídricas, pelo fato do potássio exercer influência na abertura e fechamento dos estômatos nas folhas, mantendo, durante períodos de seca, mais água em seus tecidos em relação às plantas que não receberam potássio (NEIVA, 1977).

2.3 Reservas e produção de fertilizantes potássicos no mundo

O Brasil é um grande importador mundial de fertilizantes, devido à grande dimensão da produção agrícola brasileira, à carência do país no que se refere às principais matérias-primas e às características dos solos de possuírem baixas quantidades de macronutrientes como o K e P, o que caracteriza um cenário preocupante aliado à crescente demanda por adubos (DUARTE, 2012).

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos, o Brasil é o 4º maior consumidor mundial de nutrientes para a formulação de fertilizantes, representando 6,5% do consumo mundial, perdendo apenas para China, Índia e Estados Unidos (CIAMPAGLIA, 2016). Ocupa também o 3º lugar no consumo de fertilizante potássico, com 15%, e produz apenas 1% desse insumo consumido. Ainda importa 70% dos fertilizantes que utiliza na agricultura, o que causa alta dependência externa (CHANG, 2017).

O K está presente em numerosos minerais, a maioria com presença significativa do elemento na sua rede cristalina, como a silvita (KCl), silvinita ($KCl + NaCl$), carnalita ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), além dos sulfatos menos explorados como a kainita ($4KCl \cdot 4MgSO_4 \cdot 11H_2O$), langbeinita ($KMg_2(SO_4)_3$) e polihalita ($K_2MgCa_2(SO_4)4 \cdot 2H_2O$), (NASCIMENTO et al., 2008).

A maioria dos minerais apresenta teores relativamente altos de K em sua estrutura e são encontrados em quase todas as regiões do país (TÁVORA, 1982; NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). Entretanto, grande parte desses minerais são insolúveis e não são de fácil obtenção, como os silicatos ricos em potássio, exemplificados pelos feldspatos potássicos, pela muscovita e a leucita (MARTINS et al., 2008). Porém, para Yamada e Roberts (2005), por serem insolúveis em água e suas estruturas serem dificilmente rompidas por meios artificiais, esses não se constituem em importantes fontes desse nutriente.

Apesar da grande maioria dos minerais apresentarem K na sua composição, apenas uma pequena quantidade é de interesse econômico, os que são constituídos por cloreto ou sulfato, tais como a silvita e a carnalita, devido à alta solubilização em água e alta concentração de K, sendo os principais: o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio (K_2SO_4), o nitrato de potássio (KNO_3) e o sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2Mg_2(SO_4)_3$), (MONTE; NASCIMENTO et. al., 2008).

Sabe-se que aproximadamente 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante, sendo 90% apresentados na forma de KCl. O restante é consumido pela indústria química (LIMA et al., 2016).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral, o Canadá (28,3%), a Bielorrússia (12,4%) e a Rússia (17,9%) ocupam as três primeiras posições no ranking mundial das reservas de sais de potássio que, juntos, somam 58,6% do total de potássio fertilizante produzido no mundo (LIMA et al., 2016). O Brasil ocupa a 10^a colocação em termos de reservas e a 11^a posição em relação à produção mundial (LIMA et al., 2016).

Em virtude da pequena produção interna comparada à grande demanda pelo produto, o Brasil situa-se no contexto mundial como grande importador de fertilizante potássico, tendo como principais fornecedores o Canadá (26,6%), a Bielorrússia (25,6%), a Rússia (18,35%) e a Alemanha (12,86%), (LIMA et al., 2016).

No Brasil, as reservas oficiais de sais de potássio estão restritas aos estados de Sergipe e do Amazonas. Em Sergipe, nas regiões de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima, as reservas oficiais de silvinita (KCl + NaCl) totalizam 475,4 milhões de toneladas, com teor médio de 9,3% de K₂O equivalente. Desses, 65,8 milhões de toneladas de minério *in situ* (teor de 16,08% de K₂O), que correspondem a 10,6 milhões de toneladas de K₂O equivalente, representam a reserva lavrável em Taquari/Vassouras. Trabalhos de reavaliação de reservas de silvinita na região de Santa Rosa de Lima, situada 16 km a oeste de Taquari-Vassouras, dimensionaram reserva de aproximadamente 66,9 milhões de

toneladas de minério *in situ* (15,48 milhões de toneladas de K₂O equivalente), (LIMA et al., 2016).

Ainda em Sergipe são conhecidos importantes depósitos de carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O). As reservas totais de carnalita (medida, indicada e inferida), reavaliadas, com teor médio de 10,40% de KCl, alcançam cerca de 14,4 bilhões de toneladas. Encontra-se em fase de implantação, no Estado de Sergipe, projeto que visa o aproveitamento dessas reservas de carnalita por processo de dissolução. No Amazonas, nas localidades de Fazendinha e Arari, na região de Nova Olinda do Norte, as reservas oficiais de silvinita (medidas) são da ordem de 493,0 milhões de toneladas, com teor médio de 20,01 % de K₂O equivalente (LIMA et al., 2016).

O Complexo Mina/Usina de Taquari-Vassouras, em Sergipe, que vem sendo operado desde 1991 pela VALE Fertilizantes, possui produção de 492,3 mil toneladas de KCl, correspondendo a 311,0 mil toneladas de K₂O equivalente (LIMA et al., 2016).

2.4 Fontes tradicionais de K

O K tem sido, há muito tempo, considerado o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas (ZEHLER et al., 1986; MALAVOLTA et al., 1997). É um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, por isso a complementação com adubação potássica em solos deficientes desse nutriente é essencial para aumentar o rendimento das colheitas, além de melhorar a resistência a pragas e doenças (MALAVOLTA et al., 1997). As principais fontes potássicas minerais utilizadas na agricultura são KCl, K₂SO₄, K₂SO₄.MgSO₄⁻ e KNO₃.

Dentre todos os fertilizantes citados, o KCl corresponde a 90% da produção mundial, sendo o mais utilizado na agricultura (LIMA et al., 2016). O KCl é também o mais competitivo economicamente, devido ao menor custo por unidade de K (YAMADA; ROBERTS, 2005) e por conter alta concentração do nutriente, de 58 a 62% de K₂O solúvel em água. No entanto, 98% desse fertilizante utilizado no Brasil é importado (FARIAS, 2015), configurando uma forte dependência externa e vulnerabilidade do Brasil em relação às variações dos preços no mercado internacional, além da necessidade de negociações com um grupo restrito de países fornecedores de um insumo essencial à produção agrícola (RESENDE et al., 2006).

Além disso, outra desvantagem referente a essa fonte potássica é o alto índice salino, logo, o risco de causar danos às plantas ou à semente é maior em períodos de seca ou com

aplicação localizada. O índice salino é uma medida da tendência do adubo em aumentar a pressão osmótica da solução do solo comparada ao índice salino do NaNO_3 , cujo valor é igual a 100. No caso do KCl, o índice salino é de 115,0 (COELHO; VITTI et al., 1994). A alta concentração de sais dificulta a absorção de água pelas sementes e pelas radicelas, devido ao aumento da pressão osmótica externa às células (MARSCHNER, 1997).

O KCl, por também ser fonte de cloro, deve ser evitado no cultivo de algumas culturas que possuem sensibilidade quando submetidas a doses elevadas desse elemento, pois, pode ocasionar sintomas de clorose, necrose das folhas e queda da produção (SILVA et al., 2001). O abacaxi e fumo são exemplos de plantas sensíveis a essa fonte de potássio, sendo influenciadas no seu valor comercial e afetadas no tamanho do fruto, teor de açúcar e acidez do fruto; e nas folhas com incapacidade de queima e incandescência, respectivamente. Apresenta-se ainda, como restrição ao uso desse fertilizante, o fato de não ser aceito na agricultura orgânica devido à elevada solubilidade e presença do cloro (COSTA; CAMPANHOLA, 1997; MALAVOLTA et al., 2002).

As outras fontes potássicas utilizadas são os sulfatos e os nitratos, que apresentam menores índices salinos e reduzem os riscos de salinização e efeito deletério às culturas (GRANGEIRO et al., 2004). O sulfato de potássio apresenta de 50 a 52% de K_2O e 18% de S, solúveis em água (COSTA; CAMPANHOLA, 1997; MALAVOLTA et al., 2002) e possui como vantagens o fornecimento de S e o fato de ser aceito na agricultura orgânica. O sulfato duplo de K e Mg é composto por 22% de K_2O , 11% de Mg e 23% de S, solúveis em água (MALAVOLTA et al., 2002). O nitrato de potássio é constituído de 44% de K_2O e 13% de N e é recomendado para utilização de adubações em sistema de fertirrigação.

Sulfato e nitrato de potássio apresentam menores índices salinos, proporcionando pequeno efeito deletério nas culturas, porém apresentam como desvantagens alto valor comercial, sendo esse o grande motivo de serem pouco utilizados em relação ao KCl (YAMADA; ROBERTS, 2005).

2.5 Fontes alternativas de K para a agricultura

O Brasil é um dos principais produtores de alimentos no mundo, sendo também um dos maiores consumidores de fertilizantes (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). O país tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura (KINPARA, 2003), desfavorecendo a balança comercial brasileira. Ademais, Nascimento e Loureiro

(2004) afirmam que o aumento dos preços internacionais dos fertilizantes tende a agravar o déficit comercial brasileiro.

Nesse contexto, para suprir a demanda desse nutriente, as empresas brasileiras têm buscado fontes alternativas de fertilizantes potássicos, através de rochas trituradas ou moídas – processo denominado rochagem, com o intuito de diminuir a dependência da importação desse adubo. Pode-se definir rochagem, remineralização ou pó de rocha como termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor o perfil de nutrientes necessários a uma agricultura de alta produtividade, associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo seu uso inadequado, intensivo ou abusivo (MANCUSO, 2012). Esse processo consiste na adição de pó de rocha para aumentar a fertilidade dos solos ao longo do tempo, sem afetar o equilíbrio no meio ambiente (MELAMED et al., 2009).

O objetivo é obter o K com base em minerais contidos em rochas brasileiras que são beneficiadas até se obter um produto com maior concentração e ao mesmo tempo com melhor solubilidade em água. A utilização do pó de rocha para suprimento de K está sendo estudada, quanto ao seu potencial agronômico, em várias regiões do Brasil (MELAMED; GASPAR; MIEKELEY, 2007).

Além disso, matérias-primas que contenham não somente K, mas também Si, presente nas rochas potássicas, especialmente nas silicáticas, podem ser opções interessantes para a utilização como fertilizantes na agricultura brasileira. Salienta-se que o Si é um elemento benéfico a diversas culturas, especialmente gramíneas, e o aumento de sua disponibilidade para algumas espécies tem revelado, em alguns casos, incrementos significativos no crescimento e na produtividade, uma vez que esse nutriente pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, dentre outros e, especialmente, quando essas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza biótica ou abiótica (MA, 2004; ZHU et al., 2004; HATTORI et al., 2005; MA; YAMAJI, 2006; GUNES et al., 2007a; 2007b; 2008).

Principalmente os filossilicatos e tectossilicatos, são os minerais considerados como as fontes principais de K, pois contêm concentrações entre 50 e 150 g kg⁻¹, encontrados nas frações areia e silte. Dentro desses grupos estão os minerais primários (micas, feldspatos e feldspatoides) e minerais secundários (ilita, vermiculita, montmorilonita e nos argilominerais interestratificados) que, pelos processos de intemperismo, liberam o K (ERNANI, 2007).

Recentemente o Brasil começou a conhecer mais sobre a aplicação de pó de rocha para a recuperação, remineralização e manutenção da fertilidade do solo. A fertilização do solo improutivo gastando pouco, com a adição de pó de rocha, que muitas vezes é descartado em pedreiras e serrarias em todo o país, pode ser responsável por uma produção de qualidade e um solo rico em nutrientes por mais tempo (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009). Um exemplo disso é a parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Universidade de Brasília (UNB), a qual vem desenvolvendo pesquisas visando à identificação e a caracterização de rochas com o intuito de utilizá-las simplesmente moídas *in natura*, como fontes de K para uso agrícola (RESENDE et al., 2006).

Os pós de rocha apresentam como características a composição multielementar e a capacidade de solubilização lenta, que são apropriadas para a utilização em sistemas de produção alternativos e em condições altamente favoráveis à lixiviação de nutrientes, principalmente em solos tropicais degradados (VAN STRAATEN, 2006), com respostas positivas em culturas anuais, cultivos florestais e pastagens (LEONARDOS et al., 1987).

O pó de rocha possui solubilidade mais lenta que os fertilizantes comerciais, por isso se constitui em fonte de nutrientes para plantas cultivadas durante longos períodos (MELAHMED, 2009). Assim como constitui uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, devido ao baixo custo do processo de beneficiamento que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto (THEODORO et al., 2010). A liberação gradual dos nutrientes em uma velocidade compatível com a demanda das plantas diminui as perdas por lixiviação, evita a salinização e favorece uma ação de longo prazo do insumo aplicado (BORGES et al., 2010; MELAMED et al., 2009).

Deve-se considerar a mineralogia, fator extremamente importante na escolha de rochas para aplicação direta ao solo, uma vez que é indicador do potencial de solubilidade dos minerais e da capacidade de liberação de K (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). Na literatura existem diversos trabalhos que avaliam o potencial agronômico das diversas rochas e minerais quanto ao fornecimento de K e nos quais se avaliam rochas e minerais como carnalita, biotita, leucita, sienito nefelínico, micaxisto, feldspato potássico, cloritaxisto, muscovita e verdete (LOPES et al. 1972; DUTRA, 1980; FAQUIN, 1982; EICHLER; LOPES, 1983; LEITE, 1985). Assim, as rochas e minerais são aplicados puros ou em misturas, *in natura*, ou após sofrerem algum processo químico (acidificação) ou térmico, com o objetivo de aumentar a reatividade e solubilização desses materiais.

Estudo realizado por Resende et al. (2006) comprovou que a solubilidade das rochas testadas é limitada, não havendo pronta liberação de todo o K nelas contido. Desde que não venha a comprometer o desenvolvimento das culturas, uma disponibilização mais lenta e gradual de K é desejável, uma vez que pode contribuir para a otimização do aproveitamento do nutriente pelas plantas e reduzir eventuais perdas por lixiviação. Ainda verificou-se que, embora o KCl tenha proporcionado maior disponibilização de K no solo e absorção pelas plantas após 30 dias de incubação dos tratamentos, a produção de matéria seca da parte aérea não diferiu significativamente em relação aos tratamentos em que se empregou uma das rochas brecha alcalina, biotita xisto e ultramáfica alcalina como fonte de K, que forneceram também outros nutrientes na adubação. Os efeitos desses tratamentos no crescimento das culturas e na absorção de K e, consequentemente, a eficiência das fontes testadas, foram influenciados pela liberação de outros nutrientes constituintes das rochas.

A eficiência agronômica relativa das fontes, calculada com base na quantidade de K acumulada na parte aérea e considerando o KCl como referência, demonstra que os melhores tratamentos para o milho e a soja foram aqueles envolvendo a aplicação da biotita e, principalmente, da ultramáfica nas maiores doses de 100 e 150 mg kg⁻¹ de K (RESENDE et al., 2006). Resultados similares foram obtidos por Oliveira et al. (2006), que encontraram maior eficiência agronômica para as rochas ultramáfica e biotita em cultivos sucessivos de girassol e soja num solo argiloso do Paraná. Os autores observaram ainda que, na dose de 300 mg kg⁻¹ de K₂O, a ultramáfica foi superior ao KCl.

2.6 Siltito glauconítico

O siltito glauconítico é uma rocha de coloração verde, cuja fórmula estrutural é K_{0,35-0,90}(Al_{0,01-0,87}, Fe_{0,71-1,56}, Mg_{0,34-0,70})(Si_{3,76-3,99}, Al_{0,01-0,24})O₁₀(OH)₂ (HENDRICKS; ROSSI, 1941). Possui mineralogia composta por quartzo, albita, feldspato potássico, glauconita, clorita, mica branca, magnetita, caulinita e opacos, com 7 a 14% de K₂O (PIZA et al., 2009), podendo conter hornblenda, magnetita, augita, zircão, epidoto, turmalina, granada e outros minerais detriticos (TEDROW, 2002). Além de K, é fonte de Ca, Mg, Fe, Si e outros micronutrientes (HECKMAN; TEDROW, 2004). De acordo com Piza et al. (2009), a coloração verde da rocha é dada pela presença de Fe.

Essa rocha é encontrada predominantemente na região do Alto-Paranaíba (estado de Minas Gerais), nas imediações dos municípios de Abaeté, Carmo do Paranaíba, Cedro do Abaeté, Dores do Indaiá, Estrela do Indaiá, Matutina, Papagaios, Rio Paranaíba, São

Gotardo, Serra da Saudade e Tiros. As áreas de ocorrência estão a aproximadamente 270 km de Belo Horizonte, percorrendo-se 185 km pela BR-262 e 85 km pela rodovia MG-235, até a cidade de São Gotardo. O acesso às outras localidades na área de influência do jazimento do siltito glauconítico é feito pela rodovia BR-354 e por estradas não pavimentadas.

Geologicamente, as jazidas encontram-se no Cráton do São Francisco, no Grupo Bambuí, na Formação Serra da Saudade. A formação é constituída por folhelhos intercalados com siltito glauconítico, em alternância centimétrica a métrica, com alguns níveis de fosforita no topo (PIZA et al., 2009).

Os minerais potássicos presentes no siltito glauconítico apresentam baixa solubilidade em água, o que torna necessário o beneficiamento da rocha para a liberação do potássio (ORIOLI JUNIOR; COUTINHO, 2009; SILVA et al., 2012a). Os ensaios de liberação de K₂O em solução ácida dessa rocha mostraram que somente uma parcela desse nutriente encontra-se na forma solúvel (SILVA et al., 2012a).

Chaves et al. (1971), Pereira (1987), Nascimento e Lapido Loureiro (2004), apontam que rochas ricas em silicatos de potássio podem ser utilizadas na produção de fertilizantes, devido ao alto teor de K₂O.

2.7 Siltito glauconítico calcinado

Termofertilizantes são produtos derivados de processos industriais de rochas que apresentam minerais de baixa solubilidade. O meio mais eficaz de aumentar a reatividade de rochas potássicas com pouca solubilização é a introdução de uma fonte externa, capaz de destruir ou alterar a estrutura cristalina do mineral (LEITE, 1985). Os processos de aumentar a solubilidade das rochas subdividem-se em térmicos, baseados na fusão dos minerais; químicos, nos quais o beneficiamento é feito a partir do ataque ácido (SANTOS, 1984); e hidrotermais, simulação da alteração natural das rochas por fluidos salinos a altas temperaturas, promovendo o enriquecimento de K (VIVELA; SOUSA, 1986).

O siltito glauconítico calcinado é obtido por meio da calcinação do siltito glauconítico, rocha *in natura*. A calcinação é a adição de CaCO₃ ao silicato com posterior aquecimento para acarretar a desagregação dos minerais do silicato e liberação do potássio presente na rocha, sendo o produto obtido uma fonte mais solúvel que a matéria-prima. (FRAYHA, 1950; HOROWITZ et al., 1978). Silva et al. (2012a) mostraram que há um desaparecimento da glauconita e a formação de um material amorfo, quartzo, espinélio

(MgAl₂O₄), anortita (CaAl₂Si₂O₈), silicato de potássio e cálcio (K₄CaSi₃O₉) e silicato de cálcio hidratado (CaSiO_{4.50H₂O}). Duarte (2012) observou que o siltito glauconítico calcinado apresenta maior índice de eficiência agronômica que o KCl, liberando parte do K, Ca, Mg e Si no primeiro cultivo e com efeito residual no segundo cultivo, além de corrigir o pH do solo.

A produção do fertilizante constitui na mistura da rocha potássica com o calcário em proporção pré-definida de 1:5 (CaCO₃ / siltito glauconítico), seguida por moagem e calcinação em forno rotativo numa temperatura aproximada de 1000°C, por um período de 1 hora, conforme informação da Verde Fertilizantes.

Os estudos pioneiros relacionados ao processo térmico para solubilização de rochas potássicas foram iniciados nas décadas de 1960 e 1970, motivados, principalmente, por linhas de pesquisas voltadas para a produção de siltito glauconítico calcinado, processos de tratamento de rochas com teores mais elevados de K₂O, que apresentam características mais adequadas aos solos tropicais brasileiros. Além da relativa simplicidade operacional e a possibilidade de se misturar outros materiais, resultando em um produto mais solúvel e com características agronômicas desejáveis. Em alguns trabalhos pioneiros, foram encontradas respostas positivas na mistura de calcário com rochas fonte de potássio (EICHLER; LOPES, 1983; LEITE, 1985). Por outro lado, é preciso avaliar o valor agronômico dos vários processos e rotas de obtenção dessas fontes alternativas.

Existem na literatura diversos estudos sobre a obtenção de K por meio de rochas potássicas submetidas ao aquecimento. Leite (1985) pesquisou a disponibilidade de K do siltito glauconítico de Abaeté (SG) misturado com calcário magnesiano (CM) e submetido a tratamento térmico. O autor testou seis diferentes proporções da mistura SG:CM (0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de CM) e três temperaturas de calcinação (sem calcinação, calcinação a 1.100 °C e fusão). A temperatura de fusão proporcionou maior solubilidade do K do SG para as misturas com até 40% de CM, porém, para a mistura com 50% SG e 50% CM, a temperatura de calcinação de 1.100 °C foi a que proporcionou maior solubilidade do K contido no siltito glauconítico.

Ainda Leite (1985) testou misturas de siltito glauconítico, fosfatos e calcário magnesiano em vasos com solos sob vegetação de cerrado com ou sem tratamento térmico. Concluiu que a fusão é promissora quando aplicada em misturas com maiores teores de calcário, resultando em um aumento no poder corretivo. O produto final é uma fonte de K, Ca, P e Mg para culturas anuais em solos sob cerrado.

Silva et al. (2012b), mostraram que na aplicação de siltito glauconítico *in natura* 0,4% do total de K₂O ficou disponível após 4 horas de extração em solução de ácido cítrico 1,0 mol/L. Quando calcinado a 1200°C com a adição de CaO nas quantidades de 10, 20 e 30%, e 6,4; 7,7 e 4,4% de K₂O presente na amostra solubiliza-se em solução de ácido cítrico 1,0 mol/L. Esses resultados reforçam o potencial para a utilização como fertilizantes em culturas que demandem K a longo prazo.

O siltito glauconítico calcinado pode complementar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, pois, além do K, pode fornecer Ca, Mg e Si. Duarte (2012) observou que 60 dias após a aplicação de 200 e 400 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl, siltito glauconítico calcinado e siltito glauconítico, em solo arenoso e argiloso, os valores de K, Ca, Mg e Si, assim como do pH, foram maiores no tratamento que recebeu o siltito glauconítico calcinado do que nos tratamentos com KCl e o siltito glauconítico. As concentrações de Ca e Mg no solo que recebeu o siltito glauconítico calcinado também proporcionaram a correção química do solo. Os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe no solo são corrigidos pela reação de troca com os íons Ca⁺² e Mg⁺² na superfície das partículas de argila do solo (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1981; VITTI et al., 2008).

Dessa forma, a baixa solubilidade do siltito glauconítico calcinado em água pode proporcionar uma lenta liberação do K no solo ao longo do tempo, ou seja, o siltito glauconítico calcinado pode apresentar efeito residual. O efeito da dose de 400 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de siltito glauconítico calcinado sobre o acúmulo de potássio na parte aérea do milheto, obtido no segundo cultivo, foi superior aos tratamentos com 400 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e siltito glauconítico (DUARTE, 2012). Esse resultado indicou que o K presente no siltito glauconítico calcinado pode ser liberado ao longo do tempo.

Eichler e Lopes (1983) conduziram um experimento em casa de vegetação para verificar os efeitos da mistura, em diferentes proporções, do siltito glauconítico de Abaeté e calcário, submetidas a tratamento térmico, na solubilização do K e produção de massa seca da parte aérea do milho, em comparação ao KCl. O experimento foi conduzido por três cultivos sucessivos em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso com baixo teor de K. Constataram que a aplicação da mistura do siltito glauconítico de Abaeté e calcário, em partes iguais, submetida a uma temperatura de calcinação de 1100°C proporcionou elevação dos teores de K no solo, sendo, inclusive, superior ao tratamento com KCl, mostrando um maior efeito residual, o que promoveu uma produção de massa seca equivalente ao KCl no primeiro cultivo e maior nos cultivos subsequentes. O acúmulo de K pelas plantas, por sua vez, foi muito maior no primeiro cultivo no tratamento com

KCl, sem, contudo, afetar a produção de massa seca, sugerindo um consumo de luxo do nutriente a partir dessa fonte.

Quanto às vantagens do uso do siltito glauconítico calcinado em relação ao KCl se deve às pesquisas que mostram resultado como Duarte (2012), que verificou que o siltito glauconítico calcinado, além de disponibilizar potássio para o solo, também fornece Si, Ca e Mg advindos da adição do calcário, bem como aumenta o pH dos solos.

Leite (1985) estudou que a mistura do siltito glauconítico de Abaté com o fosfato de Araxá, em partes iguais com adição de 30 e 40% de calcário magnesiano e submetida ao tratamento térmico de fusão, apresentou poder corretivo do solo. Como o siltito glauconítico calcinado disponibiliza outros nutrientes além do potássio, em solos pobres em Ca, Mg e Si, torna-se mais interessante a utilização dessa fonte do que a de KCl.

Além disso, sabe-se que o efeito salino é reduzido ao se utilizar fertilizantes provenientes de tratamento térmico de rochas potássicas (NEPTUNE et al., 1980). A absorção de água e de nutrientes pelas plantas é prejudicada com uso de altas doses de fertilizantes potássicos que apresentam alto índice salino, como o KCl, pois esses ocasionam o aumento da salinidade no sulco de semeadura ou na região da rizosfera (ECHER et al., 2009).

O siltito glauconítico calcinado apresenta menores perdas por lixiviação ou escorrimento superficial e possui maior efeito residual no solo, uma vez que libera gradativamente o K, diferentemente do que ocorre com fontes solúveis. Para evitar perdas de K por lixiviação deve-se utilizar fontes menos solúveis ou portadores de ânions pouco móveis no solo (SANZONOWIC; MIELNICZUK, 1985).

Para o fertilizante KCl, além do potássio ser acompanhado pelo cloro, ao contrário do siltito glauconítico calcinado, considera-se que a mobilidade no solo do ânion Cl⁻ é maior que a do K (SANTOS et al., 2006), o que resulta em absorção com rapidez pelas raízes das plantas. Lavouras adubadas com altas doses de KCl levam a um acúmulo de Cl nas folhas das plantas, afetando processos fisiológicos importantes, (ECHER et al., 2009).

2.8 Adubação potássica

A maioria das pastagens de regiões tropicais encontra-se sob solos de cerrados, nas áreas de menor fertilidade, o que resulta no desenvolvimento lento e abaixo do potencial das gramíneas forrageiras quando comparados à solos bem manejados. Para alcançar produtividades desejáveis é necessária a aplicação de fertilizantes, baseando-se nas doses

recomendáveis de nutrientes a serem adicionadas ao solo e determinando o nível crítico de um nutriente no solo e na planta, bem como conhecer as variáveis envolvidas no processo: características do solo, teor de argila, exigências nutricionais das espécies forrageiras, qualidade e manuseio das sementes, preparo do solo, época e métodos de plantio e manejo de formação (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1998; FREIRE et al., 1979; NOVAIS; KAMPRATH, 1979).

Existem graus diferenciados de adaptação das plantas às condições adversas do solo ou exigências diferentes quanto à fertilidade do solo (EMBRAPA, 1998). Para que se possa fazer uso eficiente da pastagem, em sistemas intensivos de produção, há necessidade de teores adequados de nutrientes na forragem (HOPKINS et al., 1994).

A utilização de práticas de manejo que melhoram a fertilidade do solo surge como uma alternativa viável para assegurar a sustentabilidade das pastagens cultivadas, conciliando produtividade, qualidade e persistência da produção da forragem (MAGALHÃES et al., 2011). Devido aos solos de cerrado serem altamente intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade e reservas de nutrientes, e em função da alta extração de potássio pela maioria das culturas é de grande importância realizar a adubação potássica nesses solos tropicais (SILVA, 1982).

Deve ser considerado no manejo da adubação doses, modos de aplicação (no sulco, a lanço e parcelada) e fonte, devido ao alto potencial de perdas por lixiviação que alguns solos podem apresentar. A aplicação no plantio pode ser recomendada no sulco, principalmente em solos com baixa fertilidade, o que torna o manejo mais viável economicamente ou a lanço. No entanto, deve-se evitar a aplicação de altas doses de potássio no sulco de plantio, devido ao efeito salino na região da semente e para diminuir as perdas por lixiviação, principalmente nos solos arenosos, com baixa CTC. Levando isso em consideração, dependendo, se a fonte a ser utilizada for solúvel, recomenda-se parcelar a adubação potássica, realizando-a em menores doses no plantio e o restante, posteriormente em cobertura. (FAO, 1998; ISHERWOOD 1998; JOHNSTON, 2000).

Segundo Werner (1984), nas pastagens, as adubações de manutenção com o K, efetuadas anualmente, são suficientes para o bom crescimento das plantas, no entanto para a produção de forragens para corte, fenação ou ensilagem, há necessidade de adubações de reposição, pois o potássio é extraído em quantidades elevadas. De acordo com Lopes (1983), a necessidade de K é reflexo do conteúdo do nutriente no solo, sendo comum o aparecimento de deficiência em plantas cultivadas em solos com níveis inferiores a 1,5 mmol dm⁻³.

Mesa et al. (1988) acrescentaram que o K exerce grande influência no metabolismo e é necessário que esteja presente em quantidade adequada, principalmente quando a exploração das pastagens acontece de forma intensiva.

Foi verificado por Monteiro et al. (1995) e Andrade et al. (1996) que a aplicação de doses de K implicou no aumento na produção de matéria seca (MS) de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria ruziziensis*. Mattos e Monteiro (1998), avaliando a *Brachiaria brizantha* cultivar Marandú, observaram que a concentração de K nas folhas não-expandidas, nas lâminas de folhas novas e velhas, nos colmos e bainhas aumentou com as doses de K na solução nutritiva.

Portanto, a adubação com K realizada de maneira adequada é fundamental, já que manejos com quantidade insuficiente de nutrientes podem levar ao esgotamento das reservas do solo (ROSOLEM et al., 1993; SINGH et al., 2002; ÖBORN et al., 2005), e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas (ROSOLEM et al., 2006, 2010), mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (ERNANI et al., 2007; WERLE et al., 2008).

2.9 Gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*)

O gênero *Urochloa* apresenta plantas herbáceas, eretas ou prostradas, anuais ou perenes, rizomatosas ou não, comumente emitindo raízes adventícias nos nós em contato com o solo. A bainha foliar é glabra ou pilosa, normalmente excedendo a dimensão dos internódios. A lígula é branca e hialina, formada por um curto anel membranáceo, apresenta lâmina foliar geralmente bem desenvolvida, lanceolada, de ápice acuminado, sendo glabra ou pilosa. A inflorescência é do tipo paniculiforme, geralmente formada por racemos unilaterais, nos quais se inserem as espiguetas sésseis ou pediceladas; a ráquis é triangular, angulada ou alada, glabra ou ciliada nas bordas; as espiguetas são solitárias ou aos pares, com a primeira gluma voltada em direção da ráquis da eflorescência, caráter que identifica prontamente o gênero (LEITÃO FILHO, 1977).

Dentre as gramíneas cultivadas, as do gênero *Urochloa* têm se destacado por sua grande adaptação às mais variadas condições de solo e de clima, apresentando elevado potencial de produção de forragem com bom valor nutritivo e persistência em períodos de estiagem (MAGALHÃES TELES et al., 2011; RODRIGUES JÚNIOR et al., 2015). Por serem pouco exigentes em condições edafoclimáticas são predominantes nos solos sob

vegetação de cerrado (BRAZ et al., 2004), que são considerados naturalmente ácidos, de baixa fertilidade e baixo teor de matéria orgânica.

As pastagens representam o suporte alimentar essencial na criação de gado, tanto de corte quanto de leite (COSTA et al., 2006). O gênero *Urochloa* é o mais plantado no Brasil e usado nas fases de cria, recria e engorda dos animais. O grande interesse dos pecuaristas pelas espécies de braquiárias é devido ao fato de possuir boa adaptabilidade, facilidade de estabelecimento, persistência e bom valor nutritivo, serem plantas de alta produção de matéria seca, além de apresentarem boa resistência às doenças e bom crescimento durante a maior parte do ano, incluindo o período seco (COSTA et al., 2005).

Entretanto, a maioria das pastagens encontra-se na região de Cerrados, nos locais de menor fertilidade e, como consequência, em processo de degradação. Aproximadamente 80% dessa pastagem, coberta com *Urochloa*, é referente às áreas degradadas (PERON; EVANGELHISTA, 2003).

Nesse contexto, o manejo adequado da fertilidade de solos cultivados sob pastagens de *Urochloa* é uma prática fundamental para a restauração das regiões degradadas. O suprimento de nutrientes constitui-se em importante fator para a produção da forragem, tendo em vista que a disponibilidade desses exerce grande influência na nutrição da planta, refletindo na qualidade nutricional dela (BONFIM-DA-SILVA; MONTEIRO, 2006).

Considerando isso, é fundamental ter o fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas e proporções equilibradas às plantas, de forma que essas possam expressar seu potencial de produção (PRIMAVESI et al., 2006). Em condições de baixa disponibilidade de nutrientes as principais características agronômicas desejáveis são afetadas, além de se produzir forragens de baixo valor nutritivo.

Para obter uma adubação eficiente deve-se considerar a quantidade adequada de nutrientes requeridos pela forrageira e a capacidade que essa possui de extraí-los do solo (LUZ et al., 2001). Dentre os elementos essenciais, o potássio é um dos mais extraídos por essa gramínea (PRIMAVESI et al., 2006; CARVALHO et al., 2006; COSTA et al., 2008) e está entre os que mais contribuem para aumentar a produtividade das pastagens. Malavolta (1980) relatou valores de K, extraídos pela parte aérea, de 200 a 500 kg ha⁻¹. Ademais, várias pesquisas têm mostrado aumento na concentração de nutrientes em gramíneas forrageiras com incremento das doses de K (LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO, 2006).

Portanto, um correto manejo do solo com o uso de fertilizantes potássicos e o conhecimento de fontes de nutrientes são fatores importantes para a recuperação de pastagens degradadas, aumento na produtividade e obtenção de forrageiras de qualidade.

2.10 *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*)

As áreas de cerrado no Brasil ocupam aproximadamente 203 milhões de hectares, abrangendo a região Centro-Oeste, parte da Sudeste, do Norte e do Nordeste do Brasil (ANDRADE et al., 2016), e têm na pecuária uma de suas principais atividades. A pastagem cultivada com gramíneas do gênero *Urochloa* representa 53 milhões de hectares da área desse bioma (ANDRADE et al., 2016), sendo 85% das pastagens cultivadas referentes somente a *Urochloa* e desses 70% são formadas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, predominante em parte do Sudeste, do Norte e do Nordeste (SANTOS FILHO, 1996; SCHUNKE, 2001; KLUTHCOUSKI et al., 2003; FRANÇA, 2005; HEINRICHS et al., 2012).

A *Urochloa brizantha* cv. Marandú, popularmente conhecida como capim braquiarão ou brizantão, é uma forrageira perene, que exige solos de média a alta fertilidade e possui resposta positiva à adubação com elevada produtividade quando devidamente adubada e manejada (ANDRADE, 2003; MONTEIRO et al., 1995).

É uma planta de porte vigoroso, com crescimento rasteiro e ereto que pode atingir até 2,5 metros de altura (FONSECA et al., 2010). Além disso, apresenta hábito de crescimento em touceira, boa capacidade de rebrota, tolerância à seca, aceitabilidade pelos animais, média a alta resistência à cigarrinha das pastagens, sendo grande produtora de massa verde e de bom valor nutritivo (TEODORO, 2007).

Quanto à produção de matéria seca, trabalhos de pesquisa mostram que varia de 5 a 13 toneladas por hectare, tendo a capacidade de atingir 20 toneladas quando é realizada a adubação (SILVA et al., 2005; CÔRREA et al., 2002; NUNES, 1984). No entanto, as variações climáticas promovem alterações na produção e na composição da forragem. Estações chuvosas propiciam maior produção de matéria seca por hectare e forragem com melhor valor nutritivo (TEODORO, 2007).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. M. E. **Produção de forragem e valor alimentício de capim-marandú submetido a regimes de lotação contínua por bovinos de corte.** 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ANDRADE, J. B. et al. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 31, n. 9, p. 617- 620, 1996.
- ANDRADE, R. G. et al. Geotecnologia: recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis (FGV)**, [S.l.], v. 36, p. 30-33, 2016.
- BONFIM-DA-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S.l.], v. 35, n. 4, p. 1289-1297, 2006.
- BORGES, F. B. et al. Efeito do uso de MAP revestido com polímeros de liberação gradual em teores de nitrogênio e fósforo foliares na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.
- BRAZ, A. J. B. P. et al. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 83-87, 2004.
- CAKMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Potássio na agricultura brasileira, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 2005, cap. 10, p. 261-279.
- CALONEGO, J.; FOLONI, J. S. S.; ROSENBLUM, C. A. Potassium leaching from plant cover straw at different senescence stages after chemical desiccation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 29, p. 99-108, 2005.
- CARVALHO, F. G. et al. Produção de matéria seca e concentração de macronutrientes em *Brachiaria decumbens* sob diferentes sistemas de manejo na zona da mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 101-106, 2006.
- CHANG, K. M. **Gestão ambiental na indústria de fertilizantes:** diagnóstico inicial dos resíduos. 2007. 36 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Curso de Graduação em Engenharia Química, Uberlândia, 2017.
- CHAVES, A. G.; HEINECK, A.; TAVARES, W. D. P. Mapa Geológico – **Folha de Vila Funchal** – Escala 1:50.000. Belo Horizonte, Projeto Fosfato Cedro de Abaté, 1971.

CIAMPAGLIA, T.; GOTTSFRIDT, G. P.; FERNANDES, J. A. As importações de adubos e fertilizantes pelo porto de santos para desenvolvimento das cadeias produtivas. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE GESTÃO PORTUÁRIA, 1., 2017, Santos. **Anais...** Santos (SP): FATEC BS, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/ENCIGESP/51916-AS--IMPORTACOES-DE-ADUBOS-E-FERTILIZANTES-PELO-PORTO-DE-SANTOS-PARA-DESENVOLVIMENTO-DAS-CADEIAS-PRODUTIVAS>>. Acesso em: 18 maio 2018.

COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação:** aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994, p. 201-227.

CÔRREA, L. A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A. C. et al. Produção de matéria seca de capim-marandú (*Brachiaria brizantha*) em resposta a duas fontes de adubo nitrogenado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002.

COSTA, K. A. P. et al. Extração de macronutrientes pela fitomassa do capim-xaraés em função de doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 1162-1166, 2008.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V. **Adubação nitrogenada para pastagens do gênero Brachiaria em solos do Cerrado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 60 p.

COSTA, K. A. P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I. P. de; CUSTÓDIO, D. P.; SILVA, D. C. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 3, p. 187-193, jul./set. 2005.

COSTA, M. B. B.; CAMPANHOLA, C. **A agricultura alternativa no Estado de São Paulo.** Jaguariúna: Embrapa - CNPMA, 1997. 63 p. (Documentos, 7).

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts.** Camberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995.

DUARTE, I. D. **Termopotássio:** fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia, 2012.

DUTRA, L. G. **Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fontes de nutrientes para o milho (*Zea mays L.*) em casa de vegetação.** 1980. 83 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980.

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.

<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4Sup1p1135>

EICHLLER, V.; LOPES, A. S. Disponibilidade do potássio do Termo-Potássio de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, [S.l.], v. 7, p. 6-146, 1983.

ELKHATIB, E. A; HERN, J. L. Kinetics of phosphorus desorption from Appalachian soils. **Soil Science**, v. 145, p. 222-229, 1988.

<https://doi.org/10.1097/00010694-198803000-00010>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Calagem e Adubação para pastagens na região do Cerrado**. Planaltina, 1998 (Circular Técnica, 37).

ERNANI, P. R., ALMEIDA, J. A., SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONTES, L. R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 9. 1017 p.

FAGUNDES, L. J. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S.l.], v. 35, n. 1, p. 21-29, 2006a.

FAGUNDES, L. J. et al. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S.l.], v. 35, n. 1, p. 30-37, 2006b.

FAQUIN, V. **Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (*Zea mays* L.), em casa de vegetação**. 1982. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1982.

FARIAS, P. I. V. **Aspectos técnicos e econômicos da indústria de fertilizantes NPK no Brasil**. 2015. 172 p. (Dissertação Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas forrageiras**. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2010. 537 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Guide to efficient plant nutrition management**. Rome: FAO, 1998.

FRANÇA, L. V. **Viabilidade de produção de sementes de *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu em Cabeceiras - GO**. Brasília: UPIS, 2005. 35 p. (Boletim técnico).

FRAYA, R. Rochas potássicas: possibilidades de aproveitamento para a indústria de adubos. **Min. Metal.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 87, p. 85-97, 1950.

FREIRE, F. M.; NOVAIS, R. F., BRAGA, J. M. et al. Adubação fosfatada para cultura da soja (*Glicine max* (L) Merrill) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extractores químicos e no "fator capacidade". **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 105-111, 1979.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, [S.l.], v. 28, p. 579-585, 2008.

GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Exportação de nutrientes pelos frutos de melancia em função de épocas de cultivo, fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p.740-743, 2004.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000400014>

GUNES, A. et al. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 164, n. 6, p. 807-811, 2007a.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.07.011>

GUNES, A. et al. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, London, v. 2, n. 2, p. 105-113, 2007b.
<https://doi.org/10.1080/17429140701529399>

GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, London, v. 39, n. 13, p. 1885-1903, 2008.
<https://doi.org/10.1080/00103620802134651>

HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, Tokyo, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>

HEINRICHS, R. et al. Doses and sources of nitrogen fertilizer and their effects on soil chemical properties and forage yield of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. **Semina: Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1747-1756, 2012.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1745>

HOPIKINS, A.; ADAMSON, A. H.; BOWLING, P. J. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen: 2. Effects on concentrations of Ca, Mg, K, Na, S, P, Mn, Zn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of sites. **Grass Forage Science**, v. 49, p. 9-20, 1994.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1994.tb01971.x>

HOROWITZ, A. et al. Produção de adubos de solubilidade controlada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 144-157, 1978.

ISHERWOOD, K. F. **Fertilizer use and the environment**. Paris: IFA/UNEP, 1998.

JOHNSTON, A. E. **The efficient use of plant nutrients in agriculture**. Paris: IFA, 2000.

KAHN, H.; TASSINARI, M. N.; ANTONIASSI, J. L. **Estudo de caracterização mineralógica em amostra de verdete**. [S.l.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de

Caracterização Tecnológica, 2011. (Relatório interno – Verde Fertilizantes Ltda., maio 2011).

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 31, p. 1003-1010, 2007.

KAUL, O. N.; SRIVASTAVA, P. B. L.; TANDON, V. N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *E. grandis* seedlings. **Indian Forester**, [S.l.], v. 94, n. 11, p. 831-834, 1968.

KAUL, O. N.; SRIVASTAVA, P. B. L.; NEGI, J. D. S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. **Indian Forester**, [S.l.], v. 96, n. 10, p. 787-90, 1970.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27 p. (Documentos, 100).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, F. L.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA arroz e feijão, 2003. 570 p.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100013>

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V. Prefácio. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes**: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/Petrobrás, 2009, p. 13-20.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes**: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/Petrobrás, 2009. p. 81-132.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio. Breve síntese conceitual. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes**: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT, 2009. p. 149-165.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 829-837, 2006.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500009>

LEITÃO FILHO, H. de F. **Espécies do gênero *Brachiária Griseb* nativas exóticas cultivadas no estado de São Paulo.** 22. ed. Campinas: CATI, 1977. 27 p. (Boletim Técnico, 1977).

LEITE, P. C. **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo.** 1985. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? **Chemical Geology**, v. 60, p. 361-370, 1987.

[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4)

LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. Estratigrafia do grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático do Cedro do Abaté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 204-215, 2007.

<https://doi.org/10.25249/0375-7536.200737S4204215>

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, M. Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças. **Boletim informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”**, [S.I.], n. 87, p. 8-12, 1999.

LIMA, T. M. et al. **Sumário Mineral**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, v. 35, 2016. 135 p.

LOPES, A. S. et al. Contribuição ao estudo da rocha potássica Termo-Potássio de Abaeté (Glauconita) para fins agrícolas. **Agros**, [S.I.], v. 2, p. 32-42, 1972.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedade e manejo. Piracicaba, SP: Instituto de Potassa e Fosfato. Instituto Internacional de Potassa, 1983. 162 p.

LUZ, P. H. C. et al. Calagem e adubação no manejo intensivo do pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: Temas em Evidência, 2., 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2001. v. 2, p. 27-110.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>

MAGALHÃES TELES et al. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. MG-4 sob efeito de adubação com NPK. **Acta Scietiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 137-143, 2011.

MALAVOLTA, E. **Corretivos cárnicos, magnesianos e cálcio-magnesianos**. In: MALAVOLTA, E. (Ed). Manual de química agrícola: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981, Cap. 5, p. 232-245.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. p. 251.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e Adubações**. São Paulo: Nobel, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: nutrição de plantas e fertilidade do solo. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MANCUSO, M. A. C. **Fontes e doses de potássio na cultura do café (*Coffea arábica* L.)**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MARTIN, H. W. & SPARKS, D. L. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. **Communications Soil Science Plant Analysis**, [S.l.], v. 16, p. 133-162, 1985.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Ed). **Rochas e minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 205-221.

MATTOS, W. T.; MONTEIRO, F. A. Respostas de *Brachiaria brizantha* a doses de potássio. **Scientia Agrícola**, [S.l.], v. 55, n. 3, p. 428-437, 1998.

MCLEAN, E. D.; WATSON, M. E. Soil measurement of plant available potassium. In: MUNSON, R. D. **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985, p. 277-308.

MELAMED, R.; GASPAR, J.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. 24 p. (Série Estudos e Documentos. Versão Provisória, SED-72).

MELAMED, R.; GASPAR, J.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In: LAPIDO LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT, 2009. p. 385-395.

MELAMED, R. Implicações das interações físico-químicas no manejo de fertilizantes para sistemas de produção agrícola em solos tropicais. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e**

sustentabilidade. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT, 2009. p. 139-147.

MESA, A. R. et al. Determinacion de los niveles criticos de N, P y K, rendimiento de materia seca y composicion quimica en *Andropogon gayanus* cv. CIAT-621. **Pastos y Forrage**, [S.I.], v.11, n. 3, p. 235-241, 1988.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 281-298.

MIELNICKZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: Experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 289-303.

MONTEIRO, F. A. et al. Adubação potássica em leguminosas e em capim-colonião adubado com níveis crescentes de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, n. 1, p. 27-48, 1980.

MONTEIRO, F. A. et al. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, [S.I.], v. 52, n. 1, p. 135-141, 1995.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [S.I.], v. 15, p. 37-42, 1991.

NAHASS, S.; SEVERINO, J. Calcário Agrícola no Brasil. In: LAPIDO LOUREIRO, F. E.; MELAHMED, R. & FIGUEIREDO NETO, J. (Coords.). **Fertilizantes Agroindustriais e Sustentabilidade**. CETEM/MCT, 2009. p. 645.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade**: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66 p. (Série Estudos e Documentos n. 61).

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Agrominerais – Potássio. In: LUZ, Adão B.; LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008. cap. 8.

NEIVA, L. C. S. **Influência do potássio sobre a economia de água de quatro cultivares de arroz submetidos a déficit hídrico**. 1977. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

NEPTUNE, A. M. L. et al. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, 1980, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, v. 27, p. 979-989, 1980.

<https://doi.org/10.1590/S0071-12761980000200025>

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007. 101 p.

NOVAIS, R. F.; KAMPRATH, E. J. Parâmetros das isotermas de adsorção do fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 37-41, 1979.

NUNES, S. G., BOOCK, A.; PENTEADO, M. I. O. et al. **Brachiaria brizantha cv. Marandú**. Campo Grande: EMBRAPA – CNPGC, 1984. 31 p. (EMBRAPA – CNPGC, Documentos, 21).

ÖBORN, I.; ANDRIST-RANGEL, Y.; ASKEGAARD, M.; GRANT, C. A.; WATSON, C. A.; EDWARDS, A. C. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. **Soil Use and Management**, [S.l.], v. 2, p. 102-112, 2005.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SALINET, L. H. Adubação potássica residual com rochas silicáticas para a cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 27. Bonito. Fertbio 2006. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. (CD-rom). (Documentos, 82).

ORIOLI JUNIOR, V.; COUTINHO, E. L. M. Effectiveness of fused magnesium potassium phosphate for Marandú grass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1855-1862, 2009.

PEREIRA, S. C. C. **Caracterização tecnológica do Verdete de Cedro do Abaté (MG) na produção do termofosfato potássico fundido**. 1987. 214 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1987.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de Pastagens em regiões de Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.

PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Verdete do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009.

PRIMAVESI, A. C. et al. Nutrientes na fitomassa de capim-Marandú em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 562-568, 2006.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. p. 343.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Revista Espaço e Geografia**, Planaltina – DF, v. 9, n. 1, p. 135-161, 2006.

RESENDE, A. V. et al. O suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas *in natura* na Agricultura Brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.

ROCHA FILHO, J. V. C.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 35, n. 35, p. 19-34, 1978.
<https://doi.org/10.1590/S0071-12761978000100002>

RODRIGUES JÚNIOR, C. T. et al. Produção e composição bromatológica do campim-Marandú em diferentes épocas de dferimento e utilização. **Seminás: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 2141-2154, 2015.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2141>

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 28, p. 1045-1054, 1993.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], v. 16, p. 707-726, 1985.

ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequênciada adubaçâo sobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 41, p. 1033-1040, 2006.

ROSOLEM, C. A. et al. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], v. 41, p. 1934-1943, 2010.

RUBIO, J. S.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; RUBIO, F.; MARTÍNEZ, V. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 119, p. 79-87, 2009.

SANTOS, E. A. **Efeito da acidificação do verdete de Abaeté na disponibilidade do potássio para milho (*Zea mays L.*) em casa de vegetação**. 1984. 126 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1984.

SANTOS FILHO, L. F. Seed production: perspective from the Brazilian private sector. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). **Brachiaria**: biology, agronomy and improvement. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, p. 141-146, 1996.

SANTOS, L. V. et al. Adsorção de Cloreto e Potássio em Solos Tropicais. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 29, p 101-121, 2006.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [S.l.], v. 9, p. 45-50, 1985.

SCHUNKE, R. M. **Alternativas de manejo de pastagens para melhor aproveitamento do nitrogênio de solo.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 26 p. (Documentos, 111).

SILVA, A. A. S. **Caracterização de Flogopítito da Bahia para Uso como Fertilizante Alternativo de Potássio.** 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, A. A. S. et al. Caracterização do verdete de cedro do Abaeté para o desenvolvimento de um material com liberação controlada de potássio. **HOLOS**, [S.l.], Ano 28, v. 5, 2012a.

SILVA, A. A. S. et al. Verdete de Cedro do Abaté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 1061-1073, 2012b.

SILVA, J. E. Adubação potássica em solos de cerrado. In: Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Potássio na agricultura brasileira, 1982, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 323-338

SILVA, M. A. G. et al. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1085-1089, 2001.

SILVA, T. O. et al. Produção do capim Marandú submetido a doses de nitrogênio em um latossolo amarelo. **Agropecuária Técnica**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 29-35, 2005.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progêneres de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivas em solução nutritiva.** 2000. 169 f. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SIMONSSON, M. et al. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. **Geoderma**, [S.l.], v. 140, p. 188-198, 2007.

SINGH, M.; SINGH, V. P.; REDDY, D. D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 77, p. 81-91, 2002.

SONG, S. K.; HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 52, p. 383-390, 1988.

SPARKS, D. L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain Soils: A Review. **Communications Soil Science Plant Analysis**. New York, v. 11, p. 435-449, 1980.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D., ed. Potassium in agriculture. Madison, **Soil Science Society of America**, [S.l.], 1985. p. 201-276.

TÁVORA, J. E. M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T. et al. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982, p. 37-50.

TEODORO, M. S. R. **Produção e teor de matéria seca da *Braquiária brizantha* (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú) e mulato (*Brachiaria hibrida* cv. Mulato) nas condições edafoclimáticas do sudoeste goiano**. 2007. Graduação em Zootecnia. Faculdade integradas de Mineiros. Mineiros, 2007.

THEODORO, S. H; LEONARDOS, O. H; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010, p. 173-181.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. New York, Macmillan, 1993, 634 p.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p.731-747, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. Avaliação Agronômica de Fontes de Potássio para solos de Cerrado. In: GOEDERT, W. J.; DIAS FILHO, F. A. (Ed.). **Relatório Bienal (1984/1985)**. Brasília: Embrapa: PETROFÉRTIL, 1986. p. 131-134.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994, p. 262-281.

VITTI, G. C. et al. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. São Paulo, 2008. 104p

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. (Boletim Técnico, 18).

WILL, G. M. Some change in the growth habit of *Eucalyptus* seedlings caused by nutrient deficiencies. **Empire Forestry Review**, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 301-307, 1961.

YAMADA, T. Potássio: situação atual, problemas e perspectivas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 6., São Paulo, 1994. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1994. p. 17-33.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

ZEHLER, E.; KREIPE, H.; GETHING, P. A. **Sulfato de potássio e cloreto de potássio:** sua influência na produção e na qualidade das plantas cultivadas. Campinas: Fundação Cargil, 1986. 111 p.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Amsterdam, v. 167, n. 3, p. 527-533, 2004.

CAPÍTULO I - Siltito glauconítico como fertilizante para *Urochloa brizantha* cv. Marandú

RESUMO

VIOLATTI, I. C. A. **Siltito glauconítico como fertilizante para *Urochloa brizantha* cv. Marandú.** 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia³.

O potássio (K) é encontrado em baixos níveis nos solos brasileiros, sendo que, para torná-los mais produtivos, grandes quantidades de fertilizantes são utilizadas. O país tem importado a maior parte do fertilizante potássico, tornando-se necessária a busca por fontes alternativas do nutriente. Objetivou-se avaliar a eficiência agronômica do siltito glauconítico na cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), como fonte de K, Si, Mn, Ca e Mg. Foram conduzidos dois experimentos, cultivando-se a braquiária em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênio órtico típico (RQo). Os tratamentos foram constituídos por doses de K₂O provenientes do siltito glauconítico (5, 20 40 e 80 mg dm⁻³ de K₂O), além de um tratamento adicional controle (0 mg dm⁻³ de K₂O) e três tratamentos adicionais positivos para comparação (KCl na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O, KCl + Wollastonita, na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 270 mg dm⁻³ de Si e KCl + MnSO₄, na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 2 mg dm⁻³ de Mn). Foram realizados três cultivos sucessivos da cultura, bem como coletadas amostras de solo, após terceiro corte, visando assim avaliar o efeito residual da fonte. O siltito glauconítico aumentou a MSPA, sendo observados resultados de MSPA superiores ao KCl na maior dose de K₂O do terceiro corte. Além disso, o IEA (%) da fonte testada foi superior ao padrão após o último corte das plantas, demonstrando o bom efeito residual. Também foi eficiente ao disponibilizar K, Si e Mn para as plantas, sendo que, para a maioria dos tratamentos, a fonte respondeu de forma semelhante aos tratamentos padrões.

Palavras chave: Fonte insolúvel. Efeito residual. Potássio. Silício. Manganês.

³ Comitê Orientador: Hamilton Seron Pereira – UFU (Orientador)

CHAPTER I - Glauconitic siltite as a fertilizer for *Urochloa brizantha* cv. Marandú

ABSTRACT

VIOLATTI, I. C. A. **Glauconitic siltite as a fertilizer for *Urochloa brizantha* cv. Marandú** 2018. 132 p. Tese (Masters in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia⁴.

Potassium (K) is found at low levels in Brazilian soils, and in order to make them more productive, large quantities of fertilizers are used. The country has imported most of the potassium fertilizer, making it necessary to search for alternative sources of the nutrient. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of glauconitic siltite in the culture of *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), as a source of K, Si, Mn, Ca and Mg. Two experiments were performed, cultivating the brachiaria in a Typic Dystrustox (clayey soil) and in a Typic Quartzipsamment (sandy soil). The treatments were constituted by K₂O doses from the glauconitic siltite (5, 20, 40 and 80 mg dm⁻³ of K₂O), in addition to an additional control treatment (0 mg dm⁻³ of K₂O) and three additional positive treatments for comparison (KCl in the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O, KCl + Wollastonite at the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O + 270 mg dm⁻³ of Si and KCl + MnSO₄ at the dose 80 mg dm⁻³ of K₂O + 2 mg dm⁻³ of Mn). Three crop cuts were performed, as well as soil samples collected after the third cut in order to evaluate the residual effect of the source. The glauconitic siltite increased DMAP with DMAP results higher than KCl in the highest dose of K₂O in the third cut. In addition, the AEI (%) of the tested source was higher than the standard after the last cut of the plants, demonstrating the good residual effect. It was also efficient in providing K, Si and Mn for the plants, and for most treatments the source responded similarly to the standard treatments.

Keywords: Insoluble source. Residual effect. Potassium. Silicon. Manganese

⁴ Supervising Committee: Hamilton Seron Pereira – UFU (Advisor).

1 INTRODUÇÃO

As pastagens representam o suporte alimentar essencial na criação de gado, tanto de corte quanto de leite (COSTA et al., 2006). A maioria das forrageiras no Brasil encontram-se na região do Cerrado e ocupam aproximadamente 53 milhões de hectares da área desse bioma (ANDRADE et al., 2016), sendo 85% das pastagens cultivadas referentes somente à *Urochloa* e, desse total, 70% correspondem à *Urochloa brizantha* cv. Marandú (SANTOS FILHO, 1996; SCHUNKE, 2001; KLUTHCOUSKI et al., 2003; FRANÇA, 2005; HEINRICHS et al., 2012).

Devido aos solos de baixa fertilidade nos quais essas pastagens estão localizadas, aproximadamente 80% das pastagens formadas por *Urochloa* encontram-se em processo de degradação. Por isso, o manejo adequado da fertilidade de solos cultivados sob essa cultura é uma prática fundamental para a restauração das áreas degradadas, uma vez que a planta possui resposta positiva à adubação (DIAS-FILHO, 2011).

O suprimento de nutrientes constitui-se em importante fator para a produção da forragem, tendo em vista que a disponibilidade deles exerce grande influência na nutrição da planta, refletindo na qualidade nutricional da mesma (BONFIM-DA-SILVA; MONTEIRO, 2006).

O K é um nutriente encontrado em baixos níveis nos solos brasileiros, sendo que, para torná-los mais produtivos, grandes quantidades de fertilizantes são utilizadas. Trata-se de um elemento altamente extraído pelas plantas, por isso é essencial realizar adubações potássicas para a *Urochloa brizantha* cv. Marandú atingir excelentes produções de massa seca (BRAZ et al., 2004).

O Brasil, por possuir solos com baixas quantidades desse nutriente e carência das principais matérias-primas, é considerado o 3º maior consumidor mundial de fertilizante potássico, com consumo de 15% e produção de apenas 1% desse mineral consumido (CHANG, 2017). Ele é importado na forma de KCl, em quantidade correspondente a 90% do total de fertilizante potássico utilizado no Brasil (LIMA et al., 2016). Devido ao fato do país importar a maior parte desse adubo, torna-se necessária a busca de outras fontes não convencionais desse elemento para a agricultura brasileira (MARTINS et al., 2008).

O siltito glauconítico, também conhecido como Verdete, é uma rocha de mineralogia composta por quartzo, feldspato potássico, muscovita, biotita, glauconita, óxidos de titânio e manganês e fosfatos de bártios e terras-raras (LIMA et al., 2007; SILVA et al., 2012a), considerado mineral de baixa solubilidade que possui em torno de 7 a 14%

de K₂O na sua composição (PIZA et al., 2009). Esse adubo é um dos principais produtos da companhia Verde Fertilizantes e contém na sua composição química, principalmente, K e Si e ainda apresenta óxido de ferro, Mn e elementos traços (KAHN et al., 2011).

O modelo de rochagem constitui uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, devido ao baixo custo de processo de beneficiamento, que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto, e à liberação gradual de nutrientes que diminui as perdas por lixiviação e favorece ação de longo prazo do insumo aplicado.

As rochas ou minerais industriais com elevados teores de potássio podem ser utilizados como opção para a produção de sais de potássio ou aplicados diretamente no solo, como fertilizantes de liberação lenta (SILVA, 2008). Existem estudos com essa fonte alternativa em culturas como café, cana e milheto, mas ainda é desconhecido o efeito desse adubo em áreas de pastagens.

Assim, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica do siltito glauconítico na cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), quanto ao fornecimento dos nutrientes, absorção pelas plantas, acúmulo na parte aérea e efeito residual do produto em cultivos sucessivos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização química e física (garantias) do produto

O siltito glauconítico (SG), comercialmente denominado Super Greensand, é obtido através da extração do siltito glauconítico e moagem em grânulos menores que 2 mm, cujas determinações dos principais elementos estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Quantificação de macro e micro nutrientes presentes no siltito glauconítico.

Elemento	Extrator/Digestão	Garantia	Metodo MAPA	Técnica analítica
K ₂ O**	Extração por HNO ₃ , HF e HCl	10%	EPA 3050B	Fotometria de chamas
K ₂ O*	Solúvel em água	0,5%	7.1.2	Fotometria de chamas
Mg*	Extração por HCl	0,8%	8.3	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Fe*	Extração por HCl	2,7%	14.1	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Fe*	Solúvel em ácido cítrico	2,1%	18.4.1	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Mn*	Extração por HCl	0,055%	13.1	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Mn*	Solúvel em CNA	0,053%	18.4.2	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Co*	Extração por HCl	0,011%	16.1	Espectrofotometria de Absorção Atômica

(*) Quantificação de K₂O em H₂O, Mg em HCl, Fe em HCl e C₆H₈O₇, Mn em HCl e CNA e Co em HCl pelo método descrito por MAPA (2017); (***) Quantificação de K₂O pelo método descrito por EPA 3050B (1996).

Tabela 2. Quantificação de silício presente no siltito glauconítico.

Elemento	Extrator/Digestor	Garantia	Método	Técnica analítica
Si total*	Ácido fluorídrico concentrado	27%	Korndörfer et al. (2004)	Espectrofotometria UV-Visível
Si**	Solúvel em Na ₂ CO ₃ + NH ₄ NO ₃	0,5%	Pereira et al. (2003)	Espectrofotometria UV-Visível

(*) Quantificação de Si total pelo método descrito por Korndörfer et al. (2004); (**) Quantificação de Si pelo método descrito por Pereira et al. (2003).

Tabela 3. Quantificação de metais pesados presentes no siltito glauconítico.

Elemento	Unidade	Garantia	Método	Limite de Quantificação (LQ)
Cd*	mg kg ⁻¹	< LQ	EPA 3051A	0,004
Pb*	mg kg ⁻¹	3,9	EPA 3051A	0,03
Cr*	mg kg ⁻¹	10,5	EPA 3051A	0,003
Ni*	mg kg ⁻¹	4,8	EPA 3051A	0,024
Hg*	mg kg ⁻¹	< LQ	EPA 3051A	0,01
As*	mg kg ⁻¹	2,5	EPA 3051A	0,01
Se*	mg kg ⁻¹	< LG	EPA 3051A	0,01

(*) Quantificação de Cd, Pb, Cr, Ni, Hg, As e Se pelo método descrito por EPA3051A (2007).

2.2 Caracterização do experimento e fontes utilizadas

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação e localizados na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na coordenada 18°53'04"S 48°15'35"O, em Uberlândia, Minas Gerais, no período de 07/09/2016 a 21/02/2017. Os experimentos foram conduzidos com a cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), utilizando dois solos diferentes, sendo um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e o outro um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) (EMBRAPA, 2014), coletados em Uberlândia/MG (18°54'14,4"S 48°11'13,3"O) e Santa Vitória/MG (18°53'19,4"S 50°02'46,0"O), respectivamente, na camada de 0 – 20 cm de profundidade, cujas características físicas e químicas estão expostas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4. Caracterização física dos solos utilizados no estudo.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	-----
					-----g kg ⁻¹ -----
LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico	90	43	33	834	
RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico	626	228	1	145	

Análise Textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2014).

Tabela 5. Caracterização química dos solos utilizados no estudo.

Solo	pH	Si	Al³⁺	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	SB	CTC	t	V	m	M.O.
		CaCl ₂ mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					---	%	g kg ⁻¹
LVd	4,4	6,6	0,7	0,05	0,2	0,0	0,25	7,3	0,96	4	73	40
RQo	4,4	3,3	1	0,05	0,2	0,1	0,35	5,2	1,4	7	71	15

Si em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; K extração com Mehlich-1; Al, Ca, Mg em KCl 1 mol L⁻¹; SB = soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al; M.O. em Walkley-Black - EMBRAPA, 2017.

Previamente à instalação dos experimentos foram realizadas, no Laboratório de Fertilizantes (LAFER) do Instituto de Ciências Agrárias da UFU, a caracterização das fontes quanto à natureza física e classificação da granulometria. Foram avaliados também os teores de K₂O (solúvel e total), Ca, Mg, Fe, Mn e Si (solúvel e total) cujos resultados estão na Tabela 6, seguindo metodologias propostas por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al. (2004).

Para obtenção dos materiais em pó, as amostras de fertilizantes granulados utilizadas nas análises foram moídas e peneiradas em peneira de 50 mesh (malhas/polegada), garantindo assim uma granulometria homogênea para todas as fontes.

Tabela 6. Caracterização química das fontes padrão e das fontes testadas.

Fonte	K ₂ O		Ca	Mg	Si		Fe	Mn
	Total	Solúvel			Total	Solúvel***		
						%		
Wollastonita (padrão Si)	-	-	30,3	1,1	23	12	-	-
KCl (padrão K)	60	60*	-	-	-	-	-	-
Sulfato de Mn (padrão Mn)	0	0	0	0	0	0	0	31
Siltito glauconítico	10	0,5**	-	1	27	0,5	3	0,05

(-) não possui o elemento em sua composição. (*) solúvel em água. (**) solúvel em ácido cítrico 2%, 1:500. (***)
Solúvel em NH₄NO₃ + Na₂CO₃.

2.3 Condução dos experimentos

2.3.1 Tratamentos

Para pastagens, as doses de K₂O recomendadas para a fase de estabelecimento foram definidas considerando a disponibilidade de K no solo e o nível tecnológico adotado, segundo Ribeiro et al. (1999). Como os valores propostos para a cultura podem variar, o tratamento definido para a *Urochloa brizantha* cv. Marandú foi de 80 mg dm⁻³ de K₂O, considerando sua implantação no sistema de alto nível tecnológico. Assim, as doses de siltito glauconítico foram definidas em função do teor de K₂O solúvel em ácido cítrico 2% presente no produto (Tabela 6), utilizando-se doses decrescentes em relação à recomendação (Tabela 7).

Utilizou-se também uma testemunha absoluta como tratamento adicional controle e as fontes KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O), KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O + 270 mg dm⁻³ de Si, menor dose da fonte testada) e KCl + Sulfato de Manganês (80 mg dm⁻³ de K₂O + 2 mg dm⁻³ de Mn, dose intermediária da fonte testada) como tratamentos adicionais

positivos, conforme Tabela 7. Também foi realizado um ajuste nos teores de CaCO_3 e MgCO_3 para que todos os tratamentos recebessem as mesmas quantidades de Ca e Mg.

Tabela 7. Fertilizantes e doses aplicados, nos solos argiloso e arenoso, em cada tratamento.

Tratamento	Fonte (*)	Fertilizante kg ha ⁻¹	Doses				
			K ₂ O	Si	Mn	CaCO ₃ * mg dm ⁻³	MgCO ₃ * mg dm ⁻³
1	Testemunha	0	0	0	0	1100	560
2	KCl	267	80	0	0	1100	560
3	Sulfato de Mn	13	80	0	2	1100	560
4	Wollastonita	2348	80	270	0	195	514
5	SG	2000	5	270	0,5	1100	525
6	SG	8000	20	1080	2	1100	490
7	SG	16000	40	2160	4	1100	280
8	SG	32000	80	4320	8	1100	0

(*) Quantidade de CaCO_3 e MgCO_3 para equilibrar o Ca e o Mg fornecido pelos tratamentos e elevar a saturação de bases a valores próximos a 90% para o solo arenoso e 70% no solo argiloso.

2.3.2 Semeadura, adubação e manejo da cultura

Antes da semeadura, os solos receberam 200 mg dm⁻³ de N e 400 mg dm⁻³ de P₂O₅, provenientes do sulfato de amônio e superfosfato triplo, respectivamente. Os micronutrientes foram fornecidos via solução nas doses de 1,5, 5, 0,5 e 0,05 mg dm⁻³ de Cu, Zn, B e Mo via CuSO₄.5H₂O, ZnSO₄.7H₂O, H₃BO₃ e (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O. O Mn só foi fornecido no tratamento KCl + Sulfato de Manganês.

A semeadura foi realizada na profundidade aproximada de 2 cm, distribuindo-se 10 sementes por vaso. Aos 15 dias após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo um estande de 5 plantas por vaso. Aos 30, 40, 65 e 82 dias, após a semeadura (DAS), foi realizada a adubação de cobertura com dose equivalente a 50 mg dm⁻³ de N com sulfato de amônio e, aos 116 DAS, com nitrato de amônio.

As parcelas foram irrigadas manualmente, todos os dias, visando manter a umidade dos vasos e diminuir as perdas por evapotranspiração.

Aos 55 DAS, aplicou-se o produto Actara® (Thiametoxam 250 g kg⁻¹) na dose de 1g L⁻¹ de água para o controle de pulgões. Também se realizou uma aplicação de micronutrientes via foliar aos 141 DAS, nas doses de 2,86 g H₃BO₃ (17% de B), 1,67 g

MnSO₄.H₂O (30% de Mn), 0,40 g ZnSO₄.7H₂O (21% de Zn), 0,10 g de CuSO₄.5H₂O (24% de Cu) e 0,04g NH₄MoO₄.2H₂O (40% de Mo).

2.4 Avaliações

2.4.1 Parte aérea

Com auxílio de uma tesoura de poda, foram realizados três cortes da parte aérea das plantas aos 68 (Figura 1A), 104 e 168 DAS, aproximadamente a 4 cm acima do nível do solo. Posteriormente, as amostras da parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa a 65°C, por 72 horas. Após a secagem, foram obtidos os valores da matéria seca da parte aérea (MSPA) e teores de K, Mn, Si, Ca e Mg na parte aérea foram analisados seguindo as metodologias descritas por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al. (2004).

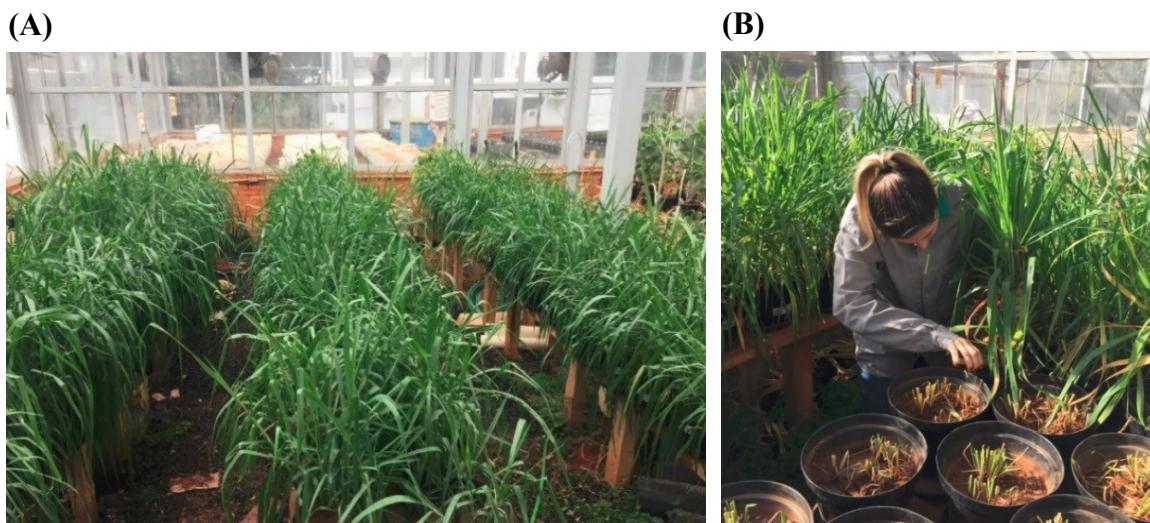


Figura 1. Visual das plantas *Urochloa brizantha* cv. Marandú aos 68 DAS (1A) e processo de corte das plantas para avaliação (1B).

2.4.2 Análises de solo

Após o 3º corte da parte aérea (168 DAS), foram retiradas amostras de solo de cada vaso, coletando-se 5 pontos por vaso com o auxílio de um “mini-trado”. As amostras foram submetidas à secagem em estufa a 45°C, por 24 horas. Em seguida, foram determinados os teores de K, Ca, Mg, pH, Si e Mn das amostras, conforme a metodologia descrita por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al., (2004).

2.4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA)

Calculou-se o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do siltito glauconítico na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O com os dados obtidos de matéria seca da parte aérea (MSPA) da braquiária para cada tipo de solo baseado na mesma dose do fertilizante padrão KCl, conforme a Equação 1:

$$\text{I.E.A (\%)} = \frac{\text{MSPA da fonte} - \text{MSPA da testemunha}}{\text{MSPA do padrão} - \text{MSPA da testemunha}} \times 100$$

2.4.4 Percentual de K recuperado

Calculou-se a recuperação do potássio proveniente das fontes para cada tipo de solo realizando a dedução do K acumulado na parte aérea das plantas que receberam aplicação de siltito glauconítico e KCl na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O e do K acumulado na testemunha, segundo a Equação 2:

$$\text{K recuperado (\%)} = \frac{\text{K acumulado da fonte} - \text{K acumulado da testemunha}}{\text{K aplicado no solo}} \times 100$$

2.5 Delineamento experimental e análises estatísticas

Os experimentos foram conduzidos em 64 parcelas totais, com 4 repetições em delineamento inteiramente casualizados (DIC). As parcelas foram constituídas de vasos plásticos de 6 L de capacidade, preenchidos com 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA).

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), com teste de F a 0,05 de significância e análise de regressão. Ademais, os tratamentos foram comparados ao tratamento adicional controle (sem aplicação de fontes) e aos adicionais controles positivos (KCl para o potássio, KCl + Wollastonita para o silício e KCl + MnSO₄ para o manganês) pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância pelos programas estatísticos SPSS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA)

No solo argiloso, as plantas cultivadas sob a aplicação de KCl apresentaram maiores valores de MSPA quando comparadas àquelas cultivadas com os demais tratamentos nos dois primeiros cortes (Tabela 8). Por outro lado, ao se avaliar os teores de MSPA no terceiro corte, observa-se que a maior dose de siltito glauconítico (80 mg dm^{-3}) foi superior aos demais tratamentos, incluindo a testemunha, e ficou semelhante ao tratamento com a fonte padrão KCl (Tabela 8).

Tabela 8. Matéria seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses de siltito glauconítico nos solos LVd e RQo.

Tratamento	Dose de K ₂ O mg dm ⁻³	MSPA			Total
		1º corte	2º corte	3º corte	
LVd					
Testemunha	0	22,8 +	4,8 +	3,8	31,4 +
	5	23,2 +	6,0 +	4,3	33,5 +
SG	20	20,3 +	6,4 +	7,8	34,5 +
	40	26,7 +	9,6 *+	9,9	46,2 *+
	80	31,3 +	8,4 +	12,8 *	52,5 *
KCl	80	46,4 *	15,5 *	7,1 *	69,0 *
DMS _{Dunnett}	-	9,1	1,6	6,5	16,6
CV (%)	-	10,7	11,5	50,8	22,5
RQo					
Testemunha	0	6,5	1,6 +	0,7	8,8 +
	5	7,2 +	1,7 +	1,0	9,9 +
SG	20	13,4 +	4,4 +	2,6	20,4 +
	40	18,3 *+	4,9 +	2,6	25,7 *+
	80	25,6 *	13,8 *	8,0 *+	47,4 *
KCl	80	33,6 *	17,5 *	3,2	54,3 *
DMS _{Dunnett}	-	8,5	3,2	4,8	16,6
CV (%)	-	27,4	20,8	83,8	39,6

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

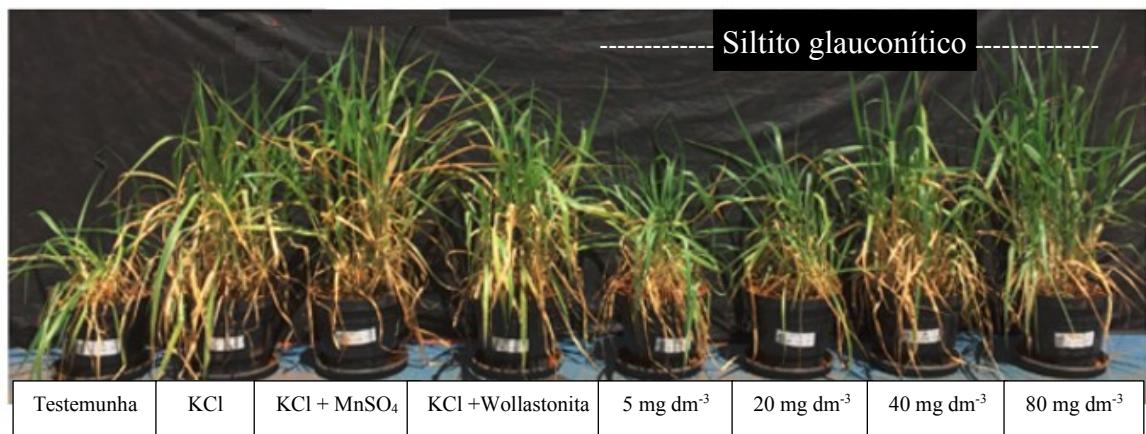
Quanto à MSPA das plantas cultivadas em RQo, a maior dose do siltito glauconítico (80 mg dm^{-3}) apresentou resultados semelhantes ao KCl nos dois primeiros cortes e superior no terceiro corte, demonstrando ser eficiente ao gerar incrementos em produtividade na planta forrageira (Tabela 8).

Tais resultados confirmam a baixa solubilidade da rocha quando comparada ao padrão, sendo fonte de nutrientes e incremento de massa seca da parte aérea para plantas cultivadas a longo prazo.

Em contrapartida, devido à alta solubilidade do KCl, esse fica prontamente disponível à absorção pelas plantas nos primeiros cortes, sendo que ocorre o esgotamento da fonte ao longo dos cultivos sucessivos. O total dos três cortes da MSPA das plantas cultivadas com o tratamento KCl foi superior no solo argiloso quando comparado ao arenoso, e esse fato pode ser explicado devido à possível perda por lixiviação, já que o solo arenoso possui maior disponibilidade dessa fonte na solução do solo para a absorção das plantas, devido a menor CTC.

Nas figuras 2 e 3 pode-se observar o porte das plantas de *Urochloa* no 2º e 3º corte, aos 104 e 168 dias após a semeadura, respectivamente, para os dois tipos de solos.

(A)



(B)

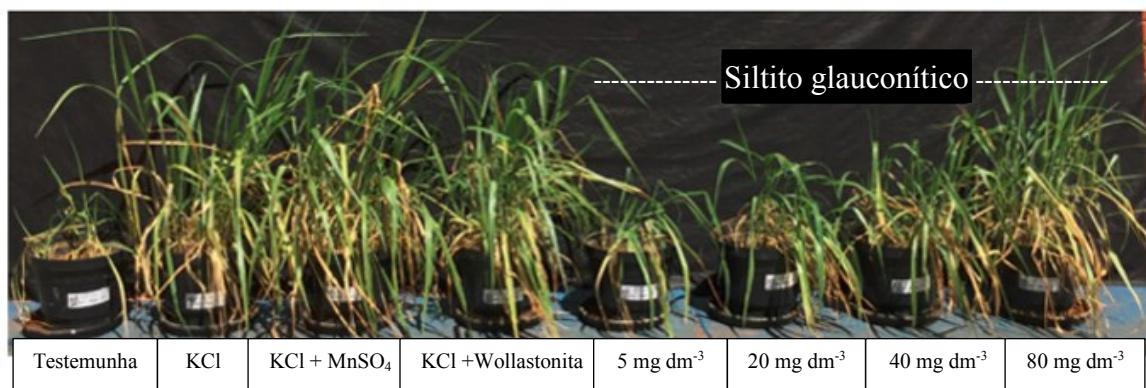
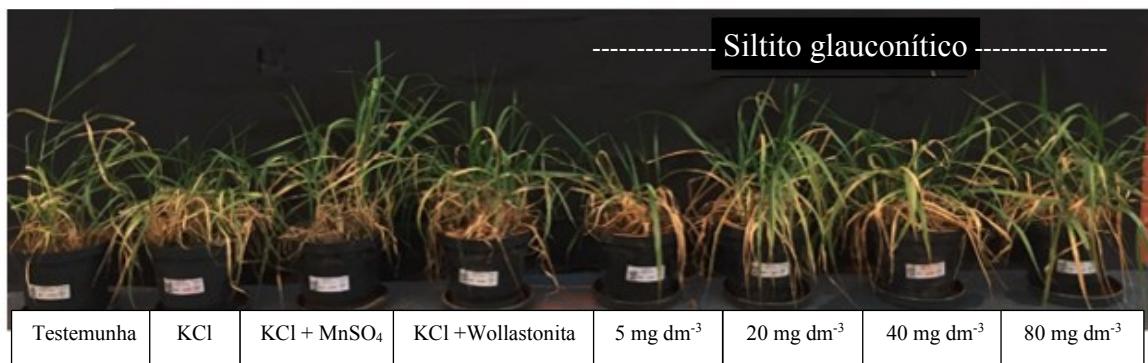


Figura 2. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação doses crescentes de siltito glauconítico em LVd (A) e RQo (B), aos 104 DAS.

(A)



(B)

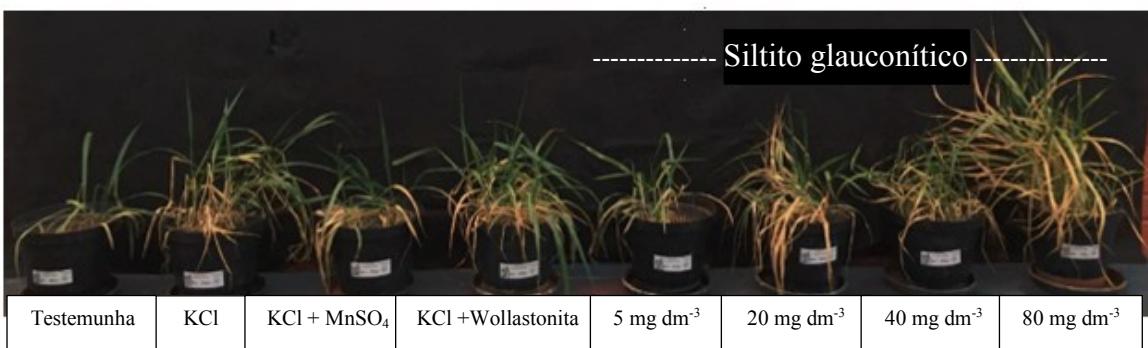


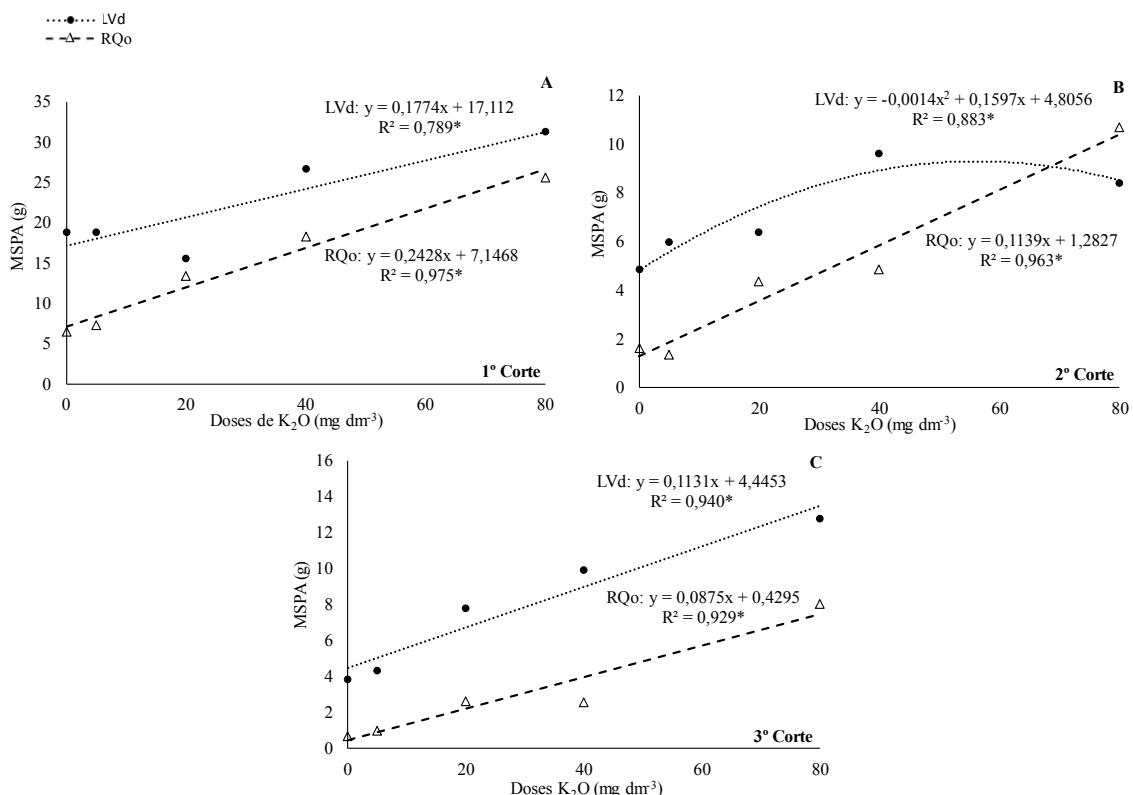
Figura 3. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação doses crescentes de siltito glauconítico em LVd (A) e RQo (B), aos 168 DAS.

Ademais, é possível observar nas figuras 4A, 4B e 4C que o aumento das doses do siltito glauconítico resultou em maior acúmulo de MSPA em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, ocasionando, nas plantas semeadas sob solo arenoso, acréscimos de 243, 114 e 88 g de MSPA, a cada g de K₂O proveniente do siltito glauconítico, no primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente.

Em estudo realizado por Arrieta (2017) foram obtidos diferentes resultados, ao se avaliar o número de perfilhos e panículas, massa seca da parte aérea e grãos em arroz inundado, nos solos tratados com siltito glauconítico e KCl. Foram encontrados menores valores do SG do que do KCl, para as características agronômicas avaliadas, evidenciando o baixo desempenho agronômico da rocha.

Ao avaliar o feldspato, sienito e siltito glauconítico na cultura do milheto em solo arenoso, Santos (2013) encontrou baixos valores de massa seca da parte aérea, sendo semelhantes à testemunha em duas doses avaliadas, de 50 e 100 mg dm⁻³ de K₂O.

Oliveira et al. (2006a), em estudo realizado comparando rochas potássicas e KCl para a cultura da soja, obtiveram que as maiores produções de matéria seca foram verificadas para a adubação residual com as rochas ultramáfica alcalina e biotita xisto, no solo argiloso, e com as rochas ultramáfica alcalina e carbonatito, no solo arenoso.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 4. Matéria seca da parte aérea em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de siltito glauconítico em LVd e RQo, após 68, 104 e 168 DAS (primeiro, segundo e terceiro cortes).

3.2 Índice de eficiência agronômica (IEA)

Com os valores de IEA (%) pôde-se observar que, após o primeiro corte, o siltito glauconítico apresentou valores inferiores ao KCl, demonstrando a maior solubilidade da fonte padrão. O solo de textura arenosa apresentou maior eficiência agronômica que o solo de textura argilosa, com valores respectivos iguais a 43,9% e 70,5% (Figura 5). No segundo corte, o siltito glauconítico, no solo arenoso, apresentou eficiência próxima da fonte padrão com 85,3%, resultando em maior eficiência ao se comparar ao solo argiloso (Figura 5).

Por outro lado, ao se avaliar os valores de IEA após o terceiro corte, observa-se que a fonte testada apresentou eficiência agronômica maior que o KCl, em ambos os solos cultivados, apresentando valores iguais a 274,4% e 291,9% para o solo de textura argilosa e arenosa, respectivamente (Figura 5).

É possível verificar que devido ao siltito glauconítico possuir solubilidade mais lenta que o KCl, a absorção pelas plantas acontece à medida que ocorre a liberação gradual dos nutrientes, permitindo a fertilização do solo, o que, potencialmente, reduz a aplicação de fertilizantes químicos no decorrer dos anos. Também os resultados obtidos nesse estudo reafirmam o maior efeito residual do siltito glauconítico, sendo essa uma fonte com potencial de gerar incrementos nos teores de MSPA de plantas forrageiras e alta eficiência agronômica a longo prazo, demonstrando grande potencial na substituição de fontes solúveis.

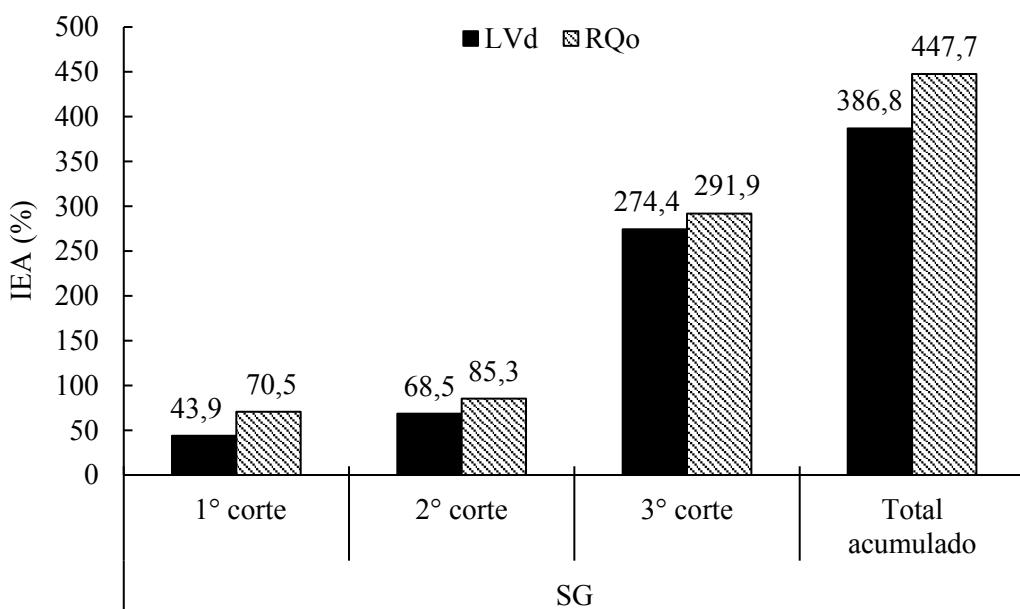


Figura 5. Índice de eficiência agronômica do siltito glauconítico em relação ao KCl em LVd e RQo aos 68, 104 e 168 DAS (primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente).

Diferente resultado foi obtido por Arrieta (2017) aos 130 dias de cultivo, com a cultura do arroz, no qual foi testado o siltito glauconítico em solo arenoso e argiloso, porém a fonte apresentou menor IEA que o KCl, com 59% no LVd e 29,7% no RQo, sendo encontrado maior IEA no solo de textura argilosa. Para Duarte (2012) esse fato é explicado pela classe textural do solo, devido à maior superfície específica da partícula do solo

argiloso e contato dessa com a fonte, permitindo, assim, melhor reação, especialmente na fonte testada que possui baixa solubilidade.

Para Resende et al. (2006b), no experimento realizado com rochas potássicas, os melhores tratamentos para milho e soja foram aqueles envolvendo a aplicação de biotita e, principalmente, ultramáfica nas maiores doses de 100 e 150 mg kg⁻¹ de K. Resultados similares foram obtidos por Oliveira et al. (2006b), que encontraram maior eficiência agronômica para as rochas ultramáfica e biotita em cultivos sucessivos de girassol e soja num solo argiloso do Paraná, sendo observado na dose 300 mg kg⁻¹ de K₂O resultado superior da ultramáfica, quando comparado ao KCl.

3.3 Potássio no solo e acumulado na parte aérea

Os teores de K no solo argiloso, após os três cortes de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, não diferiram entre os tratamentos. Diferente resultado foi observado no solo arenoso, no qual as doses 5, 20 e 80 mg dm⁻³ de K₂O do siltito glauconítico e 80 mg dm⁻³ de KCl foram superiores à testemunha (Tabela 9).

Os teores de K disponível no solo argiloso e arenoso, em todos os tratamentos utilizados, incluindo testemunha e KCl, foram classificados como “muito baixo”, ou seja, apresentaram disponibilidade de K no solo inferior à 15 mg dm⁻³ de acordo com Ribeiro et al. (1999). Portanto, independentemente da dose e tipo de fonte utilizada, nenhum dos tratamentos foi eficiente para mudar a classificação do K disponível nos solos (Tabela 9).

Observa-se menor teor de K no solo arenoso (7,7 mg dm⁻³) do que no argiloso (13,3 mg dm⁻³) no tratamento realizado com o KCl, devido a menor CTC do solo de textura arenosa. A CTC representa a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso ou volume (RAIJ, 2011). Sais potássicos de alta solubilidade, como o KCl, conferem à solução do solo altos teores de K. Devido à CTC do solo arenoso ser mais baixa que a do argiloso, grande parte da quantidade de K adicionada no solo, via KCl, encontra-se na solução deste, de forma prontamente disponível para a absorção e extração pelas plantas, motivo pelo qual houve maior acúmulo de K total nas plantas cultivadas nesse solo (613,3 mg vaso⁻¹) do que no solo argiloso (489,0 mg vaso⁻¹), pois as plantas absorveram rapidamente o K disponível na solução do solo (Tabela 9).

Como a rocha potássica possui baixa solubilidade e disponibiliza o K ao longo dos cultivos, é importante reforçar que essa fonte apresenta como característica alto efeito residual, garantindo o suprimento de K para as plantas em sucessivos cultivos.

Diferentemente do KCl, que é altamente solúvel, e, portanto, apresenta baixo efeito residual no solo.

Em estudo realizado por Arrieta (2017), com as mesmas fontes e doses em arroz, observou-se também menor teor de K no solo arenoso do que no argiloso, no tratamento realizado com o KCl, porém, diferentemente do que foi observado no atual trabalho, Arrieta (2017) verificou que houve maior acúmulo de K total no solo argiloso do que no de textura arenosa, uma vez que o K não ficou adsorvido nas cargas do solo, sofrendo consequente lixiviação do nutriente por ter sido absorvido em pequena quantidade pelas plantas.

Tabela 9. Teores de K nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses de siltito glauconítico.

Tratamento	Dose de K ₂ O	K no solo	K acumulado			Total acumulado				
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	1º corte	2º corte	3º corte					
			mg vaso ⁻¹							
			LVd							
Testemunha	0	10,7	77,9	+	28,5	+	10,1	+	116,5	+
	5	13,0	105,3	+	9,9	+	5,5	+	120,7	+
SG	20	10,8	313,5	*	12,5	+	18,2	*	344,2	
	40	13,7	178,8	+	25,6	+	22,1	*	226,5	+
	80	11,7	164,4	+	51,0		19,2	*	234,6	+
KCl	80	13,3	398,3	*	73,3	*	17,4	*	489,0	*
DMS _{Dunnett}	-	2,8	243,3		29,0		6,9		242,9	
CV (%)	-	7,7	75,0		38,7		23,8		60,4	
			RQo							
Testemunha	0	4,7	+	29,4	+	8,6	+	1,7	39,7	+
	5	7,3	*	35,8	+	5,4	+	2,5	43,7	+
SG	20	7,3	*	62,2	+	14,7	+	6,0	82,9	+
	40	6,0		100,5	+	29,6	+	6,5	136,6	+
	80	8,7	*	182,6	+	143,8	+	21,5	347,9	+
KCl	80	7,7	*	289,9	*	334,2	*	7,2	631,3	*
DMS _{Dunnett}	-	2,0		67,3		39,5		6,6	59,0	
CV (%)	-	15,5		36,0		50,5		44,8	23,5	

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Quanto ao K acumulado na parte aérea das plantas, de maneira geral, após o primeiro corte, os tratamentos com siltito glauconítico, em ambos os solos, tiveram desempenho inferior quando comparados ao KCl, sendo que somente a dose 20 mg dm⁻³

de K₂O, do solo argiloso, apresentou resultados semelhantes ao padrão. Entretanto, os valores obtidos no solo arenoso foram inferiores (Tabela 9), inclusive, mesmo apresentando aumento linear de K acumulado, obtido com o incremento das doses de SG, não foi suficiente para superar o K acumulado na parte aérea das plantas tratadas com a fonte padrão (Figura 6B).

Em relação ao segundo corte, todas as doses do siltito glauconítico, testadas no solo arenoso, apresentaram valores inferiores ao KCl, e a maior concentração diferiu superiormente da testemunha. Para o solo argiloso, a dose de 80 mg dm⁻³ de K₂O do produto foi a única que não diferiu do controle positivo, apresentando valores semelhantes entre si (Tabela 9).

Já no terceiro corte, no solo argiloso, foi possível observar que somente a menor dose do produto apresentou resultado inferior ao KCl, estando as demais com valores similares ao padrão e superiores à testemunha. Para o solo de textura arenosa, as doses 5, 20 e 40 mg dm⁻³ de K₂O do siltito glauconítico não diferiram do KCl, sendo que a de 80 mg dm⁻³ de K₂O do referido produto apresentou resultado superior ao adicional positivo quanto ao acúmulo de K na parte aérea das plantas (Tabela 9), e foi observado que, para cada g de K₂O proveniente do siltito glauconítico, houve acúmulo de 238,2 mg de K na forrageira (Figura 6D).

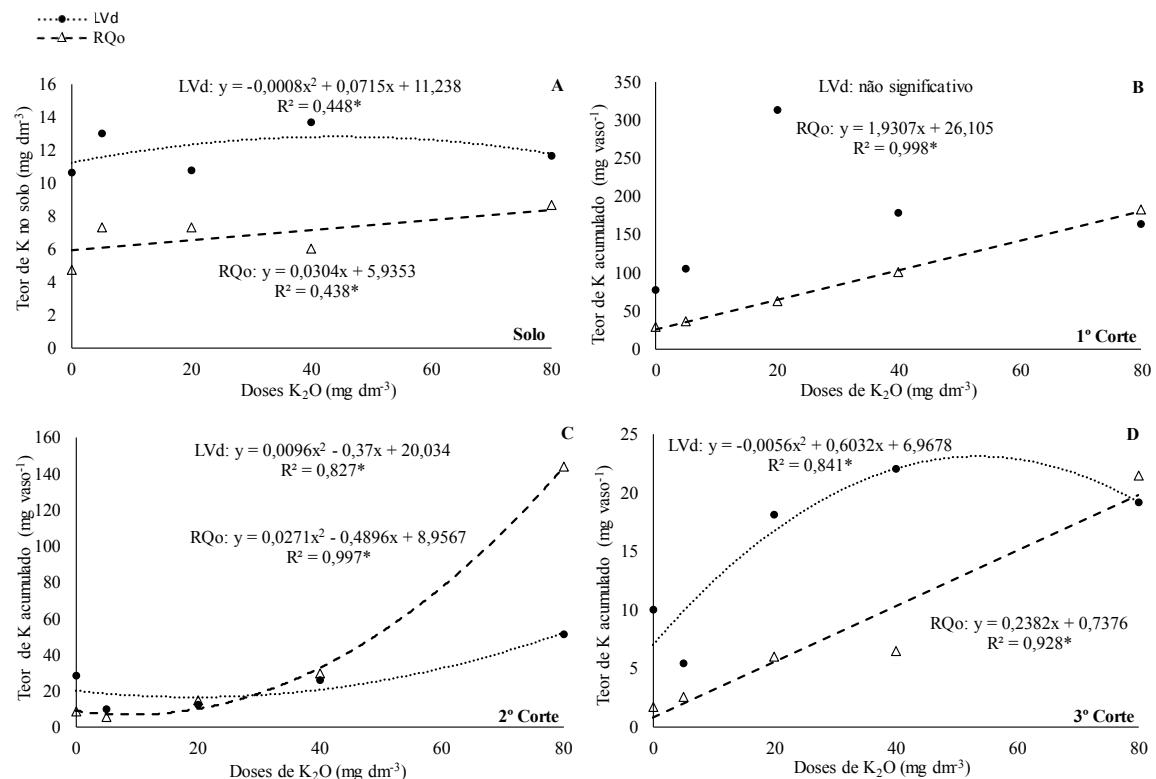
Isso demonstra que, tanto para as plantas cultivadas no solo argiloso quanto no arenoso, o siltito glauconítico foi eficiente ao disponibilizar o K em cultivos sucessivos, uma vez que a fonte apresenta característica de baixa solubilidade, possuindo menor acúmulo de K na parte aérea das plantas nos primeiros cortes, e disponibilização do nutriente de maneira gradual ao longo do tempo, portanto, maior acúmulo de K na parte aérea das plantas no último corte.

Para as plantas cultivadas sucessivamente com o tratamento KCl, em ambos os solos, ocorre a diminuição do fornecimento de K a longo prazo, por se tratar de uma fonte altamente solúvel e por liberar facilmente grande quantidade de nutriente no meio, apresentando melhor performance nos primeiros cortes e, consequentemente, diminuindo sua disponibilidade ao longo dos cultivos.

O acúmulo total de K pelas plantas é maior no tratamento com KCl do que com SG devido à fonte padrão ser altamente solúvel e, portanto, acumulada em grandes quantidades nos primeiros cortes da cultura, sendo que, devido à baixa solubilidade do SG, não houve a completa disponibilização dos nutrientes para as plantas ao longo dos três cortes.

Os modelos apresentados na figura 6A, no solo arenoso, demonstra tendência de aumento linear significativo do teor de K no solo com as doses aplicadas e acréscimos de 30,4 mg de K a cada g de K₂O proveniente do siltito glauconítico (Figura 6A).

Observando-se os modelos apresentados na Figura 6C, percebe-se que os teores de K na parte aérea da planta forrageira após o segundo corte aumentaram com o aumento das doses de siltito glauconítico, entretanto, os acréscimos não são lineares. Assim, ressalta-se que ocorreu um maior incremento de K nas plantas cultivadas com siltito glauconítico nas doses superiores a 40 mg dm⁻³ de K₂O.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 6. Teor de K no solo (A) após três cortes e K acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, no primeiro (B), segundo (C) e terceiro cortes (D), em função da aplicação de doses crescentes de K proveniente do siltito glauconítico, em LVd e RQo.

Ao avaliar os teores de K recuperado (Figuras 7 e 8) observou-se que as fontes insolúveis apresentaram maior efeito residual quando comparadas à fonte padrão. Para ambos os solos, nos dois primeiros cortes, as plantas absorveram mais K quando o KCl foi

aplicado, entretanto, no terceiro corte, no solo arenoso, o percentual de K recuperado nas plantas com o tratamento siltito glauconítico foi superior ao adicional positivo.

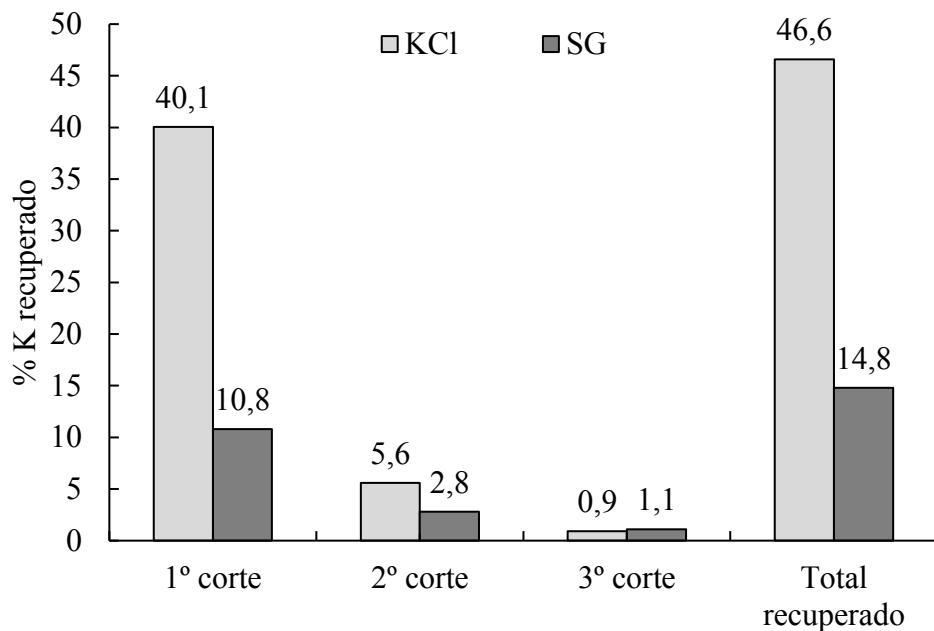


Figura 7. Percentual de K recuperado em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú proveniente das fontes KCl e siltito glauconítico, para o solo LVd, após três cortes.

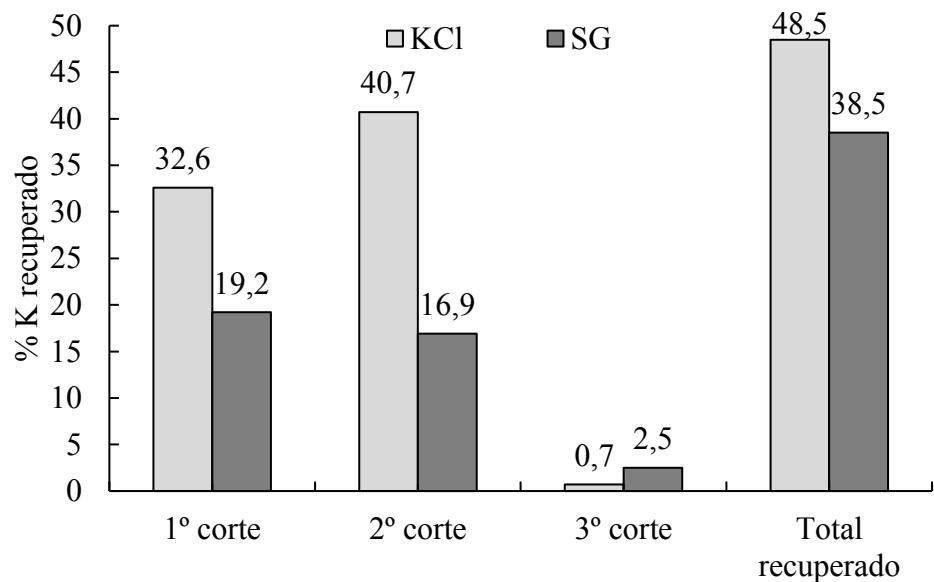


Figura 8. Percentual de K recuperado em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú proveniente das fontes KCl e siltito glauconítico, para o solo RQo, após três cortes.

Resultados semelhantes foram mostrados por Resende et al. (2006a), os quais, trabalhando com rochas potássicas, observaram maiores teores do nutriente em plantas de milheto cultivadas com KCl em um primeiro corte, entretanto, foi evidenciado que as rochas proporcionam considerável efeito residual do nutriente para cultivos sucessivos.

Resende et al. (2006b) apresentaram resultados de experimentos nos quais as rochas parecem funcionar como fertilizantes de liberação lenta, sendo mais vantajosas, sobretudo, para atender aos cultivos conduzidos em solos arenosos, onde a lixiviação de K e os desequilíbrios nutricionais são problemas mais frequentes.

3.4 Silício no solo e acumulado na parte aérea

A disponibilidade do Si no solo e absorção pelas plantas estão diretamente relacionadas ao pH do meio, sendo que quanto maior o pH, maior a disponibilidade do Si no solo e, consequentemente, maior a absorção pela planta (OLIVEIRA et al., 2007; CASTRO; CRUSCIOL, 2013a; CASTRO; CRUSCIOL, 2013b). Na tabela 10, a baixa disponibilidade do teor de Si no solo arenoso e argiloso pode ser devido ao baixo valor do pH dos solos utilizados neste estudo.

Os teores de Si, em ambos os solos, apresentaram, em todos os tratamentos aplicados com siltito glauconítico, resultados inferiores ao adicional positivo KCl + Wollastonita com 270 mg dm⁻³ de Si. Inclusive no solo arenoso, os resultados obtidos com o referido produto também foram menores que a testemunha (Tabela 10). Esse comportamento era esperado, uma vez que a fonte padrão de Si, Wollastonita, possui maior solubilidade que a rocha silicática.

Muitas forrageiras introduzidas no cerrado, como as braquiárias, são consideradas plantas acumuladoras de Si (MELO et al., 2003). Lima Filho et al. (1999) afirmam que a extração do Si por culturas acumuladoras, a exemplo das gramíneas, provoca baixos teores de Si disponível no solo.

Quanto aos teores de Si acumulados na parte aérea após o primeiro corte, observou-se que, no solo argiloso, a dose 4320 mg dm⁻³ de Si do siltito glauconítico apresentou valor similar ao padrão. Já no solo arenoso, todos os tratamentos com o referido fertilizante apresentaram teores de Si acumulado inferiores ao KCl + Wollastonita (Tabela 10).

O teor de Si acumulado na parte aérea do segundo corte em LVd foi menor que o padrão nas doses 270, 1080 e 2160 mg dm⁻³ de Si proveniente do SG, porém foi maior que a testemunha nas três maiores doses do produto. Ademais, na dosagem de 4320 mg dm⁻³

de Si foi observado capacidade semelhante à Wollastonita em disponibilizar Si para as plantas (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de Si nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses de siltito glauconítico.

Tratamento	Dose de Si mg dm ⁻³	Si no solo mg dm ⁻³	Si acumulado			Total acumulado
			1º corte	2º corte	3º corte	
LVd						
Testemunha	0	3,0 +	51,4 +	4,5 +	37,8 +	93,7 +
	270	2,9 +	89,4 +	11,4 +	42,3 +	143,1 *+
SG	1080	2,3 +	77,7 +	20,9 **	63,8 **	162,4 **
	2160	3,1 +	101,5 **	22,5 **	85,8 *	209,8 *
	4320	2,7 +	132,2 *	43,9 *	58,9 +	235,0 *
	KCl + Wollastonita	270	3,9 *	146,9 *	34,5 *	101,6 *
DMS _{Dunnett}	-	0,6	47,5	11,5	23,0	43,7
CV (%)	-	10,4	27,2	28,7	20,7	13,4
RQo						
Testemunha	0	2,3	20,8 +	5,7 +	3,9 +	30,4 +
	270	1,9 **	33,9 +	7,0 +	12,6 +	53,5 +
SG	1080	1,8 **	50,8 +	10,5 +	16,5 +	77,8 +
	2160	1,7 **	70,6 **	16,5 +	16,4 +	103,5 **
	4320	1,6 **	86,9 **	45,7 **	62,9 **	195,5 **
	KCl + Wollastonita	270	2,7	131,6 *	90,6 *	50,4 *
DMS _{Dunnett}	-	0,4	49,2	12,2	17,1	49,3
CV (%)	-	8,5	28,1	36,9	39,4	27,7

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl + Wollastonita (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

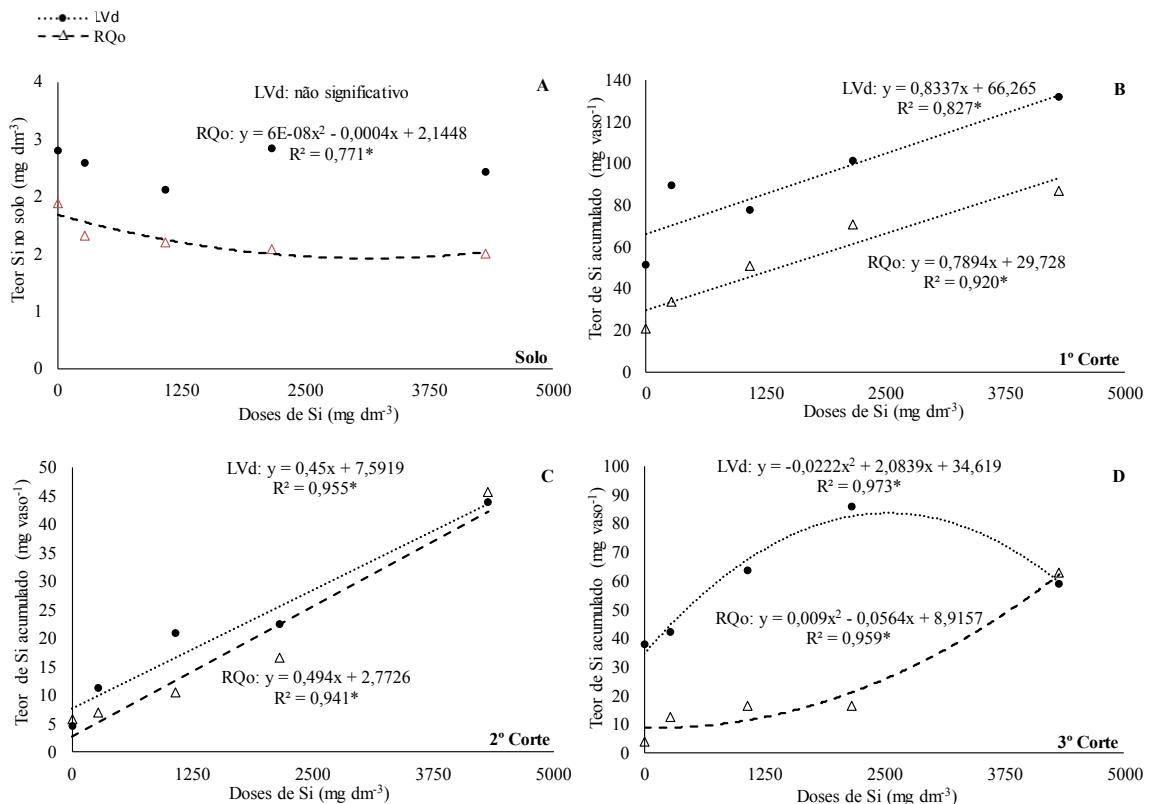
Já para o solo de textura arenosa, a maior dose do SG gerou acúmulo de Si superior ao padrão na parte aérea das plantas forrageiras, após os três cortes, demonstrando ser uma fonte com potencial em disponibilizar Si às plantas forrageiras em cultivos sucessivos. Após os três cortes, o total de Si acumulado, proveniente do SG (235 mg vaso⁻¹), nas plantas cultivadas no solo argiloso, ficou semelhante ao acúmulo total de Si obtido nas plantas cultivadas com a fonte padrão (283,0 mg vaso⁻¹) no mesmo solo (Tabela 10).

Diferente resultado foi obtido por Arrieta (2017) em trabalho realizado com SG na cultura do arroz. Aos 130 dias de cultivo, verificou que ao utilizar a dose de 4,3 toneladas de Si, o teor de Si no solo e acumulado pela parte aérea não diferiu da testemunha, tanto

no solo argiloso quando no solo arenoso, fato que pode ser atribuído à baixa solubilidade da rocha. Já os resultados alcançados com a fonte padrão de Si por Arrieta (2017) foram similares ao do presente trabalho, uma vez que a Wollastonita apresentou maior teor de Si no solo e acúmulo de Si na parte aérea das plantas quando comparada ao SG, na mesma dose de 270 mg dm^{-3} de Si, o que é explicado pela maior solubilidade da fonte padrão.

O teor de Si da fonte testada no solo arenoso foi decrescente, mesmo com o aumento de Si no solo (Figura 9A). Pela figura 9B e 9C é possível observar que os teores de Si aumentaram de forma linear, de acordo com as doses de siltito glauconítico aplicadas para o LVd e RQo, tendo, no primeiro corte, incremento de 834 e 790 mg de Si a cada g de nutriente adicionado ao solo argiloso e arenoso, respectivamente (Figura 9B) e, no segundo corte, de 450 e 494 mg de Si a cada g de nutriente adicionado ao solo argiloso e arenoso, consecutivamente (Figura 9C). Além disso, as duas maiores doses de siltito glauconítico (2160 e 4320 mg dm^{-3} de Si) foram suficientes para aumentar os teores de Si nas plantas cultivadas nos dois solos quando comparadas aos tratamentos em que não houve aplicação de Si (Tabela 10). Também na Figura 9D é possível verificar que no solo arenoso houve aumento nos teores de Si na parte aérea da planta após o terceiro corte com incremento significativo quando aplicadas doses superiores à 2160 mg dm^{-3} de Si, enquanto no solo argiloso o teor máximo de Si acumulado na forrageira foi de 84 mg vaso^{-1} .

Tais resultados demonstram a eficiência da rocha na utilização da adubação com Si, e na construção da fertilidade do solo, uma vez que o SG é uma fonte insolúvel e ocorre liberação gradual dos nutrientes ao longo dos cultivos, sendo um fator de extrema importância, pois, segundo Arantes (1997), os cultivos consecutivos podem diminuir o teor de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção. E, ao utilizar uma fonte insolúvel, a solubilidade dos nutrientes no meio ocorre mais lentamente, ocasionando maior aproveitamento dos mesmos.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 9. Teor de Si no solo (A) após três cortes e Si acumulado na parte aérea de plantas *Urochloa brizantha* cv. Marandú no primeiro (B), segundo (C) e terceiro cortes (D), em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente do siltito glauconítico, em LVd e RQo.

3.5 Manganês no solo e acumulado na parte aérea

Os teores de Mn no solo aumentaram significativamente quando as plantas foram tratadas com siltito glauconítico, nas doses 4 mg dm⁻³ de Mn para o argiloso e 8 mg dm⁻³ de Mn para o arenoso, sendo que os demais tratamentos apresentaram resultados similares ao padrão utilizado KCl + MnSO₄ com 2 mg dm⁻³ de Mn (Tabela 11).

Os teores de Mn disponível no solo argiloso e arenoso, em todos os tratamentos utilizados, incluindo a testemunha e KCl + MnSO₄, foram classificados como “muito baixo”, ou seja, apresentaram disponibilidade de Mn no solo inferior a 2 mg dm⁻³ de acordo com Ribeiro et al. (1999), com exceção do tratamento com SG na dose 8 mg dm⁻³ no solo arenoso que foi classificado como “baixo” teor de Mn no solo (Tabela 11). Portanto, é importante ressaltar que a maior dose de SG no solo arenoso foi capaz de mudar a

classificação de Mn no solo, aumentando o nível de fertilidade e a disponibilidade desse nutriente no solo.

Tabela 11. Teores de Mn nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses de siltito glauconítico.

Tratamento	Dose de Mn	Mn no solo	Mn acumulado			Total acumulado
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	1º corte	2º corte	3º corte	
		LVd				
Testemunha	0	0,113	2,701 +	0,591	0,398	3,690 +
	0,5	0,093	2,769 +	0,353	0,313 +	3,435 +
SG	2	0,357	3,111	0,548	0,809	4,468 +
	4	1,317 *+	3,894	1,236	1,225 *	6,355 *
	8	0,200	4,180	1,320 *	1,787 *+	7,287 *
KCl + MnSO ₄	2	0,313	4,530 *	0,995	0,805	6,330 *
DMS _{Dunnett}	-	0,200	1,400	0,600	0,500	1,400
CV (%)	-	27,400	20,420	36,580	27,430	14,700
		RQo				
Testemunha	0	0,220 +	0,670 +	0,011 +	0,100 +	0,781 +
	0,5	0,550 +	0,800 +	0,006 +	0,165	0,971 +
SG	2	1,290 *	1,190 +	0,017 +	0,335	1,542 +
	4	1,430 *	1,930 *	0,024 +	0,271	2,225
	8	2,450 *+	1,870 *	0,111 *	0,587 *+	2,568 *
KCl + MnSO ₄	2	1,280 *	2,340 *	0,197 *	0,346 *	2,883 *
DMS _{Dunnett}	-	0,400	0,700	0,100	0,300	0,800
CV (%)	-	17,930	39,100	106,900	48,290	24,500

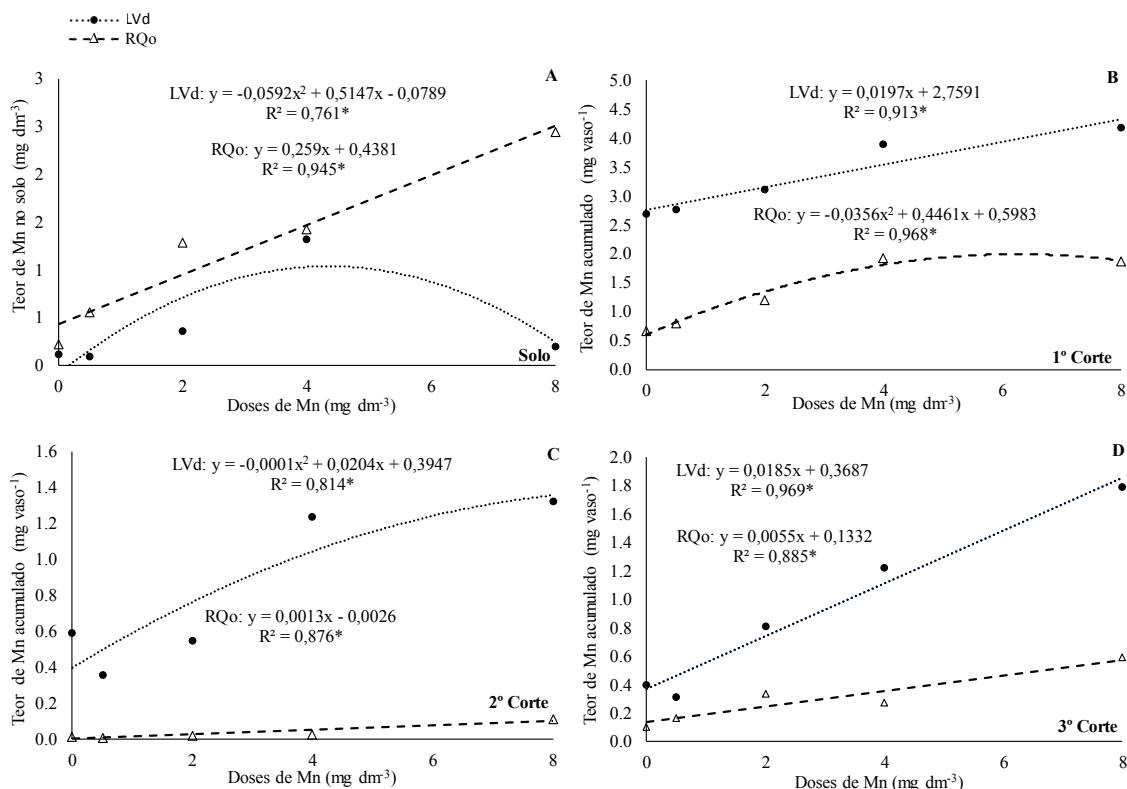
Médias diferem da testemunha (*) e do KCl + MnSO₄ (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores do nutriente acumulado na parte aérea, observa-se que, após o primeiro corte, as plantas cultivadas com as duas maiores doses de siltito glauconítico apresentaram teores semelhantes àquelas cultivadas com KCl + MnSO₄ para ambos os solos estudados, sendo que no arenoso essas doses também foram maiores que a testemunha (Tabela 11).

No segundo corte, no solo argiloso, os resultados ficaram muito similares, não havendo diferença entre o produto testado e a fonte padrão. No solo arenoso, somente a dose 8 mg dm⁻³ de Mn ficou semelhante ao KCl + MnSO₄ quanto à disponibilização do nutriente. No terceiro corte, para ambos os solos, foi observado que a maior dose do SG

apresentou resultado superior ao padrão quanto ao acúmulo do Mn na parte aérea das plantas (Tabela 11).

Ficou evidenciado que o SG na dose 8 mg dm⁻³ de Mn, para o solo argiloso e arenoso, apresentou excelentes teores de Mn acumulado na parte aérea, com resultados semelhantes ao padrão KCl + MnSO₄ no primeiro e segundo cortes, e superiores no terceiro corte, o que demonstra o potencial do produto em disponibilizar o nutriente em cultivos sucessivos. Inclusive, é possível observar que, após os três cortes, o acúmulo total de Mn na parte aérea das plantas de braquiária com SG nas doses 4 e 8 mg dm⁻³ de Mn é semelhante ao acúmulo da fonte padrão utilizada (Tabela 11).



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 10. Teor de Mn no solo (A) após três cortes e Mn acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú no primeiro (B), segundo (C) e terceiro cortes (D), em função da aplicação de doses crescentes de Mn proveniente do siltito glauconítico, em LVd e RQo.

Os teores de Mn em RQo aumentaram significativamente com o incremento nas doses de SG, ocasionando acréscimos de 260 mg de Mn a cada g de Mn proveniente do SG

adicionada ao solo (Figura 10A). Pela figura 10B é possível observar que, nas plantas cultivadas em solo argiloso, houve maior acúmulo de Mn com o aumento da dose de SG utilizada e que, nas plantas cultivadas no solo arenoso, o teor máximo 2 mg dm^{-3} de Mn acumulado foi atingido quando se aplicou a dose 6 mg dm^{-3} do nutriente. Também ocorreram aumentos nos teores de Mn acumulado com o incremento das doses do produto no segundo corte (Figura 10C). Além disso, pode-se observar na figura 10D que o aumento das doses do produto resultou em aumentos lineares nos teores de Mn acumulado em plantas de *Urochloa* após o terceiro corte, demonstrando o bom efeito da fonte em disponibilizar Mn para as plantas.

3.6 Magnésio no solo e acumulado na parte aérea

O clima tropical predominante no Brasil propicia ambientes oxidantes e solos de pH ácidos, os quais têm pouca disponibilidade de nutrientes como P, Ca Mg, K e Mo (NAHASS; SEVERINO, 2009). Por isso, torna-se interessante o uso de fertilizantes alternativos que têm a capacidade de fornecer vários nutrientes complementares, como o siltito glauconítico.

Nesse estudo foram utilizadas doses crescentes do siltito glauconítico nos solos, portanto espera-se que quanto maior a dose do produto, maior a quantidade dos nutrientes disponíveis, inclusive Mg. No entanto, as doses dos tratamentos foram equilibradas quanto ao fornecimento de Mg, adicionando MgCO_3 nos solos em quantidades proporcionais às doses utilizadas das fontes para elevar a saturação de bases dos solos.

As doses 2, 8 e 16 t ha^{-1} de siltito glauconítico apresentaram maior teor de Mg no solo que a testemunha, e que o KCl no solo argiloso, com exceção da dose 16 t ha^{-1} de SG, que não diferiu do KCl. No solo arenoso, as doses 8, 16 e 32 t ha^{-1} de SG diferiram da testemunha em relação ao teor de Mg no solo, porém somente a menor dose citada apresentou valor superior à fonte padrão, além da dose 2 t ha^{-1} de SG (Tabela 12).

As quantidades de MgCO_3 adicionadas nos solos, nos tratamentos com SG, na menor dose, e KCl, foram 525 e 560 mg dm^{-3} de MgCO_3 , respectivamente, sendo proporcionais às quantidades iniciais de Mg contida em cada fonte. Como as quantidades adicionadas de Mg foram muito próximas, é possível comprovar que o SG é eficiente em disponibilizar Mg ao meio, uma vez que houve maior disponibilização do Mg proveniente do SG do que com o KCl. Prova disso é a mudança na classificação da quantidade disponível de Mg obtida no solo pelo tratamento com SG. Em Lvd, os teores disponíveis

de Mg no solo proveniente do tratamento com KCl foram classificados como “médio” ($0,46 \text{ cmol}_{\text{c}}\text{dm}^{-3}$ a $0,9 \text{ cmol}_{\text{c}}\text{dm}^{-3}$), enquanto que os teores de Mg disponíveis no solo provenientes da menor dose de SG foram classificados como “bom” ($0,91$ a $1,5 \text{ cmol}_{\text{c}}\text{dm}^{-3}$), (RIBEIRO et al., 1999). No solo arenoso, as mesmas fontes foram classificadas como “médio” e “muito bom” (valor superior a $1,5 \text{ cmol}_{\text{c}}\text{dm}^{-3}$), respectivamente (RIBEIRO, et al. 1999). Tais resultados comprovam que a fonte SG libera gradualmente os nutrientes no solo.

Tabela 12. Teores de Mg nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses de siltito glauconítico.

Tratamento	Dose do produto Kg ha ⁻¹	Mg no solo cmol _c dm ⁻³	Mg acumulado			Total acumulado
			1º corte mg vaso ⁻¹	2º corte mg vaso ⁻¹	3º corte mg vaso ⁻¹	
Testemunha	0	0,1 +	374,1 +	59,9 +	21,1 +	455,1 +
SG	2000	1,0 *+	617,8	38,6 +	16,9 +	673,3 +
	8000	0,7 *+	393,8 +	53,8 +	36,6 *	484,2 +
	16000	0,4 *	510,1	55,3 +	35,1 *	600,5 +
	32000	0,2 +	311,1 +	89,0 *+	18,6 +	418,7 +
KCl	267	0,5 *	698,8 *	250,2 *	33,8 *	982,8 *
DMS _{Dunnett}	-	0,2	207,9	29,9	9,4	207,5
CV (%)	-	19,9	24,4	26,1	19,0	20,4
Testemunha	0	1,4 +	71,5 +	14,0 +	3,5 +	89,0
SG	2000	1,6 +	137,3 +	14,2 +	11,1 *+	162,2 +
	8000	1,1 **+	143,5 **+	37,9 +	22,4 *	203,8 **
	16000	0,7 *	243,4 **+	37,8 +	13,7 **+	294,9 **
	32000	0,4 **+	244,1 **+	128,3 *	14,2 **+	386,6 **
KCl	267	0,5 *	492,4 *	154,6 *	22,2 *	669,2 *
DMS _{Dunnett}	-	0,2	45,5	17,8	4,7	45,2
CV (%)	-	8,9	14,0	19,9	18,7	10,3

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Quanto ao teor de Mg acumulado no primeiro corte do solo argiloso, somente as doses 8 e 32 t ha⁻¹ de SG apresentaram resultados inferiores ao KCl, porém todas as doses foram semelhantes à testemunha. Já no solo arenoso, o produto teve menor acúmulo do Mg quando comparado à fonte padrão em todas as doses do SG (Tabela 12).

É importante ressaltar que, em ambos os solos, a dose 32 t ha⁻¹ do produto utilizada teve o menor resultado em comparação aos demais tratamentos, destacando que, apesar de ser a maior dose do produto, esta apresentou teor de Mg inferior ao KCl, uma vez que não

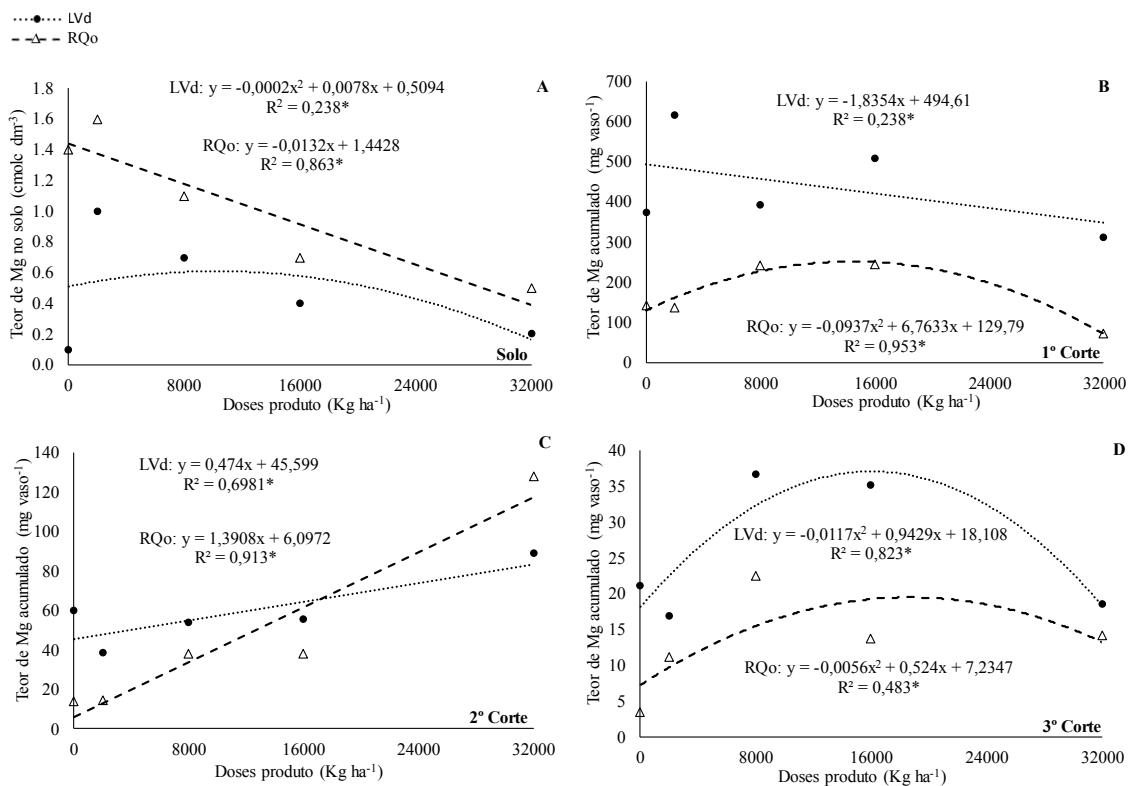
foi adicionado $MgCO_3$ como nos outros tratamentos, portanto, o Mg liberado pela fonte não foi suficiente para a absorção das plantas, causando impacto na produtividade (Tabela 12).

No segundo corte, para os dois solos, os tratamentos realizados com SG tiveram resultados semelhantes à testemunha e menor acúmulo de Mg em relação à fonte padrão, com exceção da maior dose de produto utilizada no solo arenoso que não diferenciou do KCl, o que pode ser explicado pela liberação gradual do Mg pela fonte.

Já no terceiro corte, as doses 8 e 16 $t\ ha^{-1}$ de SG do solo argiloso e 8 $t\ ha^{-1}$ de SG do arenoso apresentaram valores semelhantes ao KCl quanto ao acúmulo de Mg na parte aérea da planta, sendo inferior nas demais doses (Tabela 12). Mesmo a fonte possuindo característica de solubilização gradual do nutriente ao longo do tempo, e, portanto, sendo esperado que o teor acumulado de Mg nas plantas aumentasse na maior dose de SG, as quantidades acumuladas de Mg nas plantas foram menores que na fonte padrão.

Isso é explicado pela quantidade de $MgCO_3$ adicionada nas fontes estudadas de forma proporcional à quantidade existente de Mg em cada produto. Como o SG possui Mg em sua composição, à medida que se foi utilizando doses crescentes do produto, a quantidade de $MgCO_3$ adicionada foi diminuindo, ao ponto que na maior dose de SG não foi adicionada nenhuma quantidade de $MgCO_3$. Então, a rocha foi eficiente ao disponibilizar o Mg para as plantas, pois na dose de 16 $t\ ha^{-1}$ de SG foram adicionados 280 $mg\ dm^{-3}$ de $MgCO_3$, enquanto que no padrão comparado foi aplicado o dobro da quantidade de $MgCO_3$ e os resultados de Mg acumulado nas plantas do solo argiloso foram similares entre as fontes comparadas.

Os teores de Mg nos solos para o siltito glauconítico foram decrescentes conforme figura 11A, diminuindo de acordo com aumento das doses do produto. Como foram adicionadas quantidades proporcionais de Mg às doses utilizadas das fontes, nos tratamentos com as menores doses de SG adicionou-se maior quantidade de $MgCO_3$, logo esse maior teor de Mg nos solos, nas menores doses, deveu-se ao fato da adição do $MgCO_3$ e não ao produto, pois nas maiores doses do SG essa adição foi diminuindo e consequentemente também o teor de Mg no solo. Esse fato é comprovado na dose de 32 $t\ ha^{-1}$ de SG, onde não foi adicionada nenhuma quantidade de Mg no SG (Tabela 7), a não ser a fornecida pelo próprio produto e, por isso, é a concentração que possui menor quantidade do nutriente no solo, pois, todo o Mg que o produto disponibilizou a planta absorveu, atingindo, portanto, baixos teores de Mg no solo. Mesmo comportamento decrescente foi observado no primeiro corte (Figura 11B).



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 11. Teor de Mg no solo (A) após três cortes e Mg acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú no primeiro (B), segundo (C) e terceiro cortes (D), em função da aplicação de doses crescentes Mg provenientes do siltito glauconítico, em LVd e RQo.

Na figura 11C o teor de Mg acumulado na parte aérea das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú aumentou com o acréscimo das doses do siltito glauconítico adicionado ao solo, possuindo incremento de 474 mg e 1390 mg de Mg a cada g de Mg proveniente do produto. Já no terceiro corte, os teores máximos de Mg acumulado na parte aérea da forrageira obtidos com o SG foram 37 e 19,5 mg vaso⁻¹ nos solos argiloso e arenoso, respectivamente (Figura 11D).

3.7 pH do solo

Aos 168 DAS pode-se observar que, no solo argiloso, em todas as doses do siltito glauconítico não houve diferenças nos valores do pH com a testemunha e com os adicionais KCl, KCl + Wollastonita e KCl + MnSO₄ (Tabela 13).

Já no solo arenoso, os valores de pH do siltito glauconítico foram todos inferiores à testemunha, sendo o controle superior também aos adicionais positivos KCl, KCl + Wollastonita e KCl + MnSO₄ (Tabela 13). O pH no solo para o siltito glauconítico foi decrescente conforme figura 12, diminuindo de acordo com aumento das doses do produto. No entanto, os resultados obtidos do fertilizante testado não tiveram diferenças quanto aos padrões comparados.

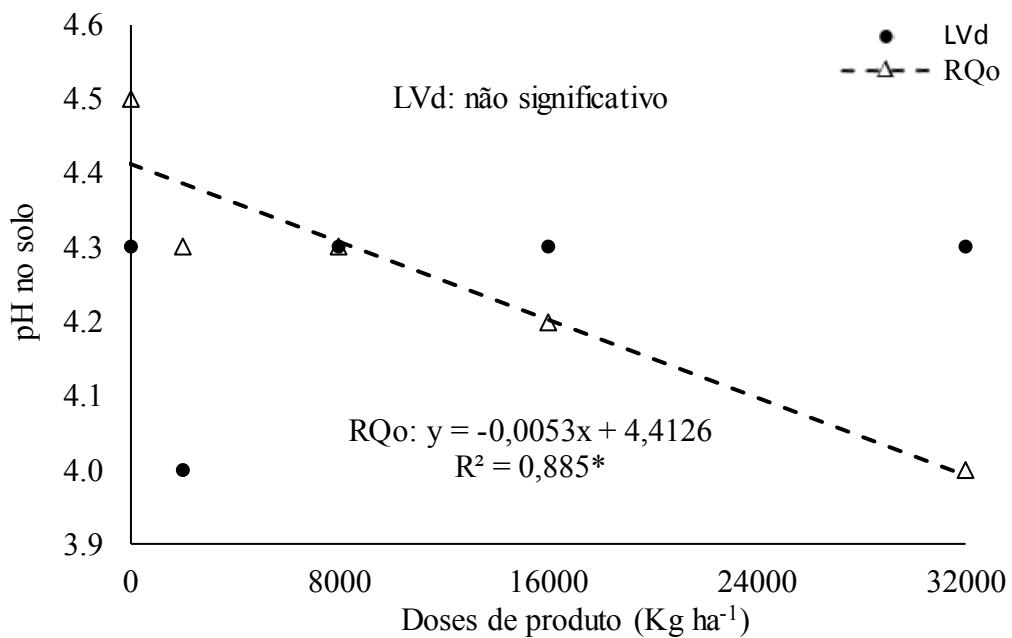
O maior efeito tampão do solo argiloso em relação ao solo arenoso, ou seja, a maior resistência do solo à mudança de pH, pode ser a causa de não ter ocorrido o aumento desse valor com o acréscimo das doses do produto testado (Figura 12). Os solos em questão, além de serem considerados ácidos, também possuem baixa saturação de bases e, consequentemente, alta saturação por alumínio, tanto que apresentam V% de 4 e 7 e m% de 73 e 71 nos solos argilosos e arenosos, respectivamente.

A quantidade de Mg no siltito glauconítico é pequena (1 %, Tabela 6) assim, não é possível ter grande variação no valor de pH, em função da sua aplicação do produto. Por outro lado, a redução da dose de MgCO₃ utilizada para equilibrar os teores de Mg no solo (Tabela 7) pode justificar a aparente redução do pH, fato evidente no solo arenoso (Tabela 13).

Tabela 13. pH nos solos LVd e RQo aos 168 DAS de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico.

Tratamento	Dose do produto	Dose de K ₂ O	Dose de Si	Dose de Mn	pH	
	Kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	LVd	RQo
Testemunha	0	0	0	0	4,30	4,52 ^{+αΔ}
SG	2000	5	270	0,5	3,97	4,31 *
	8000	20	1080	2	4,31	4,29 *
	16000	40	2160	4	4,33	4,24 *
	32000	80	4320	8	4,29	4,08 *
	KCl	267	80	0	4,21	4,30 *
KCl + Wollastonita	2348	80	270	0	4,27	4,14 *
KCl + MnSO ₄	13	80	0	2	4,01	4,03 *
DMS _{Dunnnett}	-	-	-	-	0,40	0,30
CV (%)	-	-	-	-	4,80	3,30

Médias diferem da testemunha (*), do KCl (+), KCl + Wollastonita (α) e KCl + MnSO₄ (Δ) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 12. Valores de pH nos solos LVd e RQo cultivados com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de siltito glauconítico, após os três cortes.

4 CONCLUSÕES

O SG promoveu aumento no acúmulo de K, Si e Mn na parte aérea e a MSPA em função de doses.

O SG apresenta o Índice de Eficiência Agronômica inferior ao KCl aos 68 e 104 DAS, porém, de 2,7 a 3 vezes maior que o KCl nos solos argiloso e arenoso, respectivamente, aos 168 DAS (terceiro cultivo), demonstrando maior efeito residual.

O SG é eficiente em disponibilizar os nutrientes K, Si, Mn e Mg para as plantas em cultivos sucessivos, devido à liberação gradual a longo prazo e ao alto efeito residual da fonte.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G. et al. Geotecnologia - Recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis (FGV)**, [S.I.], v. 36, p. 30-33, 2016.

ARANTES, V. A. **Aplicação de silício para arroz de sequeiro cultivado em material de quatro solos fase cerrado**. Uberlândia, 1997. 42 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1997.

ARRIETA, R. G. **Reatividade e eficiência agronômica do verdete e verdete calcinado como fertilizantes multinutrientes no arroz inundado**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BONFIM-DA-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S.I.], v. 35, n. 4, p. 1289-1297, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA, 2017. 240 p.

BRAZ, A. J. B. P. et al. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e de capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.I.], v. 34, n. 2, p. 83-87, 2004.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195-196, p. 234-242, 2013a.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.006>

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 673-681, 2013b.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600013>

COSTA, K. A. de P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V. **Adubação nitrogenada para pastagens do gênero Brachiaria em solos do Cerrado**, [S.I.], Embrapa Arroz e Feijão-Documents (INFOTECA- E), 2006.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. Ver., atual e ampl. Belém, 2011.

DUARTE, I. D. **Termopotássio**: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, 2017. 575 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Brasília, 2014. 376 p.

FRANÇA, L. V. **Viabilidade de produção de sementes de Brachiaria brizantha Stapf cv. Marandú em Cabeceiras - GO**. Brasília: UPIS, 2005. 35 p. (Boletim técnico).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

HEINRICHS, R. et al. Doses and sources of nitrogen fertilizer and their effects on soil chemical properties and forage yield of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. **Semina: Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1747-1756, 2012.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1745>

KAHN, H.; TASSINARI, M. N.; ANTONIASSI, J. L. **Estudo de caracterização mineralógica em amostra de verdete**. [S.I.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Caracterização Tecnológica, 2011. (Relatório interno – Verde Fertilizantes Ltda., maio 2011).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, F. L.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA arroz e feijão, 2003. 570 p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, M. Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças. **Boletim informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”**, [S.I.], n. 87, p. 8-12, 1999.

LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. Estratigrafia do grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático do Cedro do Abaté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 204-215, 2007.
<https://doi.org/10.25249/0375-7536.200737S4204215>

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, S. F. Agrominerais rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas e Minerais Industriais**. 2. ed. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, 2008, p. 205-223.

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA de, D. G. Acúmulo de silício e tolerância ao déficit hídrico em capins do gênero *Brachiaria*. **Science Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400022>

NAHASS, S.; SEVERINO, J. Calcário Agrícola no Brasil. In: LAPIDO LOUREIRO, F. E.; MELAHMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Coord.). **Fertilizantes agroindustriais e sustentabilidade**, [S.l.], CETEM/MCT, 2009. 645 p.

OLIVEIRA, F. A. et al. Efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja. **Espaço & Geografia**, Londrina, v. 9, n. 2, p. 247-262, 2006a.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SALINET, L. H. Adubação potássica residual com rochas silicáticas para a cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição das Plantas, 27. Bonito. Fertibio 2006. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. (CD-ROOM). (Documentos, 82).

OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz de diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 685-690, 2007.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400009>

PIZA, P. A. T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Verdete do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 17., 2009, **Anais...** Rio de Janeiro, 2009.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RESENDE, A. V. et al. O suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas *in natura* na Agricultura Brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, Planaltina, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006a.

RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, Planaltina, v. 9, n. 1, p.135-161, 2006b.

SANTOS, D. S. **Rochagem como alternativa para fornecimento de potássio para as culturas**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013.

SANTOS FILHO, L. F. Seed production: perspective from the Brazilian private sector. In: MILESJ. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT, 1996, p. 141-146.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 22, n. 12, p. 1853-1903, 1999.

SCHUNKE, R. M. **Alternativas de manejo de pastagens para melhor aproveitamento do nitrogênio de solo**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 26 p. (Documentos, 111).

SILVA, A. A. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S. Caracterização do verde de cedro do Abaeté para o desenvolvimento de um material com liberação controlada de potássio. **HOLOS**, [S.l.], ano 28, v. 5, 2012a.

SILVA, A. E. et al. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 323-333, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200015>

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES – SPSS. **SPSS 10.0.5 Standard Version for Windows**. SPSS Inc. Statistical Analysis Using SPSS. Chicago, 2001. (Software).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U. S. EPA. **Method 3050B**: acid digestion of sediments, sludges and soils. Washington: EPA. 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U. S. EPA. **Method 3051A**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soil and oils. Washington: EPA. 2007.

CAPÍTULO II - Siltito glauconítico calcinado como fertilizante para *Urochloa brizantha* cv. Marandú

RESUMO

VIOLATTI, I. C. A. **Siltito glauconítico calcinado como fertilizantes para *Urochloa brizantha* cv. Marandú.** 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁵.

O Brasil é um grande importador mundial de fertilizantes potássicos. Devido a isso, empresas brasileiras têm buscado fontes alternativas para suprir essa necessidade através de rochas que contêm o mineral. Objetivou-se avaliar a eficiência agronômica do siltito glauconítico calcinado microgranulado e farelado fino, na cultura *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), como fonte de K, Si, Mn, Ca e Mg. Foram conduzidos dois experimentos em vasos cultivados com braquiária, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênio órtico típico (RQo). Os tratamentos foram constituídos por doses de K₂O provenientes do siltito glauconítico calcinado (80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O), além de um tratamento adicional controle (0 mg dm⁻³ de K₂O) e dois tratamentos adicionais positivos para comparação (KCl na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O e KCl + Wollastonita, na dose 80 mg dm⁻³ de K₂O + 390 mg dm⁻³ de Si). Foram realizados três cortes sucessivos da cultura, bem como coletadas amostras de solo após terceiro corte, visando avaliar o efeito residual da fonte. O SGC aumentou os teores de MSPA e o acúmulo dos nutrientes nas plantas (K, Si, Mn e Ca), apresentando resultados superiores ao KCl nas três maiores doses utilizadas. O IEA (%) das fontes testadas, no terceiro cultivo, foi superior ao do padrão, sendo 2 a 3 vezes maiores que o KCl para o microgranulado e farelado fino, respectivamente. As fontes testadas foram eficientes ao disponibilizar K, Si, Mn e Ca para as plantas, sendo que, na maioria dos tratamentos, as fontes responderam de forma semelhante aos padrões.

Palavras chave: Termofertilizantes. Calcinação. Silício. Efeito residual. Granulometria.

⁵ Comitê Orientador: Hamilton Seron Pereira – UFU (Orientador)

CHAPTER II – Calcined glauconitic siltite as a fertilizer for *Urochloa brizantha* cv. Marandú

ABSTRACT

VIOLATTI, I. C. A. **Calcined glauconitic siltite as a fertilizer for *Urochloa brizantha* cv. Marandú** 2018. 132 p. Tese (Masters in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia⁶.

Brazil is a major importer of potassic fertilizers worldwide. Due to this, Brazilian companies have looked for alternative sources to supply the need through rocks that contains the mineral. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of the calcined glauconitic siltite microgranulated and fine granulated in the culture *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), as a source of K, Si, Mn, Ca and Mg. Two experiments were performed on pots cultivated with brachiaria, in a Typic Dystrustox (clayey soil) and in a Typic Quartzipsamment (sandy soil). The treatments consisted of K₂O doses from the calcined glauconitic siltite (80, 160, 240 and 320 mg dm⁻³ of K₂O), as well as an additional control treatment (0 mg dm⁻³ of K₂O) and two additional positive treatments for comparison (80 mg dm⁻³ of K₂O and KCl + Wollastonite at a dose of 80 mg dm⁻³ K₂O + 390 mg dm⁻³ of Si). Three successive crop cuts were performed, as well as soil samples collected after the third cut in order to evaluate the residual effect of the source. The CGS increased in the levels of DMAP and the accumulation of nutrients in plants (K, Si, Mn and Ca), presenting higher results than KCl in the three higher doses used. The AEI (%) of the sources tested, in the third crop, was superior to the standard source, being 2 to 3 times greater than the KCl for the microgranulate and fine flour, respectively. The source tested was efficient in providing K, Si, Mn and Ca to the plants, and in most treatments, the source responded similarly to the standard treatments.

Keywords: Thermofertilizers. Calcination. Silicon. Residual effect. Granulometry.

⁶ Supervising Committee: Hamilton Seron Pereira – UFU (Advisor).

1 INTRODUÇÃO

O siltito glauconítico apresenta grande potencial para exploração comercial, porém há necessidade de uma tecnologia que aumente a solubilidade do potássio contido na rocha e o torne viável para a utilização agrícola. A calcinação é um tratamento térmico empregado no siltito glauconítico, no qual é adicionado CaCO_3 com posterior aquecimento para acarretar a desagregação dos minerais do silicato e liberação do potássio presente na rocha (FRAYA, 1950; HOROWITZ et al., 1978), originando dessa reação o produto denominado siltito glauconítico calcinado. Como vantagens dessa técnica, destacam-se, principalmente, a facilidade operacional e o custo relativamente baixo.

O siltito glauconítico calcinado é uma fonte alternativa de nutrientes derivada dos processos industriais de rocha silicatada potássica que apresentam minerais de baixa solubilidade, como o quartzo, feldspato potássico, muscovita e biotita (PIZA et al., 2009). Esse fertilizante, obtido a partir do beneficiamento do siltito glauconítico, pode complementar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, pois fornece o potássio, além de cálcio, magnésio e silício (TOLEDO PIZA et al., 2011; FURTINI, 2012; DUARTE, 2012; FRIEDERICH et al., 2013). Os nutrientes Ca e Mg podem proporcionar correção química do solo eliminando os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1981; VITTI et al., 2008). Para Espstein (2001), culturas adubadas com Si possuem alguns efeitos benéficos relatados tais como resistência a doenças e pragas, resistência à toxicidade dos metais, menor evapotranspiração, efeitos na atividade de enzimas e efeitos na composição mineral.

Além disso, uma das vantagens do siltito glauconítico calcinado é que apresenta baixa solubilidade em água quando comparado à principal fonte potássica utilizada (KCl), o que pode reduzir as perdas desse mineral no perfil do solo (DUARTE et al., 2013) e proporcionar uma lenta liberação do potássio ao longo do tempo (DUARTE, 2012).

Considerando todas as vantagens e benefícios dessa fonte alternativa, a Companhia Verde desenvolveu o SGC em diversas granulometrias, sendo que o SGC microgranulado e o SGC farelado fino foram os que obtiveram melhores resultados nos testes de incubação. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade e eficiência agronômica do siltito glauconítico calcinado, microgranulado e farelado fino, na solubilização, liberação, absorção e acúmulo pelas plantas do K, Ca, e Si em relação às fontes padrão de K e Si.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização química e física do produto

A rota da produção do siltito glauconítico calcinado (SGC), comercialmente denominado TK47®, foi desenvolvida para produção, em escala piloto, a partir da rocha potássica caracterizada como siltito glauconítico, contendo um teor de 10 a 11% de K₂O.

A produção do fertilizante constitui-se na mistura da rocha potássica com o calcário em proporção pré-definida de 1:5 (CaCO₃/ siltito glauconítico), seguida por moagem e calcinação em forno rotativo numa temperatura aproximada de 1000°C, por um período de 1 hora. O produto calcinado, obtido logo após o resfriamento, é referente ao siltito glauconítico calcinado que, em seguida, é moído novamente a uma granulometria de 300 mesh, sendo a granulometria de 0,5 mm caracterizada como farelado fino. Já, o SGC microgranulado passa 100% na peneira de 2,8 mm e 96% fica retido na peneira de 1mm.

A figura 13 é referente ao forno rotativo existente em planta piloto, localizada em Santa Luzia – MG.

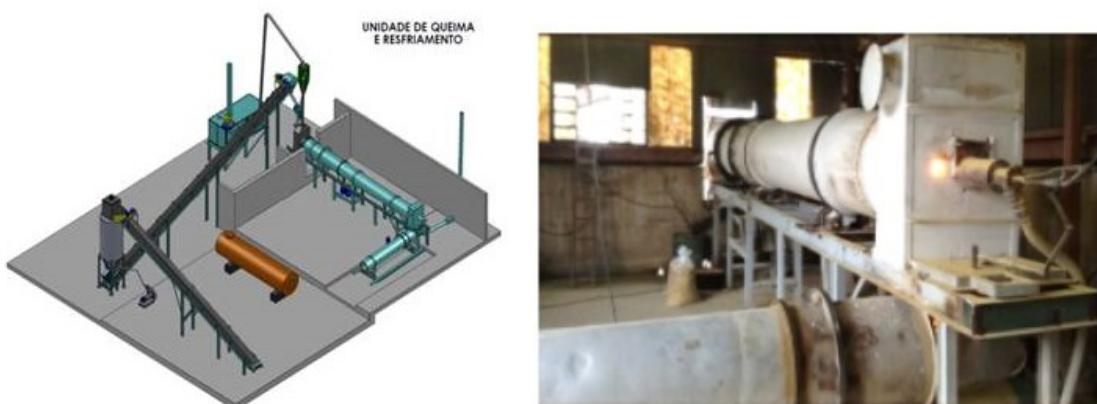


Figura 13. Esquema do forno rotativo em escala piloto para produção do TK47.

O forno rotativo utilizado para a calcinação do TK47 tem dimensões de 8m de comprimento por 0,40 m de diâmetro, com uma capacidade nominal de 100 kg h⁻¹, voltado para fins de pesquisa e desenvolvimento de processos.

O processo inicia-se pela rocha *in natura* e possui etapas de extração, britagem, secagem, mistura/moagem (adição de calcário britado), calcinação, resfriamento, secagem e moagem, resultando na produção do siltito glauconítico farelado fino.

2.2 Caracterização do experimento e fontes utilizadas

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação e localizados na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na coordenada 18°53'04"S 48°15'35"O, em Uberlândia, Minas Gerais, no período de 07/09/2016 a 21/02/2017. Os experimentos foram conduzidos com a cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandú (Syn. *Brachiaria brizantha*), utilizando dois solos diferentes, sendo um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e o outro um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) (EMBRAPA, 2014), coletados em Uberlândia/MG (18°54'14,4"S 48°11'13,3"O) e Santa Vitória/MG (18°53'19,4"S 50°02'46,0"O), respectivamente, na camada de 0 – 20 cm de profundidade, cujas características físicas e químicas estão expostas nas Tabelas 14 e 15, respectivamente.

Tabela 14. Caracterização física dos solos utilizados no estudo.

Solos	Areia	Areia	Silte	Argila
	Grossa	Fina		
----- g kg ⁻¹ -----				
LVd – Latossolo Vermelho distrófico típico	90	43	33	834
RQo – Neossolo Quartzarênico órtico típico	626	228	1	145

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2014).

Tabela 15. Caracterização química dos solos utilizados no estudo.

Solo	pH	Si	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	t	V	m	M.O.
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	%	-----	g kg ⁻¹
LVd	4,4	6,6	0,7	0,5	0,2	0,0	0,25	7,3	0,96	4	73	40
RQo	4,4	3,3	1	0,5	0,2	0,1	0,35	5,2	1,4	7	71	15

Si em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; K extração com Mehlich-1; Al, Ca, Mg em KCl 1 mol L⁻¹; SB = soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al; M.O. em Walkley-Black - EMBRAPA, 2017.

Previamente à instalação dos experimentos foram realizadas, no Laboratório de Fertilizantes (LAFER) do Instituto de Ciências Agrárias da UFU, a caracterização das fontes a serem avaliadas quanto à natureza física (Tabela 16) e aos teores de macronutrientes, micronutrientes K₂O e Si solúvel e total (Tabela 17), seguindo metodologias propostas por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al. (2004).

A fonte estudada foi utilizada em duas diferentes granulometrias, farelado fino e microgranulado. Para a obtenção da Wollastonita e KCl na forma em pó, as amostras de fertilizantes granulados utilizadas nas análises foram moídas e peneiradas em peneira de 50 mesh (malhas/polegada), garantindo assim uma granulometria homogênea para todas as fontes.

Tabela 16. Caracterização física das fontes padrão e das fontes testadas.

Fonte	Natureza física	Especificações granulométricas (mm)
KCl (padrão de K)	Pó	< 2
Wollastonita (padrão de Si)	Pó	< 2
Siltito glauconítico	Microgranulado	1,0 a 2,8
	Farelado fino	0,5 a 3,3

Tabela 17. Caracterização química das fontes padrão e das fontes testadas.

Fonte	K ₂ O		Ca	Mg	Si		Fe	Mn
	Total	Solúvel			Total	Solúvel***		
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
KCl (padrão K)	60	60*	-	-	-	-	-	-
Wollastonita (padrão Si)	-	-	30,3	1,1	23	12	-	-
Siltito glauconítico	7	5**	20	3	17	3,7	3	0,05

(-) não possui o elemento em sua composição. (*) solúvel em água. (**) solúvel em ácido cítrico 2%, 1:500.

(***) Solúvel em NH₄NO₃ + Na₂CO₃.

2.3 Condução dos experimentos

2.3.1 Tratamentos

De acordo com Ribeiro et al., 1999, devem ser considerados a disponibilidade de K no solo e o nível tecnológico adotado, para recomendação das doses de K₂O para pastagens na fase de estabelecimento. As doses fornecidas do siltito glauconítico calcinado foram crescentes, por ser esse um mineral insolúvel e a porcentagem de K₂O dessa rocha variar entre 7 e 14%. O tratamento com Wollastonita teve sua dose de 390 mg dm⁻³ de Si definida pela quantidade de Si total fornecida pela 2^a menor dose do fertilizante testado, 160 mg dm⁻³ de K₂O (Tabela 18). Para efeito de cálculo, todas as doses dos tratamentos foram

convertidas em mg dm⁻³ de solo (160 kg ha⁻¹ de K₂O equivalente a 80 mg dm⁻³ de K₂O por dm solo), (Tabela 18).

Utilizou-se uma testemunha absoluta como tratamento adicional controle e as fontes KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O + 390 mg dm⁻³ de Si) como tratamentos adicionais positivos, conforme Tabela 18. Também foi realizado um ajuste nos teores de CaCO₃ e MgCO₃ para que todos os tratamentos recebessem as mesmas quantidades de Ca e Mg.

Tabela 18. Fertilizantes e doses aplicados, nos solos argiloso e arenoso, em cada tratamento.

Tratamento	Fonte ^(*)	Fertilizante kg ha ⁻¹	Doses			
			K ₂ O	Si	CaCO ₃ * mg dm ⁻³	MgCO ₃ *
1	Testemunha	0	0	0	2320	480
2	KCl	267	80	0	2320	480
3	Wollastonita	3390	80	390	1035	415
4	SGC microgranulado	2286	80	195	1740	360
5	SGC microgranulado	4571	160	390	1160	240
6	SGC microgranulado	6857	240	585	580	120
7	SGC microgranulado	9143	320	780	0	0
8	SGC farelado fino	2286	80	195	1740	360
9	SGC farelado fino	4571	160	390	1160	240
10	SGC farelado fino	6857	240	585	580	120
11	SGC farelado fino	9143	320	780	0	0

(*) Quantidade de CaCO₃ e MgCO₃ para equilibrar o Ca e o Mg fornecido pelos tratamentos e elevar a saturação de bases a valores próximos a 90% para o solo arenoso e 70% no solo argiloso.

2.3.2 Semeadura, adubação e manejo da cultura

Antes da semeadura, os solos receberam 200 mg dm⁻³ de N e 400 mg dm⁻³ de P₂O₅, provenientes do sulfato de amônio e superfosfato triplo, respectivamente. Os micronutrientes foram fornecidos via solução nas doses de 1,5, 5, 0,5 e 0,05 mg dm⁻³ de Cu, Zn, B e Mo via CuSO₄.5H₂O, ZnSO₄.7H₂O, H₃BO₃ e (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O. O Mn só foi fornecido no tratamento KCl + Sulfato de Manganês.

A semeadura foi realizada na profundidade aproximada de 2 cm, distribuindo-se 10 sementes por vaso. Aos 15 dias após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo um estande de 5 plantas por vaso. Aos 30, 40, 65 e 82 dias, após a semeadura (DAS), foi realizada a adubação de cobertura com 50 mg dm^{-3} de N com sulfato de amônio, e aos 116 DAS com nitrato de amônio.

As parcelas foram irrigadas manualmente, todos os dias, visando manter a umidade dos vasos e diminuir as perdas por evapotranspiração.

Aos 55 DAS, aplicou-se o produto Actara® (Thiametoxam 250 g kg⁻¹) na dose de 1g L⁻¹ de água para o controle de pulgões. Também se realizou uma aplicação de micronutrientes via foliar aos 141 DAS, nas doses de 2,86 g H₃BO₃ (17% de B), 1,67 g MnSO₄.H₂O (30% de Mn), 0,40 g ZnSO₄.7H₂O (21% de Zn), 0,10 g de CuSO₄.5H₂O (24% de Cu) e 0,04g NH₄MoO₄.2H₂O (40% de Mo).

2.4 Avaliações

2.4.1 Parte aérea

Com auxílio de uma tesoura de poda, foram realizados três cortes da parte aérea das plantas aos 68 (Figura 1), 104 e 168 DAS, aproximadamente a 4 cm acima do nível do solo. Posteriormente, as amostras da parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à estufa à 65° C por 72 horas. Após a secagem, foram obtidos os valores da matéria seca da parte aérea (MSPA) e teores de K, Mn e Si, na parte aérea foram analisados, seguindo as metodologias descritas por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al. (2004).

2.4.2 Análises de solo

Após o 3º corte da parte aérea (168 DAS), foram retiradas amostras de solo de cada vaso, coletando-se 5 pontos por vaso com auxílio de um "mini-trado". Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa à 45°C por 24 horas. Em seguida, foram realizadas análises químicas das amostras de solo que consistiram na determinação de Si, K, Ca, Mg e pH, conforme a metodologia descrita por EMBRAPA (2017) e Korndörfer et al. (2004).

2.4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA)

Com os dados obtidos de matéria seca da parte aérea (MSPA) da braquiária calculou-se o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do siltito glauconítico calcinado, microgranulado e farelado fino na dose de 80 mg dm⁻³ de K₂O, para cada tipo de solo baseado na mesma dose do fertilizante padrão KCl, conforme a Equação 1:

$$\text{I.E.A (\%)} = \frac{\text{MSPA da fonte} - \text{MSPA da testemunha}}{\text{MSPA do padrão} - \text{MSPA da testemunha}} \times 100$$

2.4.4 Percentual de K recuperado

Com os dados obtidos de K acumulado na parte aérea, provenientes das fontes siltito glauconítico calcinado, microgranulado e farelado fino, e KCl, na dose de 80 mg dm⁻³ de K₂O, e na testemunha, na dose de 0 mg dm⁻³ de K₂O, calculou-se a recuperação do potássio para cada tipo de solo, segundo a Equação 2:

$$\text{K recuperado (\%)} = \frac{\text{K acumulado da fonte} - \text{K acumulado da testemunha}}{\text{K aplicado no solo}} \times 100$$

2.5 Delineamento experimental e análises estatísticas

Os experimentos foram conduzidos em 88 parcelas totais, com quatro repetições em delineamento inteiramente casualizados (DIC), para a cultura da *Urochloa*. As parcelas foram constituídas de vasos plásticos de 6 L de capacidade, sendo preenchidos com 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA).

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), com teste de F a 0,05 de significância e análise de regressão. Ademais, os tratamentos foram comparados ao tratamento adicional controle (sem aplicação de fontes) e aos adicionais controles positivos (KCl e KCl + Wollastonita) pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância, pelo programa estatístico SPSS e ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA)

De maneira geral, no solo de textura argilosa, os resultados da matéria seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, tratados com siltito glauconítico calcinado microgranulado e farelado fino, foram similares aos obtidos na testemunha do primeiro corte. Por outro lado, o segundo e terceiro cortes apresentaram valores de MSPA superiores à testemunha quando tratados com SGC para as doses utilizadas da fonte. Já com o KCl, independentemente do corte realizado, todos os valores de MSPA obtidos foram maiores que o da testemunha, pois, devido ao fornecimento de K, houve maiores incrementos na produtividade da massa seca da forrageira (Tabela 19).

No solo argiloso, após o primeiro corte, ao comparar as fontes testadas com o tratamento adicional positivo KCl, as plantas apresentaram menor produção de massa seca, com exceção da dose 160 e 320 mg dm⁻³ de K₂O do SGC farelado fino. Já nos outros dois cortes, os resultados acumulados obtidos com o SGC farelado fino, nas doses 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O, foram maiores que o KCl, bem como com o microgranulado no terceiro corte, nas mesmas concentrações, demonstrando resposta positiva da rocha testada no incremento de produtividade da planta e disponibilização dos nutrientes, ao longo do tempo. Também é possível verificar que, devido a menor granulometria do SGC farelado fino, o poder de reação do fertilizante no meio é maior e a disponibilidade dos nutrientes ocorre mais rapidamente do que no SGC microgranulado (Tabela 19).

Observou-se, em LVd, que as médias de MSPA da forrageira quando tratadas com SGC farelado fino foram superiores no primeiro e segundo cortes e inferiores no último corte em relação ao SGC microgranulado. Ainda no terceiro corte, foi observada maior média do SGC microgranulado do que no farelado fino, o que é explicado devido à solubilização mais lenta dessa fonte, ou seja, nos dois primeiros cortes o SGC farelado fino foi mais eficiente ao disponibilizar os nutrientes e, por isso, a produção total de MSPA foi superior nas plantas tratadas com esta granulometria (Tabela 19).

Quanto ao solo arenoso, os resultados obtidos na MSPA da espécie forrageira, com o KCl e SGC, foram superiores aos da testemunha nos três cortes. Como no solo argiloso, o SGC farelado fino, nas doses de 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O do solo arenoso, apresentou resultados expressivamente maiores quanto ao acúmulo de MSPA do que o KCl para o segundo e terceiro corte, sendo superior também nas mesmas doses da fonte

microgranulada no último corte. Nos três cortes realizados nas plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, em RQo, as médias dos resultados de MSPA foram maiores com o SGC farelado fino (Tabela 19).

Tabela 19. Matéria seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado nos solos LVd e RQo.

Tratamento	Dose de K ₂ O mg dm ⁻³	MSPA			Total
		1º corte	2º corte	3º corte	
LVd					
Testemunha	0	24,0 +	6,3 +	3,8 +	34,1 +
	80	24,2 +	13,2 *	7,8	45,2 **
SGC microgranulado	160	35,6 **	18,5 *	15,1 **	69,2 *
	240	28,9 +	22,6 **	19,5 **	71,0 *
	320	29,6 +	10,4 +	23,5 **	63,5 *
	Média	29,6 b	16,1 b	16,5 a	62,2 b
SGC farelado fino	80	28,4 +	15,2 *	8,9 *	52,5 **
	160	57,1 **	22,6 **	12,6 **	92,3 **
	240	23,6 +	24,3 **	19,6 **	67,5 *
	320	54,8 *	23,6 **	16,0 **	94,4 **
	Média	41,0 a	21,4 a	14,3 b	76,7 a
KCl	80	45,8 *	15,8 *	8,4 *	70,0 *
DMS _{Dunnett}	-	9,7	5,4	4,2	11,1
CV (%)	-	13,6	15,5	15,3	8,3
RQo					
Testemunha	0	5,6 +	1,8 +	1,3	8,7 +
	80	14,0 **	5,3 +	4,8	24,1 **
SGC microgranulado	160	24,6 *	19,3 *	16,2 **	60,1 **
	240	17,1 **	18,7 *	16,9 **	52,7 *
	320	16,4 **	17,1 *	21,4 **	54,9 **
	Média	18,0 b	15,1 b	14,8 b	47,9 b
SGC farelado fino	80	17,7 **	15,0 *	7,8 **	40,5 *
	160	32,5 *	20,9 **	17,6 **	71,0 **
	240	27,8 *	37,1 **	21,8 **	86,7 **
	320	32,2 *	34,6 **	29,2 **	96,0 **
	Média	27,6 a	26,9 a	19,1 a	73,6 a
KCl	80	27,3 *	13,2 *	3,0	43,5 *
DMS _{Dunnett}	-	6,6	6,6	4,5	9,7
CV (%)	-	15,1	17,7	16,0	8,9

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Resultados similares foram encontrados por Duarte (2012) em estudo realizado com diversas doses de KCl, siltito glauconítico e siltito glauconítico calcinado, na cultura do milheto, em dois cultivos, ambos com colheita da parte aérea aos 34 DAS. No primeiro cultivo, verificou-se que independentemente da dose utilizada, o SGC não diferiu estatisticamente do KCl, apresentando desempenho agronômico semelhante à fonte padrão, e superior ao SG. No segundo cultivo, para todas as doses, o residual do produto SGC foi mais eficiente em aumentar a matéria seca da planta de milheto do que o KCl e SG.

Em estudo realizado por Arrieta (2017) na cultura do arroz com KCl, siltito glauconítico e siltito glauconítico calcinado microgranulado e farelado fino e colheita aos 130 dias, verificou-se que na maior dose de SGC farelado fino obteve-se o maior ganho de massa seca da parte aérea, sendo superior ao KCl.

Eicher e Lopes (1983) realizaram estudo para avaliar a eficiência do siltito glauconítico calcinado na cultura do milho. Os autores conduziram três cultivos sucessivos de milho em amostras de um LVd e constataram que a aplicação das misturas do siltito glauconítico de Abaté e calcário, em parte iguais, submetidas a uma temperatura de calcinação de 1100°C, proporcionou uma produção de massa seca equivalente ao KCl no primeiro cultivo, e maior nos cultivos subsequentes.

No presente trabalho, pode-se verificar, em LVd e RQo, que o SGC farelado fino foi eficiente, ao fornecer nutrientes para as plantas forrageiras ao longo dos cultivos, produzindo maior MSPA do que o KCl, no segundo e terceiro corte. O SGC microgranulado apresentou comportamento semelhante, porém, devido a menor solubilidade da fonte, obteve resultados superiores ao KCl apenas no último corte. Tais dados comprovam o alto efeito residual da rocha e eficiência em disponibilizar nutrientes a longo prazo. Já o KCl, por ser altamente solúvel, foi disponibilizado para o meio no primeiro corte, diminuindo o teor disponível no solo para cultivos sucessivos, ocorrendo menor extração pelas plantas no último corte e estando passível a perdas por lixiviação.

Além disso, o SGC microgranulado e farelado fino possui em sua composição química, principalmente, K e Si. Segundo Primavesi et al. (2006), Carvalho et al. (2006) e Costa et al. (2008) o K é um dos nutrientes mais extraídos pelas plantas de braquiária e está entre os que mais contribuem para aumentar a produtividade das pastagens. De acordo com Cocker et al. (1998) e Korndörfer et al. (2001) uma das razões da resistência das braquiárias em solos pobres pode ser devido à capacidade que as plantas têm de absorver e acumular Si na epiderme das folhas, atenuando os efeitos tóxicos do Al, Mn, Fe e aumentando a disponibilidade de P, como ocorre em outras gramíneas.

A produção total de MSPA proveniente do KCl, no solo arenoso é menor (43,5 g de MSPA) que no argiloso (70 g de MSPA), devido à CTC do solo e consequente perda do K ao longo dos cultivos, muito provavelmente, esse valor inferior ao solo argiloso seja explicado devido às ocorrências de perdas do KCl, por lixiviação. Já devido à baixa solubilidade da fonte SGC não houve diminuição da produção total de massa seca, independentemente do solo utilizado. Prova disso é a produção total do SGC farelado no solo argiloso igual a 76,7g de MSPA e no arenoso igual a 73,6 g de MSPA (Tabela 19).

Na figura 15, no solo argiloso pode ser observado o comportamento das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de SGC microgranulado e farelado fino aos 104 DAS (segundo corte), em comparação com plantas Testemunha (0 mg dm⁻³ de K₂O), KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O). Pela imagem é possível identificar o maior crescimento da parte aérea das plantas forrageiras em função do acréscimo das doses dos produtos.

No solo arenoso, também é possível observar, pela figura 16, a tendência do maior crescimento da parte aérea das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de SGC microgranulado e farelado fino, aos 104 DAS (segundo corte), em comparação com plantas Testemunha (0 mg dm⁻³ de K₂O), KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O).

No terceiro corte no solo argiloso, aos 168 DAS, observou-se que as plantas que não possuíram nenhum tratamento (testemunha) e as que foram cultivadas no solo com KCl e KCl + Wollastonita tiveram desempenho inferior em relação às plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, sendo que nesse corte as plantas tratadas com SGC microgranulado possuíram maiores valores médios de MSPA do que as do farelado fino (Figura 17).

Pela figura 18, é possível identificar o efeito residual da fonte siltito glauconítico calcinado, uma vez que as plantas forrageiras cultivadas no solo tratado com SGC microgranulado e farelado fino, no último cultivo, ainda estavam vigorosas e verdes, comprovando que o fertilizante possui liberação gradual ao longo dos cortes, ao contrário do que foi observado nas plantas testemunhas (sem tratamento) e nas plantas sob aplicação de fontes padrões (KCl e KCl + Wollastonita), que, por terem sido tratadas com fontes solúveis e de rápida liberação de nutrientes, não possuíam quantidades suficientes no solo para desenvolvimento das plantas.

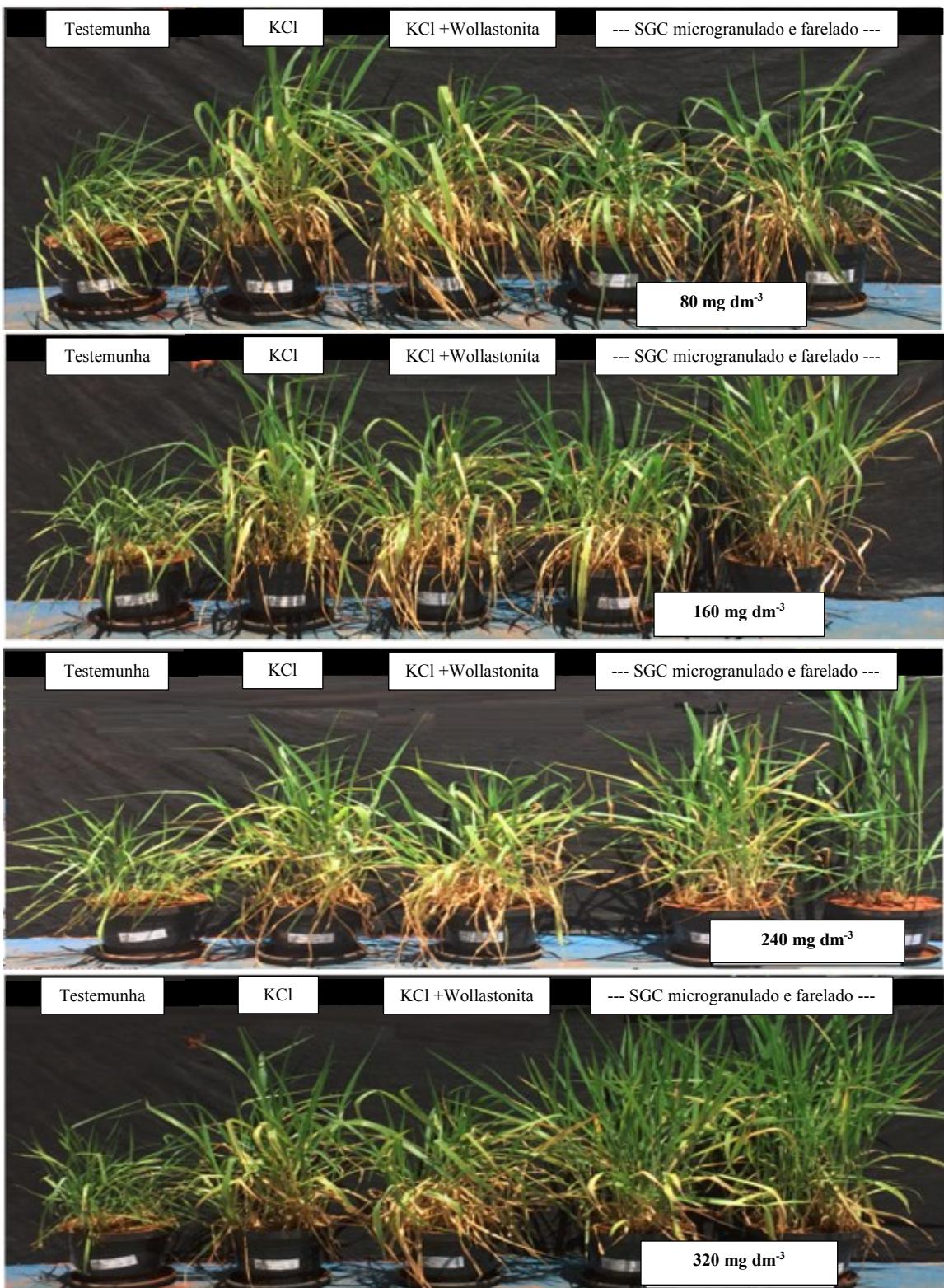


Figura 15. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC microgranulado e farelado fino em comparação com plantas Testemunha, KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O), em LVd, aos 104 DAS.

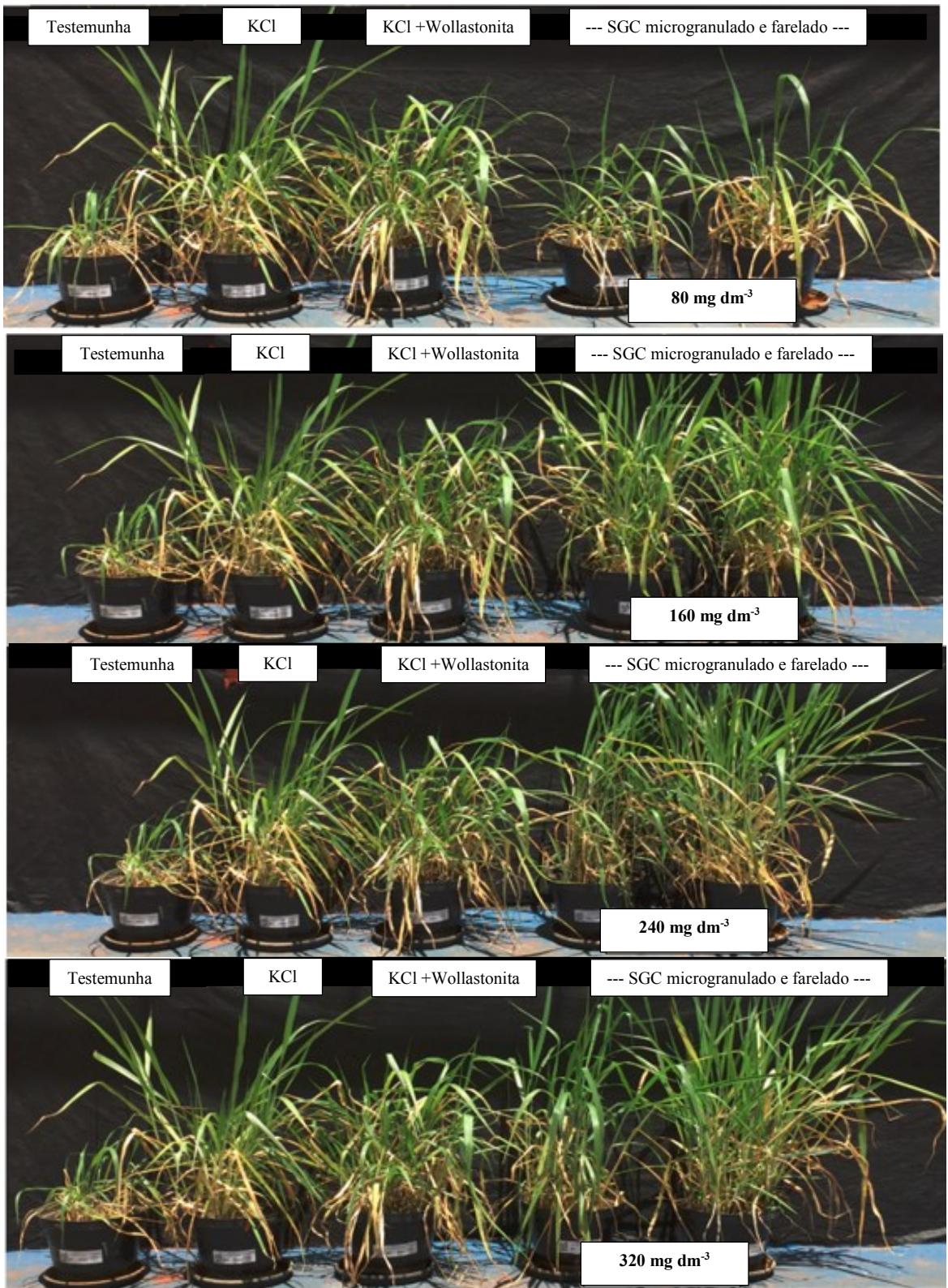


Figura 16. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC microgranulado e farelado fino em comparação com plantas Testemunha, KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O), em RQo, aos 104 DAS.

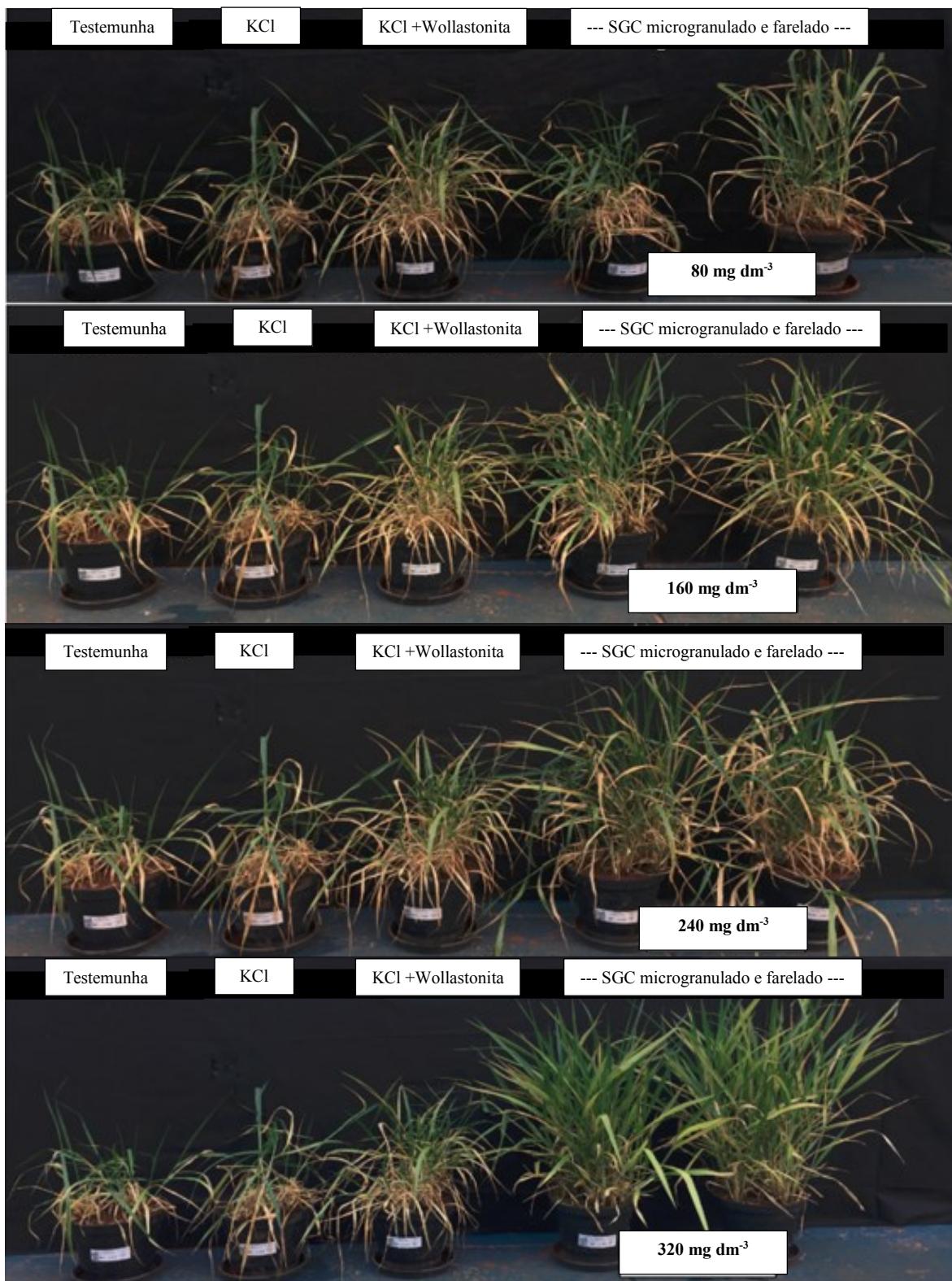


Figura 17. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC microgranulado e farelado fino em comparação com plantas Testemunha, KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O), em LVd, aos 168 DAS.

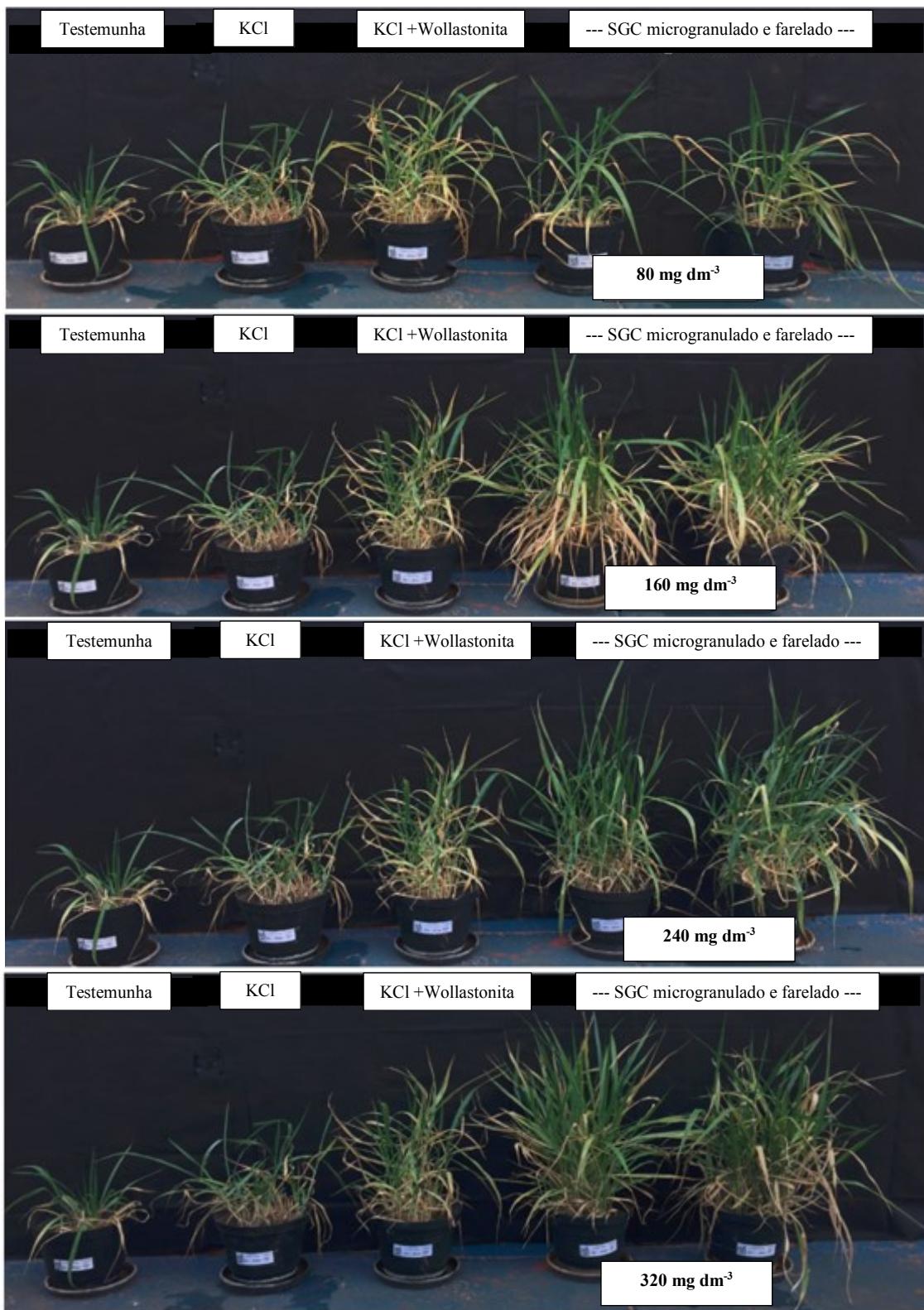
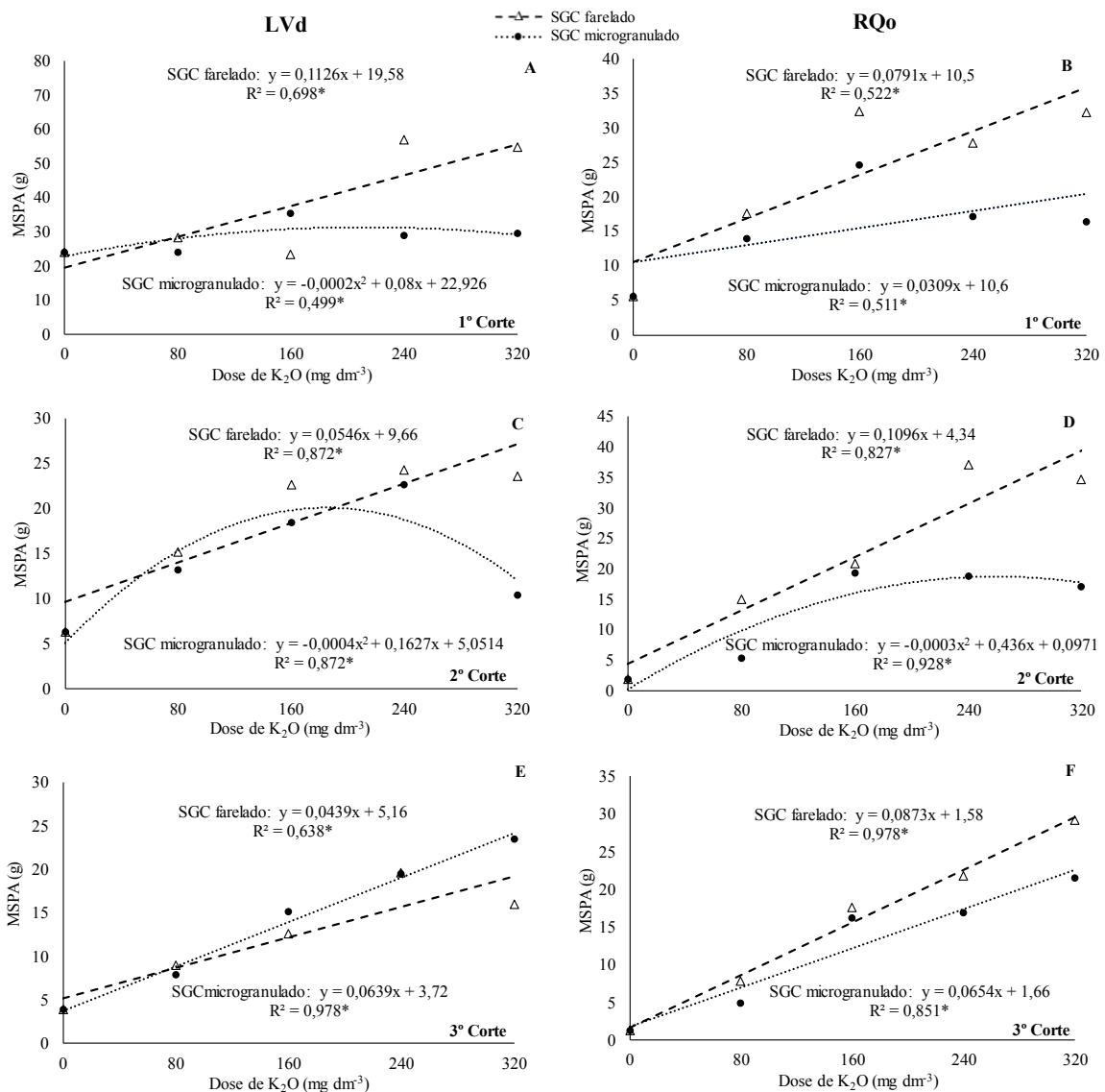


Figura 18. Plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú sob aplicação das doses 80, 160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC microgranulado e farelado fino em comparação com plantas Testemunha, KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O) e KCl + Wollastonita (80 mg dm⁻³ de K₂O), em RQo, aos 168 DAS.

Inclusive, pela figura 14 é possível observar que para todos os cortes, em ambos os solos, a MSPA das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú apresentou aumentos lineares conforme incremento nas doses de K₂O proveniente do SGC farelado fino, apresentando comportamento similar a quando foi aplicado o SGC microgranulado, conforme figuras 14B, 14E e 14F. Já nas figuras 14A, 14C e 14D, verifica-se que houve aumento da MSPA nas plantas, entretanto, os acréscimos não são lineares.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 14. Matéria seca da parte aérea em função da aplicação de doses crescentes de SGC microgranulado e farelado fino, em LVd e RQo, ao longo de três cortes, sendo (A) o primeiro, (B) o segundo e (C) o terceiro corte.

3.2 Índice de eficiência agronômica

O índice de eficiência agronômica do SGC microgranulado e farelado fino apresentou valores inferiores em relação ao KCl para os solos argiloso e arenoso, no primeiro corte, com valores respectivos a 0,6%, 38,6%, 19,8% e 55,9%, o que evidencia, no primeiro momento, a maior solubilidade da fonte padrão em ambos os solos (Figura 19).

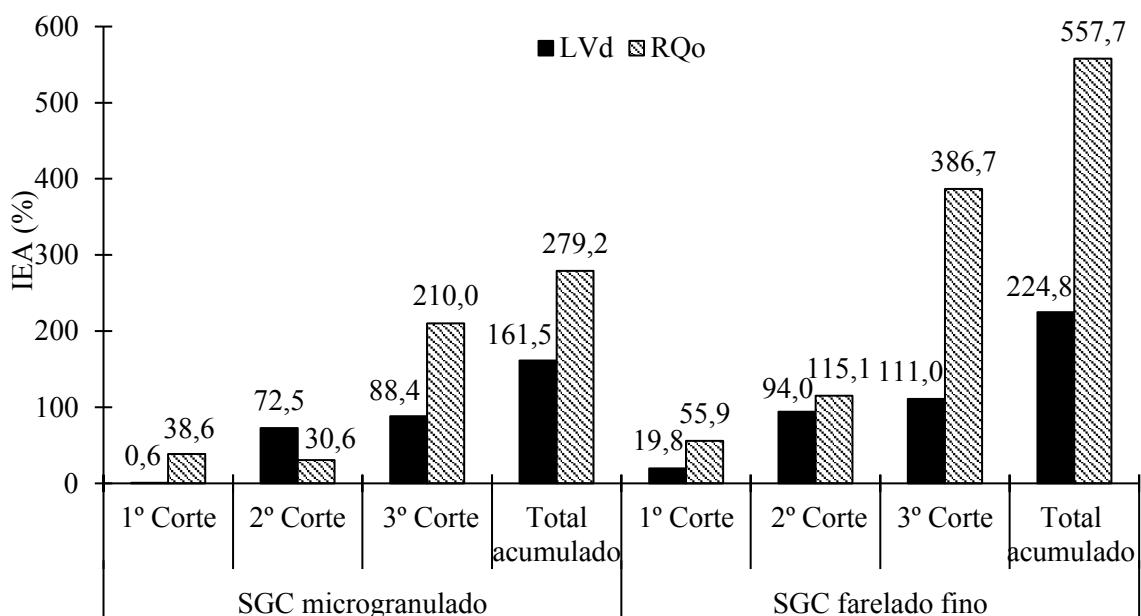


Figura 19. Índice de eficiência agronômica do SGC microgranulado e farelado fino em relação ao KCl em LVd e RQo no primeiro, segundo e terceiro cortes.

No segundo corte, o valor de IEA do SGC farelado fino no solo argiloso se aproximou à eficiência da fonte padrão com 94%, sendo que no arenoso ultrapassou em 15% a fonte comparada. Já o microgranulado, mesmo com incremento na solubilização em relação ao corte anterior, ainda apresentou eficiência inferior ao KCl, em 28% no solo argiloso e 69% no arenoso (Figura 19).

No entanto, no terceiro corte, ao se avaliar os valores de IEA no solo arenoso, observou-se que as fontes testadas possuem eficiência agronômica de 2 a 3 vezes maiores que o KCl, equivalendo a 210% e 386% para o microgranulado e farelado fino, respectivamente, enquanto que no solo argiloso correspondem a 88% e 111%. Os resultados observados confirmam a principal vantagem das fontes potássicas alternativas em proporcionar alto efeito residual, por meio da lenta liberação dos nutrientes (Figura 19).

De maneira geral, o valor de IEA (%) do SGC microgranulado é inferior ao farelado fino nos solos correspondentes, devido à maior granulometria do mineral e, portanto, solubilização mais lenta do produto no meio (Figura 19). Além disso, em todos os cortes, os resultados obtidos das fontes testadas em RQo foram superiores, demonstrando maior eficiência agronômica que no solo de textura argilosa, devido ao menor poder tampão do solo arenoso, ou seja, menor resistência em deslocar o equilíbrio no qual o solo se encontra, bem como menor necessidade na quantidade de nutrientes para satisfazer a demanda da planta, além da baixa CTC desse solo ao teor de argila, entre outros fatores.

Resultado similar foi encontrado por Arrieta (2017) em estudo realizado com KCl, siltito galuconítico microgranulado e farelado fino na cultura do arroz, após 130 DAS. A menor granulometria do produto favoreceu a eficiência agronômica do SGC, resultando em IEA de 45% no microgranulado e 69% no farelado, em relação ao KCl, sendo assim, as plantas acumularam maior quantidade de massa seca com o uso do produto na forma farelada.

Duarte (2012) verificou que o siltito glauconítico calcinado obteve eficiência agronômica de 28%, sendo superior ao KCl, após dois cultivos consecutivos (68 DAS) do milheto, em LVd.

Duarte (2015), ao medir a eficiência agronômica relativa (EAR) do siltito glauconítico calcinado em relação ao KCl, em várias usinas, verificou que a EAR do SGC da Usina São Simão foi maior que o KCl, no primeiro e segundo corte da cana. Os fertilizantes foram aplicados no sulco de plantio da cana, e foram realizados dois cortes ao final do ciclo completo de 12 meses.

3.3 Potássio no solo e acumulado na parte aérea

Os teores de K no solo argiloso, após os três cortes de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, foram superiores em todas as doses do SGC em relação à testemunha e ao padrão, para as fontes microgranulada e farelada fina (Tabela 20), apresentando teores máximos de potássio no solo nas doses 205 e 320 mg dm⁻³ de K₂O, respectivamente (Figura 20A). Foi verificado que o K disponível no solo argiloso proveniente do KCl (6 mg dm⁻³ de K), após os três cortes da forrageira, possui menor valor quando comparado à testemunha (8,5 mg dm⁻³ de K), em que não houve aplicação de K₂O, devido à maior extração de K do solo pelas plantas, sendo o total acumulado 143,3 e 510,6 mg dm⁻³ de K nas plantas testemunhas e tratadas com KCl, respectivamente (Tabela 20).

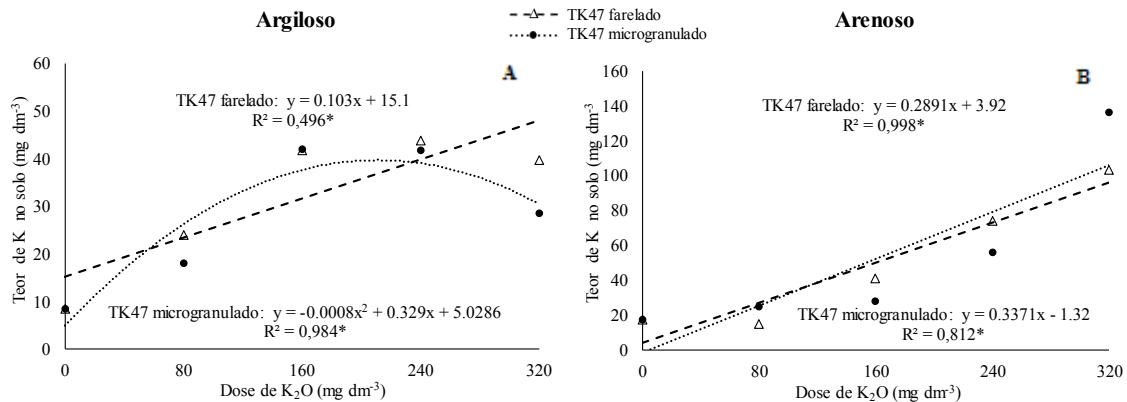
Tabela 20. Teores de K nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Dose de K ₂ O	K no solo	K acumulado			Total acumulado			
			1º corte	2º corte	3º corte				
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg vaso ⁻¹						
LVd									
Testemunha	0	8,5	116,7	+	17,5	9,0	143,2	+	
	80	18,0	180,1	+	61,2	23,2	264,5	+	
	160	42,0	336,2	*	104,9	41,5	482,6	*	
SGC microgranulado	240	41,8	390,2	*	197,1	51,9	639,2	*	
	320	28,5	274,8		70,1	47,3	392,2	*	
Média		32,6	b	295,3	a	108,3	a	444,6	a
	80	24,0	*+	213,3	+	78,7		315,9	
	160	41,8	*+	458,6	*	124,7	*	614,0	*
SGC farelado fino	240	39,8	*+	305,4	*	85,0		440,5	*
	320	43,8	*+	370,8	*	67,9		481,1	*
Média		37,3	a	337,1	a	89,1	a	463,0	b
KCl	80	6,0	423,4	*	67,1	20,1	510,6	*	
DMS _{Dunnett}	-	7,1	160,7		69,3	12,3	186,9		
CV (%)	-	11,9		25,9		39,2		21,6	
RQo									
Testemunha	0	17,3	33,0	+	9,1	+	4,1	46,2	+
	80	25,0	36,8	+	11,6	+	15,4	63,8	+
	160	28,0	108,0	*+	55,8	*+	41,4	205,2	*
SGC microgranulado	240	56,3	*+	61,5	+	61,3	*+	161,6	*
	320	136,5	*+	60,5	+	62,2	*+	181,8	*
Média		61,4	a	66,7	b	47,7	b	153,1	b
	80	15,0	55,6	+	32,6	+	23,4	111,6	*
	160	41,0	*	95,0	*+	47,7	*+	193,7	*
SGC farelado fino	240	103,3	*+	130,5	*+	74,1	*+	265,4	*
	320	74,3	*+	144,8	*+	172,7	*	383,5	*
Média		58,4	a	106,5	a	81,8	a	238,6	a
KCl	80	23,3	210,3	*	140,9	*	9,5	360,7	*
DMS _{Dunnett}	-	22,2		50,3		36,0		61,0	
CV (%)	-	21,1		26,5		26,7		22,1	15,3

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Diferente resultado foi observado no solo arenoso, no qual apenas as doses 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O, do SGC microgranulado e farelado fino, apresentaram maiores teores de K que o KCl (Tabela 20), evidenciando aumento linear nos valores de K no solo de

acordo com o incremento das doses aplicadas, ocasionando acréscimos de 289 e 337 mg de K a cada g de K adicionada ao solo proveniente do SGC farelado fino e microgranulado, respectivamente (Figura 20B).



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 20. Teor de K no solo cultivado com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de K proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes, em LVd e RQo.

Os teores de K disponível no solo argiloso para as fontes microgranulada e farelada fina apresentaram valores médios de 32,6 e 37,3 mg dm⁻³ de K no solo (Tabela 20), respectivamente, sendo classificados por Ribeiro et al., (1999) como “baixo” nível de K disponível (16 – 40 mg dm⁻³ de K). Já o teor de K proveniente do KCl no solo argiloso foi considerado “muito baixo” quanto à classificação da disponibilidade do K (≤ 15 mg dm⁻³). É importante destacar que, ao comparar a mesma dose de 80 mg dm⁻³ de K₂O do KCl (6 mg dm⁻³ de K) com as fontes testadas, o SGC microgranulado (18 mg dm⁻³ de K) e farelado fino (24 mg dm⁻³ de K) apresentaram maior disponibilidade de K no solo (“baixo”), possuindo classificação superior ao KCl (“muito baixo”), (Tabela 20).

O mesmo foi verificado no solo arenoso, no qual as médias de K no solo referentes ao SGC microgranulado e farelado fino, 61,4 mg dm⁻³ de K e 58,4 mg dm⁻³ de K (Tabela 20), possuíram “média” classificação quanto ao K disponível no solo (41 – 70 mg dm⁻³ de K), segundo Ribeiro et al. (1999), enquanto o teor de K obtido pelo KCl no solo (23,3 mg dm⁻³ de K) foi classificado como “baixo” (Tabela 20). Vale destacar que o resultado de K no solo proveniente do SGC microgranulado, na dose de 320 mg dm⁻³ de K₂O, apresentou

136,5 mg dm⁻³ de K no solo, sendo esse valor referente à classificação “muito boa” ($K > 120$ mg dm⁻³), (RIBEIRO et al., 1999).

Portanto, para o solo arenoso e argiloso, ao utilizar o extrator Melich-1, as fontes SGC microgranulada e farelada fina, em média, possuem maior disponibilidade de K no solo que o KCl, sendo melhor classificadas quanto ao nível de K disponível.

A recomendação de adubação potássica para estabelecimento de pastagens é baseada no nível tecnológico a ser implementado e na disponibilidade de K no solo. À medida que se intensifica o manejo, a adubação potássica torna-se imprescindível (RIBEIRO et al., 1999), por isso, é fundamental escolher fontes que apresentem boa disponibilidade de K no solo.

Arrieta (2017), em estudo realizado na cultura do arroz, com as mesmas fontes e doses do presente trabalho, verificou que a determinação do K no solo, utilizando o extrator mehlich-1, evidenciou que após dobrar e triplicar a dose de K₂O na aplicação do SGC microgranulado e farelado, respectivamente, os teores do nutriente no solo foram superiores ao KCl, ademais, a dose 320 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do SGC farelado foi o único tratamento superior à testemunha, ao tratamento com KCl e ao nível crítico do K (70 mg dm⁻³) indicado pela CFSEMG (1999).

Os resultados obtidos por Santos (2013) mostram que após 60 dias da aplicação das fontes KCl, siltito glauconítico calcinado, siltito glauconítico, Feldspato, Fonolito e Sienito em solo argiloso e arenoso, os valores de K no solo provenientes do siltito glauconítico calcinado foram similares ao KCl quando se utilizou o extrator Mehlich-1. Resultado semelhante foi encontrado por Duarte (2012) que, ao trabalhar com siltito glauconítico calcinado em um teste de incubação, verificou que essa fonte apresentou resultado similar ao KCl ao liberar K para o solo.

Em relação ao K acumulado na parte aérea para os dois tipos de solo, após o primeiro corte, foi observado que o SGC farelado fino obteve melhores resultados quando comparados à testemunha, exceto na menor concentração, enquanto o microgranulado diferiu positivamente da mesma, quando aplicado 160 mg dm⁻³ de K₂O, em RQo, e 160 e 320 mg dm⁻³ de K₂O, em LVd (Tabela 20). Entretanto, em comparação ao KCl, no solo arenoso, os tratamentos provenientes do SGC microgranulado e farelado apresentaram valores inferiores ao K acumulado na parte aérea, enquanto no argiloso os valores atingidos foram muito similares aos do padrão, com exceção apenas da dose 80 mg dm⁻³ de K₂O de SGC que mostrou desempenho inferior ao adicional positivo nas duas granulometrias. Na figura 21, é possível observar que houve aumento linear dos teores de K acumulado na

parte aérea das plantas de *Uchloa brizantha* cv. Marandú em função do acréscimo das doses de K₂O provenientes do SGC farelado fino, com exceção do segundo corte.

Quanto ao segundo corte, os teores de K acumulado pelas fontes foram superiores aos da testemunha, no solo arenoso, tendo diferenças estatísticas nos tratamentos com doses a partir de 160 mg dm⁻³ de K₂O, porém somente em duas doses no argiloso. Já para comparação do SGC com o KCl, em RQo, foi observado que a aplicação da fonte farelada na maior concentração de K₂O foi a única que não diferiu do padrão, estando os demais tratamentos com valores inferiores, ao contrário do que ocorreu em LVd, no qual os resultados obtidos das duas fontes apresentaram-se similares ao adicional positivo comparado, possuindo maior acúmulo significativo de K somente na dose de 240 mg dm⁻³ de K₂O do microgranulado.

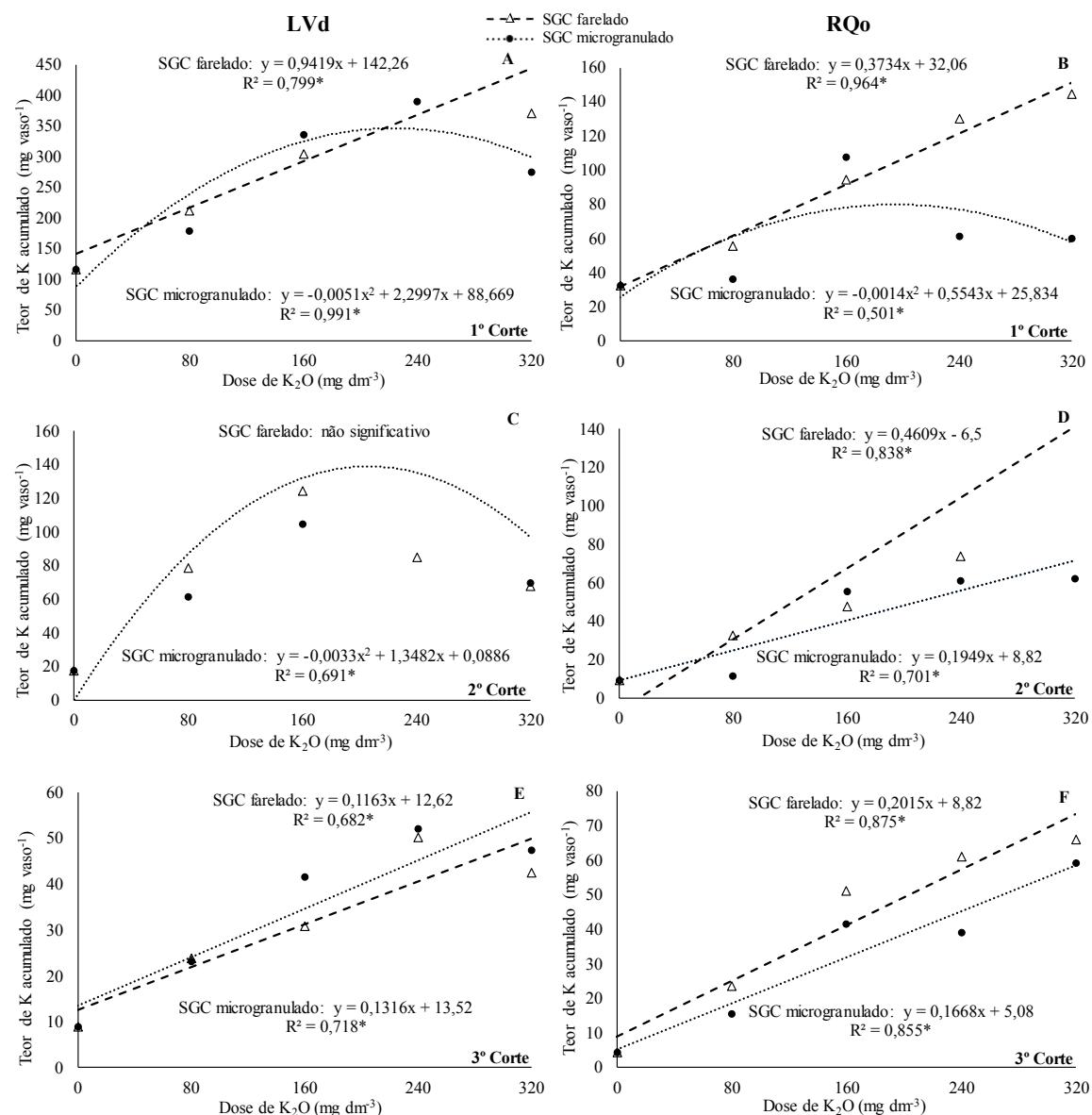
Observou-se para os dois solos que, após o terceiro corte, o SGC microgranulado, nas três maiores doses (160, 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O), apresentou resultados superiores no acúmulo de K na parte aérea quando comparado à testemunha e ao KCl, comprovando, em LVd, a mesma tendência para o farelado fino, nas doses de 240 e 320 mg dm⁻³ de K₂O e para as três maiores concentrações em RQo. Uma das possíveis explicações para essa tendência é devido à maior lixiviação do nutriente quando realizada aplicação de fertilizantes potássicos de alta solubilidade, como o cloreto de potássio, fenômeno esse intensificado em solos arenosos e com baixa CTC (Capacidade de troca de cátions) (KINPARA, 2003), destacando, assim, a vantagem da solubilização e liberação lenta de nutrientes do SGC.

Apesar da lixiviação não ter sido determinada, é uma das perdas mais consideráveis em solos bem drenados e com menor CTC (RAIJ, 2011), uma vez que o K apresenta uma única carga de valência (K⁺), sendo pouco adsorvido aos coloides do solo (ERNANI et al., 2007). Sais de potássio de alta solubilidade, como o KCl, conferem à solução do solo altos teores de K e, com isso, esse nutriente fica propício a ser lixiviado.

Nos três cortes do solo arenoso, ficou evidenciado, pelas médias, o efeito positivo da fonte SGC farelado fino quanto à solubilização do K, em comparação ao microgranulado. Além disso, também se apresentou tendência de aumento linear significativo do nutriente acumulado na parte aérea com doses crescentes de K₂O (Figura 21). Para Nascimento e Loureiro (2004)s esses minerais com elevado teor de K podem tornar-se fontes alternativas potenciais para fertilizantes de solubilização lenta. Machado et al., (2005) e Resende et al., (2005) constataram que o uso de fontes alternativas de

potássio é promissor, pelo fato delas possuírem liberação gradual de nutrientes e alto poder residual no solo.

Nas figuras 21A, 21B e 21C ficou evidente que houve aumento dos teores de K acumulado nas plantas em função das doses de K₂O provenientes do SGC microgranulado, entretanto, esse aumento não foi linear, ao contrário das figuras 21D, 21E e 21F, nas quais o referido produto se comportou conforme modelos lineares.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 21. Teor de K acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de K proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, ao longo dos três cortes, em LVd e RQo.

Para Siqueira et al., (1985), a rocha potássica *in natura*, apenas moída, é caracterizada pela dificuldade de liberação de K no solo. Por isso que, segundo Resende et al. (2006), é necessário realizar tratamentos químicos ou térmicos nas rochas que contêm na sua composição o K, para aumentar a solubilidade dos minerais.

Nas figuras 22, 23 e 24 são apresentados o comportamento do K recuperado no primeiro, segundo e terceiro corte, respectivamente. Observa-se que no primeiro (Figura 22) e segundo corte (Figura 23) o K recuperado foi maior no tratamento com KCl. Já na figura 23, as fontes SGC microgranulada e farelada fina apresentaram valores superiores à fonte padrão.

Ao avaliar os teores de K recuperado observou-se que as fontes oriundas do siltito glauconítico possuíram maior efeito residual quando comparadas à fonte padrão, após os três cortes. Evidenciando, assim, a liberação gradual de nutriente e favorecendo a ação a longo prazo do insumo aplicado em cultivos sucessivos (Figura 24).

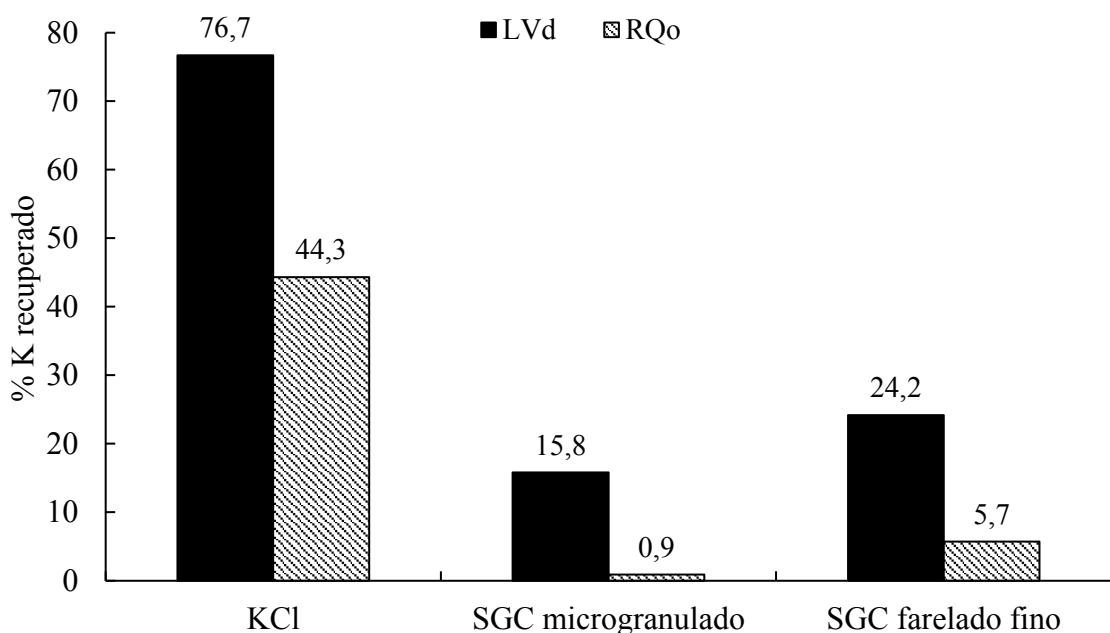


Figura 22. Percentual de K recuperado em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú proveniente das fontes KCl, SGC microgranulado e farelado fino para os solos LVd e RQo, após 68 DAS (primeiro corte).

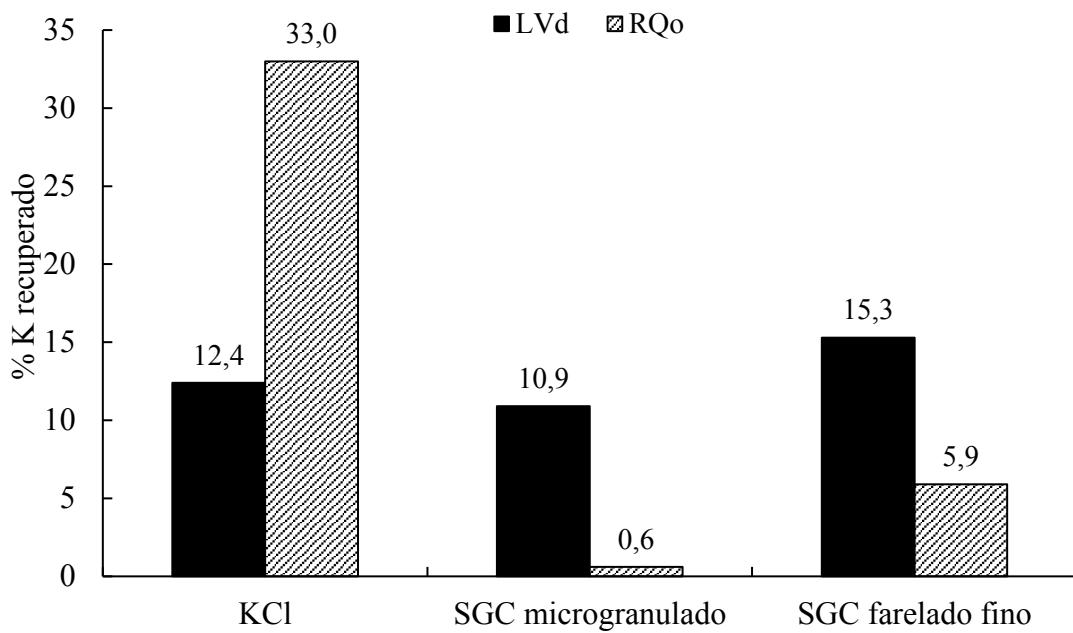


Figura 23. Percentual de K recuperado em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú proveniente das fontes KCl e SGC microgranulado e farelado fino para os solos LVd e RQo, após 104 DAS (segundo corte).

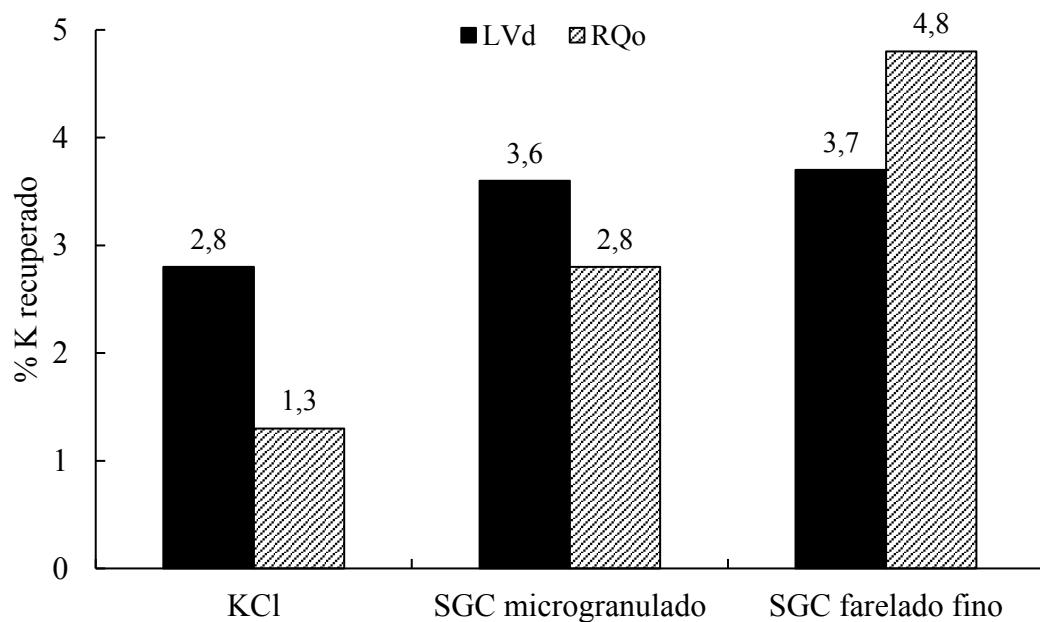


Figura 24. Percentual de K recuperado em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú proveniente das fontes KCl e SGC microgranulado e farelado fino para os solos LVd e RQo, após 168 DAS (terceiro corte).

3.4 Silício no solo e acumulado na parte aérea

Ao avaliar os teores de Si no solo observou-se que, tanto no argiloso quanto no arenoso, nos tratamentos realizados com SGC microgranulado os resultados foram inferiores à fonte padrão de Si. No caso do farelado fino, apesar dos resultados obtidos serem menores estatisticamente que o adicional positivo nas doses 195 e 780 kg dm^{-3} de Si em LVd e 195 e 390 mg dm^{-3} de Si em RQo, todas as doses ficaram muito semelhantes aos valores do tratamento KCl + Wollastonita, sendo que no arenoso a maior concentração da fonte comparada apresentou significativamente valor superior (Tabela 21).

Os teores de Si no solo em LVd e RQo cresceram de forma linear em função do aumento das doses de Si provenientes do SGC microgranulado e farelado fino, com exceção apenas do farelado fino no solo argiloso, que possui aumentos que, entretanto, não são lineares (Figura 25A e 25B). Segundo Korndörfer et al (1999; 2001), em solos cujo teor de Si disponível é inferior à 8 mg dm^{-3} , existem maiores chances de resposta à aplicação de silicatos.

Quanto aos teores de Si acumulado na parte aérea após o segundo corte, observou-se que apenas a dose 585 mg dm^{-3} de Si do SGC microgranulado, no solo argiloso, foi significativamente maior que a fonte padrão (Tabela 21), apresentando, dentro da curva, teor máximo de Si acumulado na parte aérea de 1066 mg vaso^{-1} quando foi aplicada a dose 460 mg dm^{-3} de Si proveniente do SGC microgranulado (Figura 26C). É possível observar que, para o SGC farelado fino no solo arenoso, os teores de Si aumentaram de forma linear de acordo com as doses do referido produto, com valores superiores ao KCl, nas doses 585 e 780 mg dm^{-3} de Si, e para o solo argiloso nas últimas três maiores concentrações. Na figura 26D, comprova-se que os teores de Si aumentaram com o incremento das doses do SGC farelado fino, ocasionando acréscimos de 720 mg dm^{-3} de Si a cada g de Si adicionada ao solo do referido produto.

Após o terceiro corte das plantas de braquiária, observou-se em RQo que as doses de 390, 585 e 780 mg dm^{-3} de Si do SGC farelado fino apresentaram melhores resultados quando comparadas à fonte tradicional, o que representa maior efeito residual do fertilizante testado. Inclusive, na figura 26F, pode-se observar o aumento linear que esse produto apresenta quanto ao acúmulo do Si na parte aérea da planta. Também no solo de textura argilosa, a dose 585 mg dm^{-3} de Si teve o mesmo comportamento de superar a performance da fonte comparada, enquanto as demais doses atingiram valores semelhantes ao adicional positivo, ocasionando acréscimos de 282 mg dm^{-3} de Si a cada g de Si

proveniente do SGC microgranulado adicionada ao solo (Figura 26E). O resultado obtido do SGC microgranulado, para os dois solos, na dose 780 mg dm⁻³ de Si foi maior que no tratamento KCl + Wollastonita. Ainda no solo arenoso, a dose 585 mg dm⁻³ de Si também acumulou maior teor de Si na parte aérea da planta.

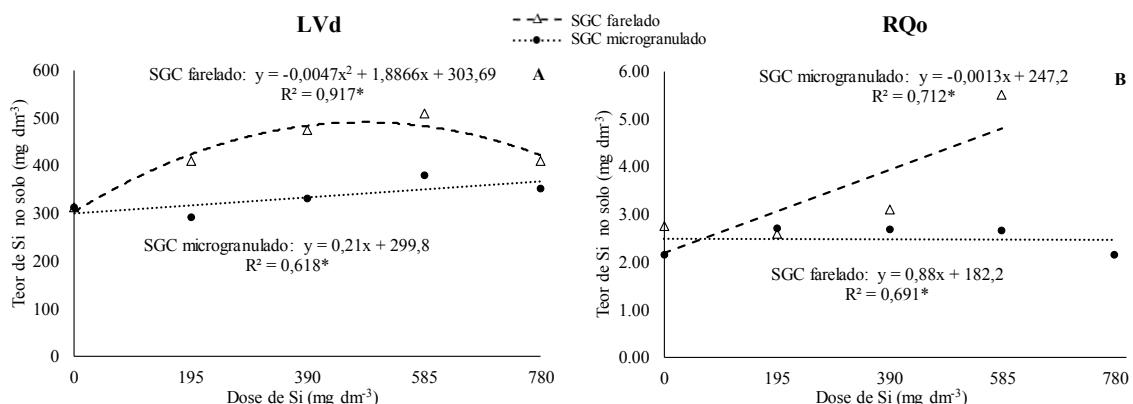
Tabela 21. Teores de Si nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Dose de Si	Si no solo	Si acumulado			Total						
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	1º corte	2º corte	3º corte	acumulado						
			mg vaso ⁻¹									
SGC microgranulado	Testemunha	0	3,13	+	972,4	+	253,7	+	45,3	1271,4	+	
		195	2,91	+	879,8	+	712,0	*	80,7	1672,5	+	
		390	3,32	+	1215,7	+	927,8	*	143,1	*	2286,6	*
		585	3,81	*+	1004,1	+	1243,1	**	166,2	*	2413,4	*
		780	3,51	+	927,1	+	569,3		276,9	**	1773,3	+
	Média		3,39	b	1006,6	b	863,0	b	166,7	a	2036,3	b
SGC farelado fino		195	4,11	*+	907,2	+	897,9	*	100,9		1906,0	**
		390	4,74	*	1562,4	*	1386,8	**	135,0	*	3084,2	*
		585	5,10	*	748,4	+	1806,9	**	273,9	**	2829,2	*
		780	4,10	*+	1489,8	*	1447,7	**	185,6	*	3123,1	*
	Média		4,51	a	1177,0	a	1384,8	a	173,8	a	2735,6	a
	KCl + Wollastonita	390	4,96	*	1825,7	*	844,6	*	118,2		2788,5	*
	DMS _{Dunnett}	-	6,89		427,8		374,1		83,8		5,3	
	CV (%)	-	8,60		18,3		18,3		27,2		11,4	
RQo												
SGC microgranulado	Testemunha	0	2,15	+	283,1	+	62,6	+	7,4	+	353,1	+
		195	2,70	+	654,8	**	120,9		23,0	+	798,7	**
		390	2,68	+	955,1	*	449,1	*	111,6	*	1515,8	*
		585	2,66	+	663,1	**	358,9	*	170,5	**	1192,5	**
		780	2,15	+	450,9	+	364,7	*	165,6	**	981,2	**
	Média		2,55	b	680,9	b	323,4	b	117,7	b	1122,0	
SGC farelado fino		195	2,76	+	708,5	**	296,1	*	78,6	*	1083,2	**
		390	2,59	+	1211,1	*	396,1	*	133,6	**	1740,8	*
		585	3,11	*	1086,7	*	502,1	**	281,7	**	1870,5	*
		780	5,51	*+	1178,7	*	660,9	**	355,9	**	2195,5	**
	Média		3,49	a	1046,3	a	464,0	a	212,4	a	1722,7	
	KCl + Wollastonita	390	3,61	*	1211,9	*	298,7	*	76,8	*	1587,4	*
	DMS _{Dunnett}	-	6,15		301,6		187,4		38,7		322,0	
	CV (%)	-	10,20		17,8		26,4		13,6		12,0	

Médias diferem da testemunha (*) e KCl + Wollastonita (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Portanto, é possível observar que após os três cortes realizados no solo arenoso a fonte SGC farelado fino demonstrou ter maior potencial em disponibilizar Si às plantas forrageiras em cultivos sucessivos, apresentando valores médios de $212,4 \text{ mg vaso}^{-1}$ de Si, enquanto as médias do microgranulado e KCl + Wollastonita foram, respectivamente, $117,7 \text{ mg vaso}^{-1}$ e $76,8 \text{ mg vaso}^{-1}$. Corroborando os estudos realizados por Raij (2011), nos quais se comprovou que a redução no tamanho das partículas do fertilizante aumenta a dissolução do K, desde que haja condições adequadas.

O total de Si acumulado na parte aérea das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú tratadas com SGC microgranulado, de maneira geral, foi menor que nas tratadas com KCl + Wollastonita, para ambos os solos. Já as plantas forrageiras tratadas com SGC farelado fino apresentaram total de Si similar àquelas tratadas com a fonte padrão em LVd e RQo, sendo que, no solo arenoso, a maior dose utilizada de SGC farelado foi a que apresentou maior acúmulo total de Si em relação a todos os tratamentos utilizados, evidenciando o potencial que a fonte testada possui em fornecer Si às plantas (Tabela 21).

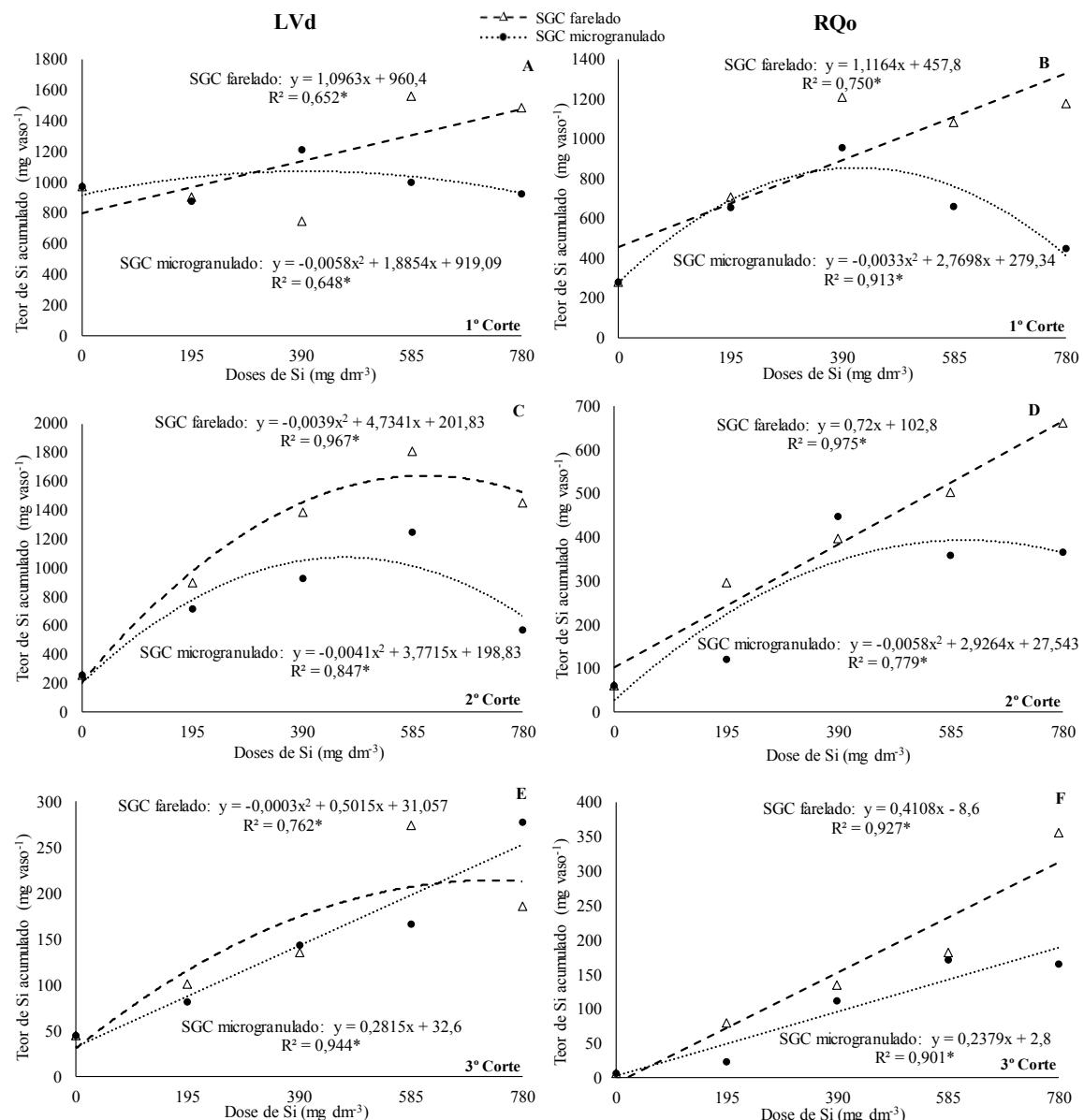


*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 25. Teor de Si no solo cultivado com plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes, em LVd e RQo.

Resultados semelhantes foram mostrados por Duarte (2012) em trabalho realizado com milheto, com dois cultivos consecutivos, em LVd, no qual foi verificado que, no primeiro cultivo, na menor dose utilizada, 200 Kg ha^{-1} de K_2O , das fontes KCl, siltito glauconítico e siltito galusconítico calcinado, o SGC apresentou maior acúmulo de Si na parte aérea do milheto. Ainda no primeiro cultivo, com a dose de 400 Kg ha^{-1} de K_2O , o SGC e SG foram melhores que o KCl, sendo que, no segundo cultivo, as plantas de milheto

absorveram mais Si quando cultivadas no solo tratado com SGC. Na somatória dos dois cultivos, independentemente da dose de K₂O utilizada, o Si acumulado na parte aérea do milheto foi maior no tratamento com o SGC.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 26. Teor de Si acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, ao longo dos três cortes, em LVd e RQo.

Fernandez et al., (2009), ao estudar o efeito da aplicação de doses crescentes de silicato, verificaram que o milheto cultivado em LVd, por 90 dias após a emergência,

apresentou concentração de 0,47% ($4,7 \text{ g Kg}^{-1}$) de Si na parte aérea. Portanto, o siltito glauconítico calcinado foi capaz de disponibilizar o Si presente na sua composição química para as plantas de milheto, tanto no primeiro, quanto no segundo cultivo.

3.5 Manganês no solo e acumulado na parte aérea

Como se sabe, o SGC apresenta em sua composição teores de outros nutrientes e elementos benéficos para as plantas como cálcio, magnésio, manganês e silício, por isso foi comparado à fonte adicional KCl quanto ao fornecimento de nutrientes, uma vez que possui essa vantagem de fornecer mais de um componente nutricional para as plantas.

As plantas tratadas com as duas maiores doses do SGC microgranulado atingiram teores superiores de Mn, tanto no solo argiloso quanto no arenoso, quando comparados ao KCl. As doses $4571 \text{ e } 6857 \text{ kg ha}^{-1}$ de SGC farelado fino em LVd e todas as doses do mesmo produto em RQo possuíram significativamente maiores teores de Mn acumulados nas plantas do que a fonte comparada (Tabela 22). Os teores de Mn no solo de textura argilosa cultivado com plantas *Urochloa brizantha* cv. Marandú tiveram aumento linear quanto maiores as doses aplicadas de SGC microgranulado, conforme representado pela figura 27A, apresentando, inclusive, o mesmo comportamento no solo arenoso (Figura 27B). As plantas tratadas com doses crescentes de SGC farelado fino no solo argiloso também apresentaram aumentos nos teores de Mn no solo, porém não linear.

Os teores de Mn disponível no solo argiloso e arenoso, em todos os tratamentos utilizados, incluindo testemunha e KCl, foram classificados como “muito baixo”, ou seja, apresentaram disponibilidade de Mn no solo inferior à 2 mg dm^{-3} , de acordo com Ribeiro et al. (1999), com exceção da dose 9143 kg ha^{-1} do SGC farelado em RQo, que foi o único tratamento classificado como “baixo” teor de Mn disponível no solo (3 mg dm^{-3} de Mn). Portanto, independentemente da dose e tipo de fonte utilizada, nenhum dos tratamentos, com exceção da maior dose do farelado em RQo, foi eficiente para mudar a classificação do K disponível nos solos (Tabela 22).

Quanto aos teores de Mn acumulados nas plantas cultivadas sob solo argiloso, após o primeiro corte, observou-se que diferiu de maneira superior ao adicional positivo nos tratamentos com a maior dose dos produtos e na dose 4571 kg ha^{-1} do microgranulado. Para o solo de textura arenosa, somente a dose 9143 kg ha^{-1} do farelado fino diferiu de maneira superior à fonte tradicional, sendo que as demais atingiram valores muito próximos ao

fertilizante comparado, com exceção da dose de 2286 kg ha⁻¹, que foi significativamente inferior (Tabela 22).

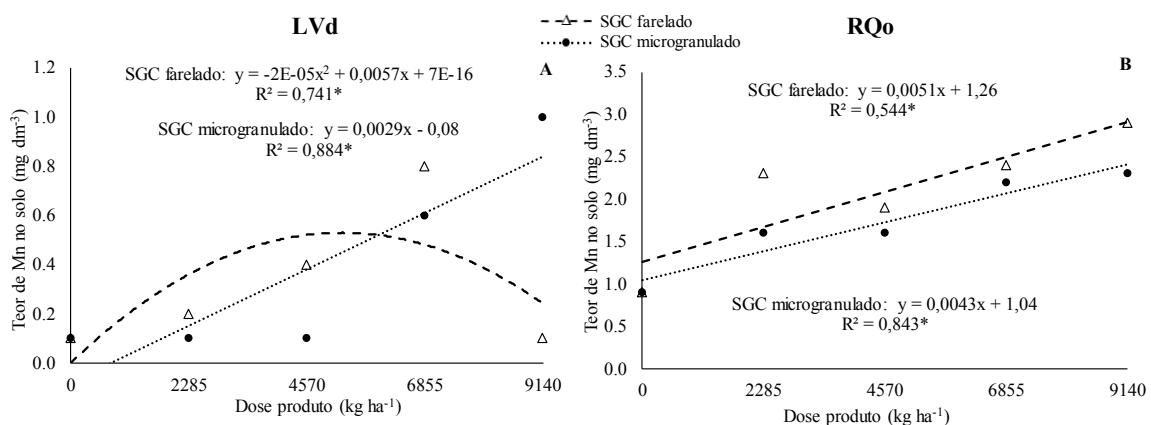
No segundo corte, todas as plantas cultivadas no solo com SGC farelado, em LVd e RQo, acumularam significativamente maior valor de Mn que a fonte padrão. Quanto ao microgranulado, tiveram o mesmo comportamento na dose de 6857 kg ha⁻¹, para ambos os solos, e apenas para o argiloso, na dose de 2286 kg ha⁻¹ do produto (Tabela 22).

Tabela 22. Teores de Mn nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Dose produto Kg ha ⁻¹	Mn no solo mg dm ⁻³	Mn acumulado			Total acumulado
			1º corte	2º corte	3º corte	
LVd						
Testemunha	0	0,1	2,6	0,5	0,5	3,6
	2286	0,1	2,4	3,1 *+	0,7	6,2 *+
SGC microgranulado	4571	0,1	5,1 *+	0,8	1,1 *+	7,0 *+
	6857	0,6 *+	4,3 *	3,1 *+	1,6 *+	9,0 *+
	9143	1,0 *+	4,6 *+	0,7	1,1 *+	6,4 *+
Média		0,5 a	4,1 a	1,9 b	1,1 a	7,1 b
SGC farelado fino	2286	0,2	2,7	1,9 *+	1,0 *	5,6 *
	4571	0,4 *+	3,4	3,5 *+	0,6	7,5 *+
	6857	0,8 *+	3,0	2,3 *+	1,6 *+	6,9 *+
	9143	0,1	7,1 *+	2,7 *+	1,3 *+	11,1 *+
Média		0,4 b	4,1 a	2,6 a	1,1 a	7,8 a
KCl	267	0,1	3,1	0,6	0,6	4,3
DMS _{Dunnett}	-	0,1	1,4	0,9	0,5	1,5
CV (%)	-	18,2	18,0	23,9	24,6	11,4
RQo						
Testemunha	0	0,9	0,4 +	0,2	0,1	0,7
	2286	1,6 *	1,1 *	0,6	0,4 *	2,1
SGC microgranulado	4571	1,6 *	1,7 *	1,1	0,8 *+	3,6 *+
	6857	2,2 *+	1,3 *	2,6 *+	1,0 *+	4,9 *+
	9143	2,3 *+	1,8 *	1,0	1,0 *+	3,8 *+
Média		1,9 b	1,5 a	1,3 b	0,8 b	3,6 b
SGC farelado fino	2286	2,2 *+	0,6 +	2,1 *+	0,5 *+	3,2 *
	4571	1,9 *+	1,3 *	2,7 *+	1,1 *+	5,1 *+
	6857	2,4 *+	1,5 *	5,5 *+	1,4 *+	8,4 *+
	9143	2,9 *+	2,9 *+	4,4 *+	1,8 *+	9,1 *+
Média		2,3 a	1,6 a	3,7 a	1,2 a	6,5 a
KCl	267	1,1	1,5 *	0,3	0,2	2,0
DMS _{Dunnett}	-	0,6	0,6	1,5	0,3	1,5
CV (%)	-	15,5	21,2	35,3	15,0	17,9

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Após o terceiro corte, para os dois solos, as três maiores doses do produto microgranulado foram superiores ao adicional positivo quanto ao acúmulo do nutriente. No solo arenoso, todas as doses do farelado fino, e também as doses 6857 e 9143 kg ha⁻¹ de produto no argiloso, tiveram maiores valores que a fonte padrão, evidenciando a maior capacidade do fertilizante testado em suprir a demanda do Mn na planta ao longo do tempo. De maneira geral, a maior dose do SGC microgranulado e farelado fino, para todos os cultivos, apresentaram maiores teores de Mn acumulados na parte aérea das plantas, sendo que no último corte obtiveram valores significativamente maiores que o KCl demonstrando, portanto, ser um excelente produto na disponibilização desse micronutriente, bem como no fornecimento de Mn em cultivos sucessivos (Tabela 22).



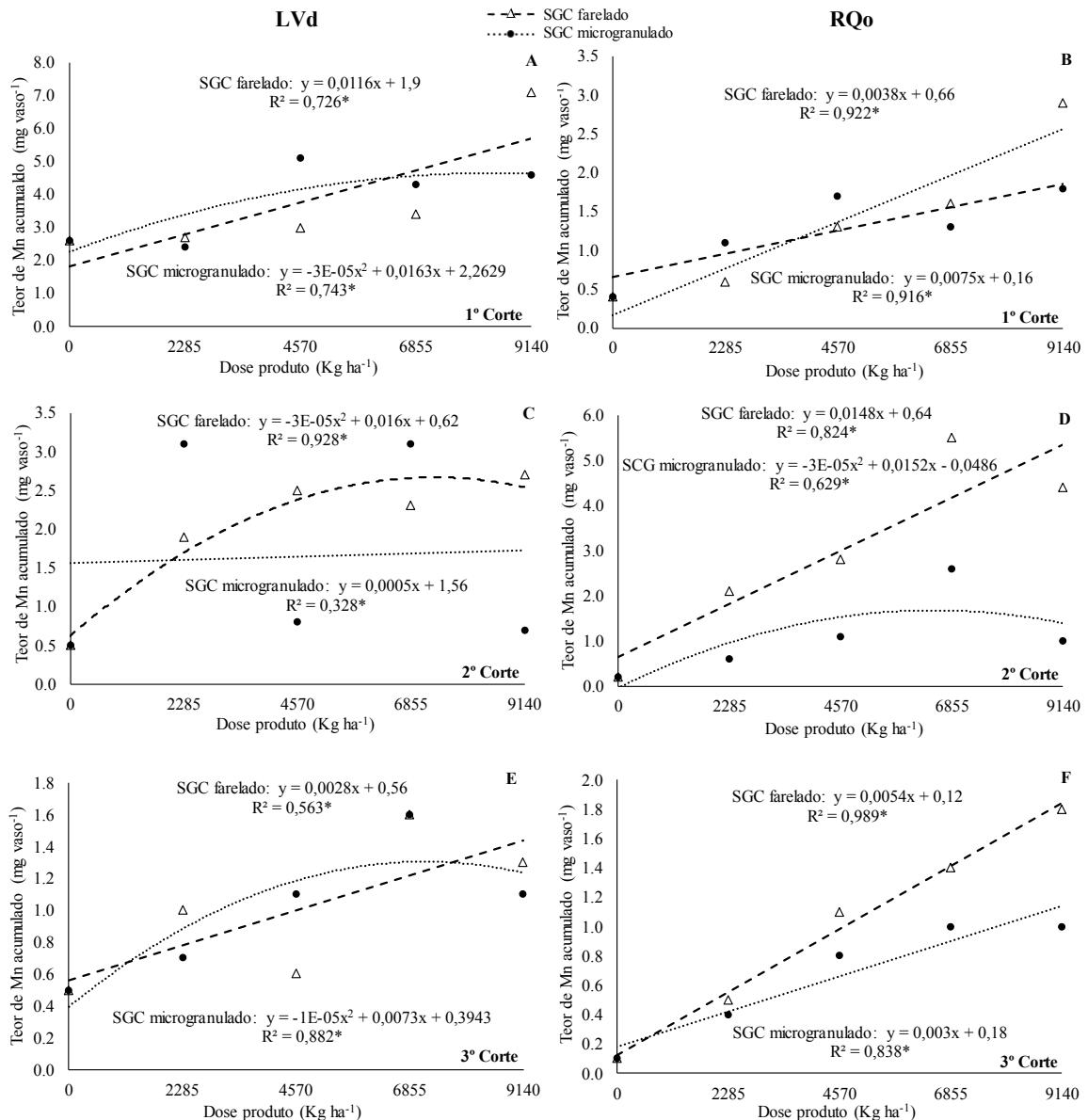
*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 27. Teor de Mn no solo cultivado com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Mn proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes, em LVd e RQo.

Nas figuras 28A e 28B é possível observar que à medida que aumenta a dose fornecida de K₂O das fontes também aumenta o teor de Mn acumulado pelas plantas, com exceção das plantas tratadas com SGC microgranulado no solo argiloso, que possuiu aumentos, porém, não apresentou tendência linear.

No segundo corte, para o solo argiloso, os teores de Mn aumentaram com o incremento das doses de SGC, ocasionando acréscimos de 0,5 mg dm⁻³ de Mn a cada g do SGC microgranulado (Figura 28C) e, para o solo arenoso, ocasionou acréscimos de 15 mg dm⁻³ de Mn, a cada g do SGC farelado (Figura 28D).

No último corte, os incrementos nos teores de Mn acumulado na parte aérea das plantas, obtidos com o aumento das doses do SGC microgranulado e farelado fino, foram maiores que no cultivo anterior, sendo que no solo argiloso ocasionou acréscimo de 2,8 mg dm⁻³ de Mn, a cada g do SGC microgranulado (Figura 28E) e no arenoso, ocasionaram acréscimos de 5,4 e 3,0 mg dm⁻³ de Mn a cada g do SGC farelado fino e microgranulado, respectivamente (Figura 28F).



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 28. Teor de Mn acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Mn proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, ao longo dos três cortes, em LVd e RQo.

O total de Mn acumulado na parte aérea das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú provenientes do SGC microgranulado e farelado fino, em LVd e RQo, foram maiores que a fonte padrão em todas as doses utilizadas, sendo que o total acumulado de Mn nas plantas tratadas com SGC farelado fino foi maior que nas tratadas com microgranulado, devido a menor granulometria da fonte, portanto, com disponibilização mais rápida do nutriente às plantas (Tabela 22).

3.6 Cálcio no solo e acumulado na parte aérea

Nesse estudo foram utilizadas doses crescentes do siltito glauconítico calcinado nos solos, portanto espera-se que quanto maior a dose do produto, maior a quantidade dos nutrientes disponíveis, inclusive Ca. No entanto, as doses dos tratamentos foram equilibradas quanto ao fornecimento de Ca, adicionando-se CaCO₃ nos solos, em quantidades proporcionais às doses utilizadas das fontes (Tabela 18).

Os teores de Ca no solo, após os três cortes de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, não diferiram entre os tratamentos no experimento com o solo de textura arenosa. Diferente resultado foi observado no solo argiloso, no qual somente a dose de 2286 kg ha⁻¹ do SGC microgranulado foi inferior ao KCl, sendo que as demais não apresentaram diferenças com a fonte comparada (Tabela 23).

Apesar dos tratamentos, de maneira geral, não possuírem diferenças significativas entre os teores disponíveis de Ca nos solos, houve diferença quanto à classificação na disponibilidade desse nutriente no solo argiloso, com os diferentes tratamentos utilizados. Os teores de Ca disponíveis em LVd, nas doses 2286, 4571 e 6857 kg ha⁻¹ de SGC farelado fino, foram classificados como “bom” (3,1; 2,9 e 2,6 cmol_cdm⁻³ de Ca no solo), ou seja, apresentaram disponibilidade de Ca entre 2,41-4,00 cmol_cdm⁻³, enquanto o teor de Ca disponível no solo proveniente do tratamento com o KCl (2,3 cmol_cdm⁻³ de Ca no solo) foi classificado como “médio” (1,21-2,40 cmol_cdm⁻³ de Ca), de acordo com Ribeiro et al. (1999), (Tabela 23). Portanto, o SGC farelado fino foi capaz de mudar a classificação de Ca no solo argiloso quando comparado à fonte padrão.

A quantidade de CaCO₃ adicionada em cada tratamento das fontes estudadas foi proporcional à quantidade existente de Ca em cada produto. Nos tratamentos com SGC, na menor dose, e KCl, foram adicionados 1740 e 2320 kg ha⁻¹ de CaCO₃, respectivamente, sendo proporcionais às quantidades iniciais de Ca contidas em cada fonte, para atingir o equilíbrio (Tabela 18). Como o SGC possui Ca em sua composição, à medida que foi

utilizando doses crescentes do produto, a quantidade de CaCO₃ adicionada foi diminuindo, ao ponto que na maior dose de SGC não foi adicionada nenhuma quantidade de CaCO₃. Na dose 9143 kg ha⁻¹ do SGC todo o Ca disponibilizado ao meio foi proveniente da própria fonte, pois nessa dose não foi adicionado CaCO₃ ao referido produto (Tabela 18). Portanto, é possível comprovar que o SGC é eficiente em disponibilizar Ca ao meio, pois mesmo não sendo adicionada nenhuma quantidade de CaCO₃ na maior dose do SGC utilizada no estudo, esse tratamento obteve resultados semelhantes aos do KCl quanto ao Ca disponível nos solos após o terceiro corte das plantas forrageiras.

Quanto ao Ca acumulado na parte aérea, após o primeiro corte realizado nas plantas de braquiária, as doses 2286 e 9143 kg ha⁻¹ do SGC microgranulado, em ambos os solos, e 6857 kg ha⁻¹ do referido produto no solo arenoso apresentaram valores inferiores ao KCl. Para o SGC farelado fino, as doses 2286 kg ha⁻¹ do produto, nos dois solos, e 6857 kg ha⁻¹, no argiloso, também tiveram menores resultados em relação à fonte comparada. Portanto, todas as doses referidas de ambas as fontes e solos, após o primeiro corte, tiveram menores respostas quanto ao acúmulo de Ca na planta do que a fonte tradicional (Tabela 23). Com isso, foi possível observar que no primeiro corte as fontes testadas, por possuírem liberação mais lenta de nutrientes, não liberaram altas quantidades de Ca para as plantas, sendo que todo o Ca fornecido pelo KCl foi devido à rápida disponibilização do CaCO₃ adicionado a esse tratamento.

Após o segundo corte das plantas, no solo argiloso, todas as doses do SGC farelado fino e as doses 4571 e 6857 kg ha⁻¹ do SGC microgranulado tiveram maiores teores de Ca acumulado que o KCl (Tabela 23). Para o solo arenoso, somente a maior concentração do SGC farelado fino apresentou diferença positiva com a fonte comparada. Inclusive, é possível observar que as doses aplicadas de SGC foram suficientes para aumentar os teores de Ca nas plantas nos dois solos, conforme representado pelas figuras 30C e 30D.

Já no terceiro corte, para o solo arenoso, foi possível observar que o SGC farelado apresentou teores de Ca acumulados nas plantas significativamente superior ao KCl, enquanto para o microgranulado houve diferença nas três maiores concentrações. No solo argiloso, houve maior acúmulo de Ca nas plantas, quando comparadas ao KCl, ao se utilizar doses de 6857 kg ha⁻¹ para ambas as granulometrias e também na dose de 9143 kg ha⁻¹ do SGC microgranulado (Tabela 23). É possível observar que, no solo argiloso, os teores de Ca acumulado na parte aérea das plantas aumentaram com o incremento das doses do SGC, ocasionando acréscimos de 222 e 320 mg de Ca a cada g proveniente do SGC farelado e microgranulado, respectivamente, (Figura 30E) e, no solo arenoso, ocasionou acréscimos

de 342 mg de Ca a cada g proveniente do SGC microgranulado, apresentando teor máximo de Ca acumulado nas plantas de 116 mg vaso⁻¹ sob a dose de 245 mg dm⁻³ de SGCarelado fino (Figura 30F).

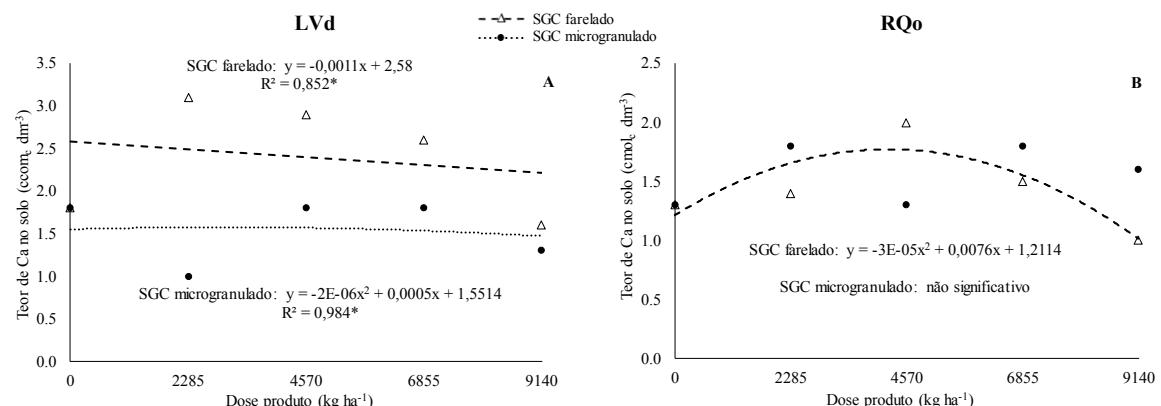
Tabela 23. Teores de Ca nos solos LVd e RQo, e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Dose produto Kg ha ⁻¹	Ca no solo cmolc dm ⁻³	Ca acumulado			Total acumulado
			1º corte mg vaso ⁻¹	2º corte mg vaso ⁻¹	3º corte mg vaso ⁻¹	
Testemunha	0	1,8	221,0	61,2	23,6	+ 305,8 +
	2286	1,0 +	199,9 +	182,6 *	51,1	433,6 *
SGC microgranulado	4571	1,8	276,3	237,9 **	92,2 *	606,4 *
	6857	1,8	228,2	318,7 **	122,9 **	669,8 **
	9143	1,3	210,8 +	146,0	115,7 **	472,5 *
Média		1,5 b	228,8 b	221,3 b	95,5 a	545,6 b
	2286	3,1 *	206,0 +	230,2 **	68,3 *	504,5 *
SGCarelado fino	4571	2,9 *	380,8 *	355,6 **	52,1	788,5 **
	6857	2,6	170,1 +	463,3 **	127,7 **	761,1 **
	9143	1,6	338,6 *	344,9 **	83,0 *	766,5 **
Média		2,5 a	273,9 a	348,5 a	82,8 b	705,2 a
KCl	267	2,3	305,6	119,3	67,2 *	492,1 *
DMS _{Dunnett}	-	1,0	84,8	94,4	31,6	120,3
CV (%)	-	25,8	16,5	19,0	19,4	10,3
Testemunha	0	1,3	49,7 +	12,4 +	6,2	68,3 +
	2286	1,8	114,9 **	25,2 +	32,1	172,2 **
SGC microgranulado	4571	1,3	167,3 *	58,6 *	82,9 **	308,8 *
	6857	1,8	116,3 **	74,8 *	68,6 **	259,7 *
	9143	1,6	78,9 +	66,3 *	124,7 **	269,9 *
Média		1,6 a	119,4 b	56,3 b	77,1 b	252,8 b
	2286	1,4	124,3 **	71,8 *	50,2 **	246,3 *
SGCarelado fino	4571	2,0	212,5 *	82,6 *	119,1 **	414,2 **
	6857	1,5	190,6 *	104,6 *	108,3 **	403,5 **
	9143	1,0	206,8 *	137,7 **	107,2 **	451,7 **
Média		1,5 a	183,6 a	99,2 a	96,2 a	379,0 a
KCl	267	1,6	181,9 *	83,0 *	17,5	282,4 *
DMS _{Dunnett}	-	0,7	55,2	37,3	31,0	71,8
CV (%)	-	23,5	18,9	25,7	21,4	12,3

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

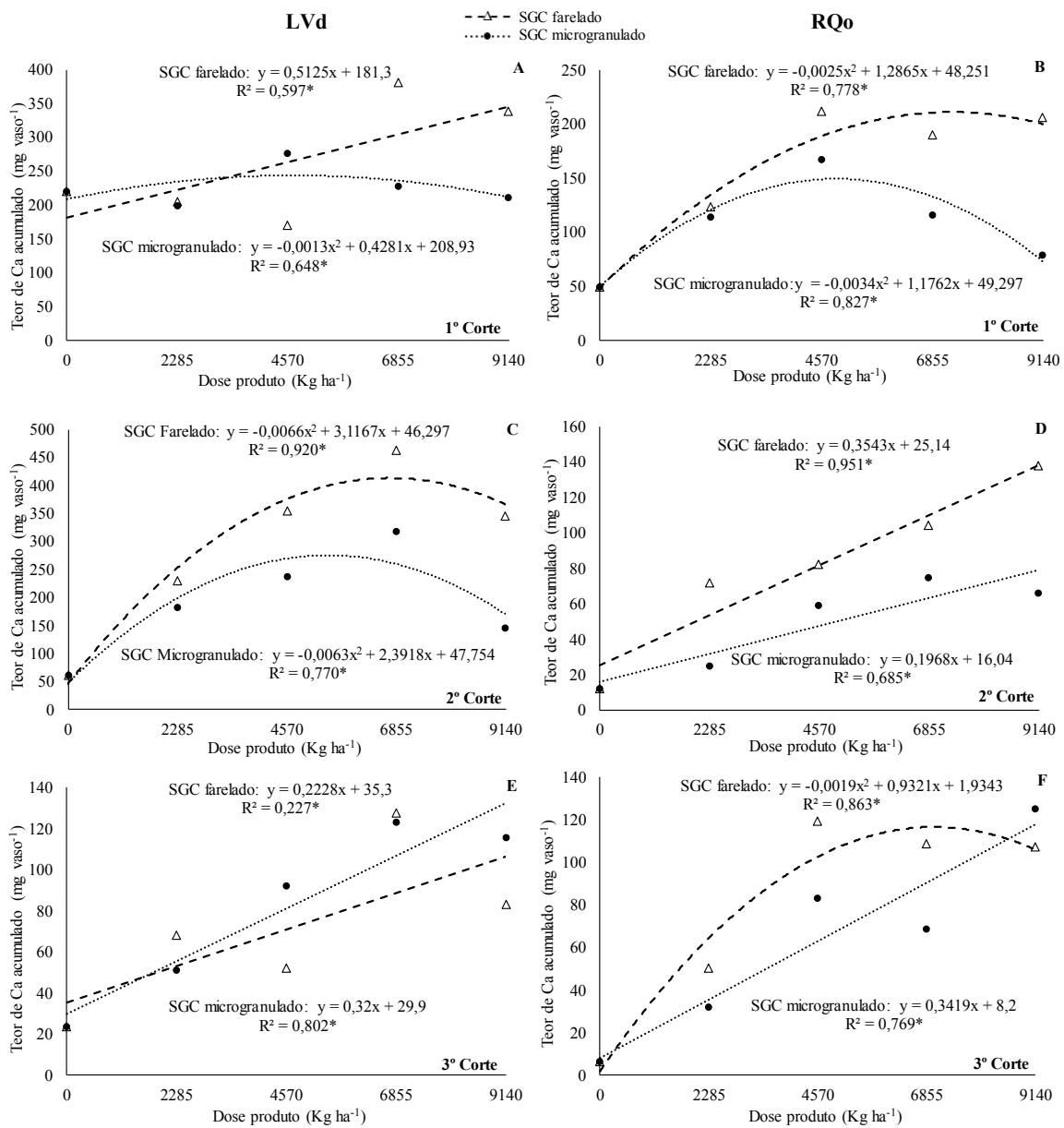
Com isso, é possível concluir que, de maneira geral, as doses das fontes microgranulada e farelada fina no primeiro corte disponibilizaram menores teores de Ca às plantas quando comparadas ao KCl, devido a menor velocidade de liberação de nutrientes. Ou seja, como foi adicionado CaCO₃ ao KCl essa fonte disponibilizou rapidamente Ca para as plantas, e pelo fato do SGC possuir menor solubilização não foi possível disponibilizar altos teores de Ca no primeiro corte, pois a quantidade de CaCO₃ adicionada foi menor do que na fonte padrão. O efeito da liberação de Ca foi notado a partir do segundo corte, no qual algumas doses passaram a ter resultados superiores ao KCl, o que foi intensificado no terceiro corte com a maior solubilização dos produtos e absorção do Ca pelas plantas (Tabela 23).

Na figura 29A e 29B é possível observar que os valores de Ca nos solos foram decrescentes com o aumento das doses dos produtos. A explicação da redução do Ca no solo, mesmo com o aumento nas doses do SGC microgranulado e farelado fino, é a proporção do CaCO₃ que foi adicionada nas fontes, sendo que quanto maior a dose de SGC utilizada, maior a quantidade de Ca existente em sua composição química, portanto, menor adição do CaCO₃, de tal forma que na maior dose utilizada de SGC não foi adicionada nenhuma quantidade de CaCO₃.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 29. Teor de Ca no solo cultivado com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Ca proveniente SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes, em LVd e RQo.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 30. Teor de Ca acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Ca do SGC microgranulado e farelado fino, ao longo dos três cortes, em LVd e RQo.

É importante destacar que todo o Ca disponibilizado à planta na dose de 9143 kg ha⁻¹ do SGC foi inerente à fonte, uma vez que nessa concentração não foram adicionadas nenhuma quantidade de CaCO₃. Sendo possível observar que para o SGC microgranulado nos dois solos, no primeiro corte, essa dose do produto apresentou resultado inferior à fonte comparada, no segundo corte não houve diferenças, enquanto que, no terceiro corte, a fonte

microgranulada teve maior liberação de Ca que o KCl, isso devido ao maior tempo de reação da fonte para proporcionar a disponibilização do Ca em sua composição para as plantas, e ao esgotamento do CaCO₃ no tratamento com KCl. O SGC farelado fino na dose 9143 kg ha⁻¹, em ambos os solos, no primeiro corte apresentou resultados semelhantes ao KCl, no segundo obteve maiores acúmulos de Ca que a fonte padrão e no último corte no solo arenoso, apresentou resultado superior ao adicional positivo, sendo que no argiloso os resultados das fontes não se diferiram, esse comportamento é possível de se explicar devido à maior solubilização do farelado, portanto, desde o primeiro corte o fertilizante foi liberando Ca da sua composição para as plantas (Tabela 23).

O siltito glauconítico calcinado, além de disponibilizar K para o solo, também fornece Si, Ca e Mg advindos da adição do calcário no processo de fabricação (DUARTE, 2012). Foi citado por Sanzonowicz e Mielniczuk (1985), Souza e Yasuda (2009), Orioli Junior e Coutinho (2009) que esses fertilizantes possuem caráter alcalino. Então, quanto maior a dose utilizada de SGC, microgranulado ou farelado fino, maior foi a quantidade disponibilizada desses nutrientes no solo. Entretanto, para nível de comparação do estudo, as doses entre os tratamentos foram equilibradas quanto ao fornecimento de Ca e Mg. Foi adicionado Ca nos solos na forma de CaCO₃, em quantidades proporcionais às doses utilizadas das fontes, de forma a equilibrar o Ca fornecido pelos tratamentos.

3.7 Magnésio no solo e acumulado na parte aérea

A rochagem pode apresentar diversas vantagens quando aplicada ao solo. Por serem multielementares, podem ser mais vantajosas que os fertilizantes convencionais, fornecendo simultaneamente vários nutrientes às plantas (STRAATEN, 2006). Essa prática também pode ser utilizada na correção de acidez do solo (PRIYONO; GILKES, 2008; THEODORO et al., 2010), além de melhorar a retenção de água no solo, possibilitando maior crescimento radicular e, consequentemente, maior resistência às variações climáticas, como aos veranicos (ANDRADE et al., 2002).

Como citado anteriormente, o siltito glauconítico calcinado disponibiliza vários nutrientes, como K, Si, além do Ca e Mg, que são adquiridos pela adição do CaCO₃, calcinação da rocha (DUARTE, 2012). Como foram utilizadas doses crescentes do SGC nos solos, deve-se considerar que quanto maior a dose dos produtos, maior a quantidade do Mg nesses. Porém, foi necessário equilibrar as doses entre os tratamentos do estudo,

quanto ao fornecimento de Mg, adicionando-se $MgCO_3$ nos solos, em quantidades proporcionais às doses utilizadas das fontes.

O teor de Mg no solo argiloso e arenoso, para o SGC microgranulado, e no argiloso, para o farelado fino, foi decrescente conforme figura 31A e 31B. O teor de Mg nos solos foi diminuindo quanto maior a dose do SGC. Como foram adicionadas quantidades proporcionais de Mg às doses utilizadas das fontes, nos tratamentos com as menores doses de SGC, adicionou-se maior quantidade de $MgCO_3$, logo, esse maior teor de Mg nos solos, nas menores doses, deve-se ao fato da adição do $MgCO_3$ e não ao produto, pois, nas maiores doses do SGC essa adição foi diminuindo e, consequentemente, também o teor de Mg no solo. Esse fato é comprovado na dose de 9143 kg ha^{-1} de SGC, na qual não foi adicionada nenhuma quantidade de Mg, a não ser a fornecida pelo próprio produto, e, por isso, é a concentração que possui menor quantidade do nutriente no solo, pois todo o Mg que o produto disponibilizou, a planta absorveu, atingindo, portanto, baixos teores do elemento no solo (Tabela 24).

Quanto ao teor de Mg acumulado no primeiro corte, a dose 4571 kg ha^{-1} do SGC farelado fino, para os dois solos, foi a única que obteve resultados superiores ao KCl. As doses 9143 kg ha^{-1} do SGC microgranulado e 6857 kg ha^{-1} do SGC farelado fino, em LVd, tiveram diferenças quanto ao controle, apresentando valores inferiores de Mg acumulado. Pelas figuras 32A e 32B é possível observar o comportamento do teor de Mg acumulado nas plantas conforme o aumento das doses do SGC microgranulado e farelado fino, nos solos argiloso e arenoso.

No segundo corte, no solo argiloso, a dose 6857 kg ha^{-1} do SGC microgranulado e a 2286 e 4571 kg ha^{-1} do SGC farelado fino tiveram maior acúmulo de Mg na planta que o adicional positivo. No arenoso, foi possível observar que as doses 4571 e 6857 kg ha^{-1} do SGC microgranulado e farelado fino e também a dose 2286 kg ha^{-1} do SGC farelado fino tiveram melhores resultados que a fonte comparada. Pode-se concluir que, nesse corte, de maneira geral, as menores doses apresentaram teores de Mg superiores ao KCl, devido ao $MgCO_3$ adicionado no tratamento somado à lenta solubilização da fonte. Enquanto na dose de 9143 kg ha^{-1} de SGC microgranulado e farelado fino, como não foi adicionado o referido carbonato, nessa concentração, os resultados obtidos foram menores que o KCl, pois não foi liberado Mg suficiente dos produtos para a absorção da planta, sendo um fator limitante, com impacto negativo na produtividade.

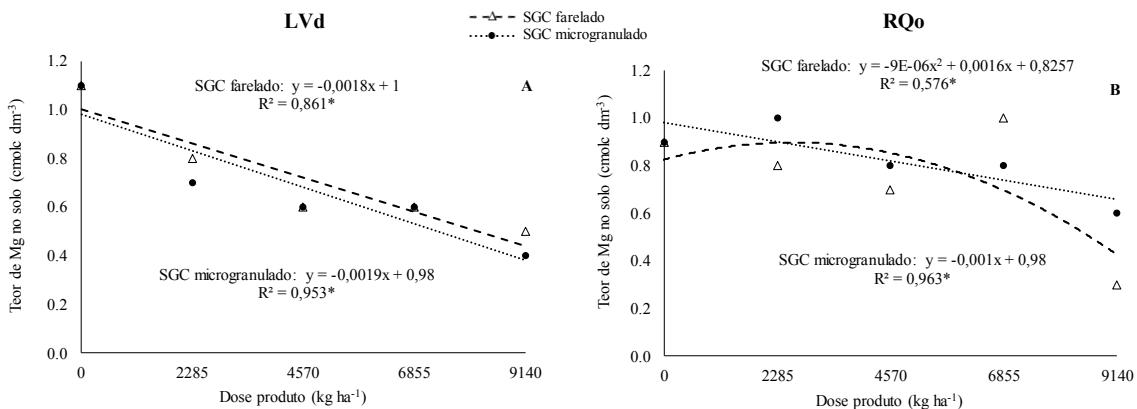
Pela figura 32C, é possível observar que os máximos teores de Mg acumulado na parte aérea das plantas foram atingidos, ao aplicar doses de 4571 e 5143 kg ha^{-1} do SGC

farelado fino e microgranulado. No solo arenoso, os teores máximos do nutriente foram alcançados ao aplicar doses de 4972 e 5800 kg ha⁻¹ do SGCarelado fino e microgranulado (Figura 32D).

Tabela 24. Teores de Mg nos solos LVd e RQo e acumulados na parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Dose produto Kg ha ⁻¹	Mg no solo mg dm ⁻³	Mg acumulado			Total acumulado
			1º corte	2º corte	3º corte	
LVd						
Testemunha	0	1,1 +	613,0	38,2 +	28,2	679,4
	2286	0,7 *	477,0	166,3 *	53,8	697,1
SGC microgranulado	4571	0,6 *	612,0	135,2 *	80,4 *+	827,6
	6857	0,6 *	479,4	195,5 *+	94,9 *+	769,8
	9143	0,4 *	372,9 **	89,6	75,9 *	538,4 +
Média		0,6 a	485,3 b	146,6 b	76,3 a	708,2 b
SGC farelado fino	2286	0,8 *+	609,1	209,0 *+	51,3	869,4
	4571	0,6 *	930,7 **	285,0 *+	48,0	1263,7 *+
	6857	0,5 *	420,9 +	170,6 *	90,5 *+	682,0
	9143	0,5 *	768,2	53,2	44,0	865,4
Média		0,6 a	682,2 a	179,4 a	58,4 b	920,0 a
KCl	267	0,5 *	694,8	112,6 *	52,3	859,7
DMS _{Dunnett}	-	0,2	233,8	73,2	25,7	242,8
CV (%)	-	15,9	19,3	24,9	20,6	14,9
RQo						
Testemunha	0	0,9 +	104,1 +	16,0 +	12,3	132,4 +
	2286	1,0 +	236,4	66,1	33,4	335,9 *
SGC microgranulado	4571	0,8	244,7	208,3 *+	68,3 *+	521,3 *
	6857	0,7	211,4	206,0 *+	59,9 *+	477,3 *
	9143	0,6 *	187,8	112,9 *	98,5 *+	399,2 *
Média		0,8 a	220,1 b	148,3 b	65,0 b	433,4 b
SGC farelado fino	2286	0,7	295,4 *	202,4 *+	45,9 *	543,7 *
	4571	0,7	508,1 **	232,8 *+	76,9 *+	817,8 *+
	6857	1,0 +	415,9 *	272,6 *+	92,7 *+	781,2 *+
	9143	0,3 *+	445,9 *	71,5	101,2 *+	618,6 *
Média		0,7 b	416,3 a	194,8 a	79,2 a	690,3 a
KCl	267	0,6 *	321,3 *	103,5 *	19,9	444,7 *
DMS _{Dunnett}	-	0,2	159,6	62,9	26,5	176,4
CV (%)	-	16,6	26,6	20,9	21,5	17,2

Médias diferem da testemunha (*) e do KCl (+) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.



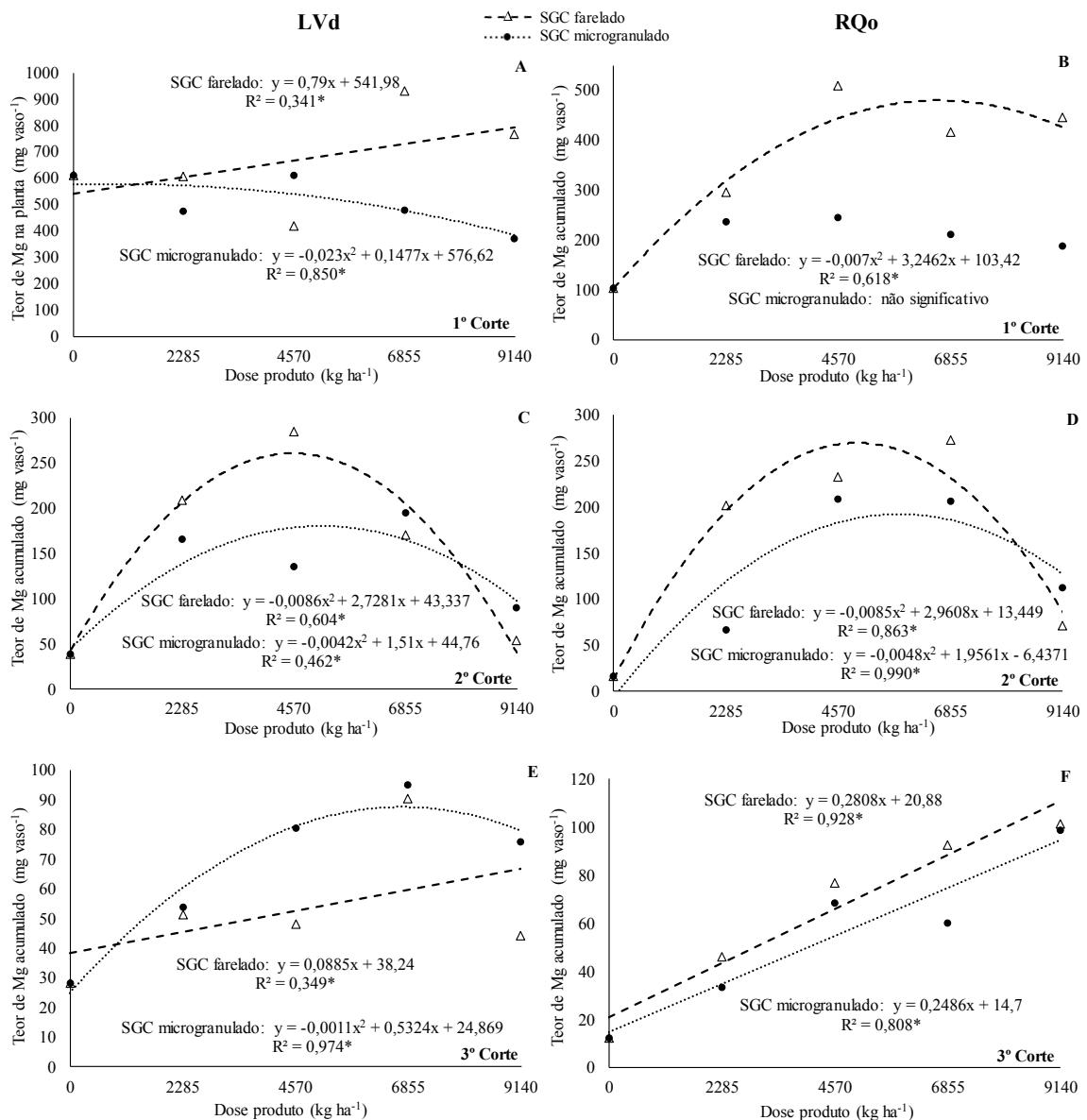
*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 31. Teor de Mg no solo cultivado com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes do Mg proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes, em LVd e RQo.

Já no terceiro corte, foi possível verificar que os produtos provenientes da rocha começaram a liberar mais Mg, portanto, no solo arenoso as três maiores doses do SGC microgranulado e farelado fino tiveram valores superiores ao adicional positivo, podendo isso ser explicado também pelo esgotamento do $MgCO_3$ no tratamento com KCl. Nesse solo, foram observados aumentos lineares com o aumento da dose, conforme representado nas figuras 32E e 32F. Para o solo argiloso, a dose 6857 kg ha^{-1} do SGC microgranulado e farelado, e a dose 4571 kg ha^{-1} , do SGC microgranulado, possuíram maior acúmulo de Mg que a fonte comparada.

Conclui-se que, nos primeiros cortes, um dos motivos para que não houvesse efeito significativo na dose de 9143 kg ha^{-1} do SGC microgranulado e farelado fino foi devido à baixa liberação do Mg pelos produtos, tornando-o fator limitante. Esse cenário mudou no terceiro corte, no qual as fontes testadas proporcionaram maior liberação do Mg para o solo e, consequente, absorção pelas plantas, sendo essa quantidade suficiente para o teor de Mg acumulado ser significativamente superior ao KCl nessa dose.

Duarte (2012) ao estudar as fontes KCl, siltito glauconítico e siltito glauconítico calcinado, após dois cultivos consecutivos (68 DAS) de milheto, em LVd, verificou que a quantidade de Mg acumulado na parte aérea das plantas foi maior no tratamento com o SGC, no primeiro cultivo, segundo cultivo e somatória, enquanto as outras fontes estudadas não diferiram da testemunha. Portanto, o SGC liberou Mg para o solo tanto no primeiro, quanto no segundo cultivo.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 32. Teor de Mg acumulado na parte aérea de plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de Mg proveniente do SGC microgranulado e farelado fino, ao longo dos três cortes, em LVd e RQo.

Além disso, foi verificado que houve maior teor de Mg acumulado na parte aérea das plantas do que Ca acumulado, principalmente no primeiro corte. Uma possível explicação para a maior absorção de Mg pelas plantas pode estar relacionada com a menor liberação do Ca dessa fonte, o que pode ter proporcionado maior disponibilidade de Mg para as plantas. Ca e Mg possuem propriedades químicas muito similares, como o grau de valência e a mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo

e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença excessiva de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Clarck et al. (1997) observaram, no milho, que ocorreu redução na concentração de cálcio da parte aérea, com o aumento da aplicação de magnésio.

3.8 pH do solo

Foi citado por Duarte (2012) que o siltito glauconítico calcinado, além de fornecer vários nutrientes, também aumenta o pH dos solos, devido à adição do calcário no produto. Essa capacidade de elevar o pH se deve à presença de óxidos de Ca e Mg em sua composição química, pois tem-se como corretivo de acidez os óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg (MALAVOLTA, 1981).

As quantidades de CaCO_3 e MgCO_3 adicionadas em cada tratamento foram proporcionais às quantidades existentes de Ca e Mg das fontes e doses utilizadas. Como o SGC possui Ca e Mg em sua composição, à medida que se foi utilizando doses crescentes do SGC microgranulado e farelado fino, a quantidade de CaCO_3 e MgCO_3 adicionada foi diminuindo, ao ponto que na maior dose de SGC não foi adicionada nenhuma quantidade de CaCO_3 e MgCO_3 (Tabela 18).

Por isso que, no solo arenoso, foi observado que as três maiores doses do SGC microgranulado obtiveram resultados inferiores quando comparados à testemunha. Também as doses 4571 e 6857 kg ha^{-1} do SGC farelado fino obtiveram o mesmo comportamento. Ademais, foram obtidos menores valores de pH nessas doses ao se comparar com os padrões KCl e KCl + Wollastonita. Somente a dose 9143 kg ha^{-1} do SGC farelado fino obteve melhor resultado que o controle KCl + Wollastonita e não houve diferença quanto à testemunha e ao KCl (Tabela 25).

Já no solo argiloso, tanto para o SGC microgranulado quanto para o SGC farelado fino, não houve diferenças significativas quando comparados aos controles positivos. No entanto, na dose 4571 kg ha^{-1} do SGC farelado fino obteve-se maior valor de pH que a testemunha (Tabela 25).

Portanto, em RQo, o motivo no qual ocorreu a diminuição do pH nas doses crescentes de SGC foi a menor adição do CaCO_3 e MgCO_3 nesses tratamentos. Já no solo argiloso, não foi observada mudança no valor de pH, o que pode ser explicado pelo poder tampão (Tabela 25). O solo argiloso possui maior poder tampão, ou seja, maior resistência em deslocar o equilíbrio no qual o solo se encontra, bem como necessita de maior

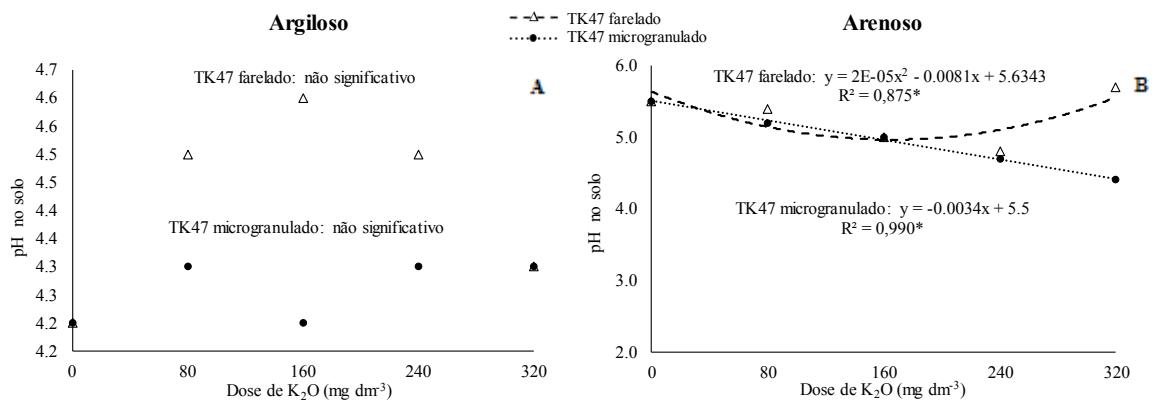
quantidade de carbonatos para aumentar o pH. Por isso que, em LVd, mesmo se adicionando maior quantidade de corretivos à testemunha, isso não foi suficiente para que ocorresse mudanças no pH (Tabela 15), fato também associado a maior CTC desse solo quando comparado ao arenoso, ao teor de argila entre outros fatores.

Tabela 25. pH nos solos LVd e RQo aos 168 DAS de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em função da aplicação de diferentes doses e granulometrias de siltito glauconítico calcinado.

Tratamento	Doses produto	Dose de K ₂ O	Doses de Si	pH		
	kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	LVd	RQo	
Testemunha	0	0	0	4,2	5,5	
	2286	80	195	4,3	5,2	
SGC microgranulado	4571	160	390	4,2	5,0	*+a
	6857	240	585	4,3	4,7	*+a
	9143	320	780	4,3	4,4	*+a
Média				4,3	b	4,8 b
	2286	80	195	4,5		5,3
SGC farelado fino	4571	160	390	4,6	*	5,0 *+a
	6857	240	585	4,5		4,8 *+a
	9143	320	780	4,3		5,7 a
Média				4,5	a	5,2 a
KCl	267	80	0	4,5		5,5
KCl + Wollastonita	3390	80	390	4,3		5,3
DMS _{Dunnett}	-	-	-	0,4		0,3
CV (%)	-	-	-	4,2		3,2

Médias diferem da testemunha (*), do KCl (+) e KCl + Wollastonita (a) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

O fato do pH não ter aumentado com o acréscimo das doses dos produtos testados (Figura 33A e 33B) é devido ao equilíbrio na correção do solo entre a fonte testada e as doses de carbonatos. Observa-se, porém, nos tratamentos com SGC microgranulado uma redução do pH com o aumento na dose, isso ocorre devido a menor reatividade desta fonte.



*regressão significativa ao nível de significância 0,05.

Figura 33. Valores de pH nos solos LVd e RQo cultivados com plantas de *Urochloa brizanta* cv. Marandú, em função da aplicação de doses crescentes de SGC microgranulado e farelado fino, após os três cortes.

4 CONCLUSÕES

O SGC aumentou a MSPA em *Urochloa brizantha* cv. Marandú e o acúmulo de K, Si, Mn e Ca na parte aérea das plantas em função das doses.

Aos 168 DAS, o IEA (%) do microgranulado e farelado fino foi de 2 a 3 vezes superior ao KCl, respectivamente. No entanto, o IEA (%) do SGC microgranulado é inferior ao farelado fino, devido à maior granulometria e menor solubilidade dessa fonte.

Os teores de K nos solos argiloso e arenoso, após os três cortes de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, foram superiores nas duas maiores doses do SGC em relação ao KCl. Quanto ao acúmulo de K na parte aérea, aos 168 DAS, de maneira geral, o SGC microgranulado e o farelado fino apresentaram resultados superiores ao KCl.

As fontes SGC foram também eficientes ao disponibilizar Si, Mn e Ca para as plantas, com respostas semelhantes aos padrões e superiores a eles aos 168 DAS, evidenciando o maior efeito residual das rochas em cultivos sucessivos.

Os dados apresentados neste estudo demonstram que, ao longo do tempo, a fonte siltito glauconítico calcinado possui potencial para substituir as fontes solúveis, sendo uma alternativa de fertilizante potássico de liberação lenta e gradual dos nutrientes. Além de fornecer vários nutrientes da sua composição, diferentemente do KCl.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As fontes SG e SGC microgranulado e farelado fino são eficientes em disponibilizar os nutrientes K, Si e Mn para as plantas em cultivos sucessivos, devido à liberação gradual a longo prazo e ao alto efeito residual da fonte.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. R. M; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. **Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas.** Planaltina: EMBRAPA, 2002. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).
- ARRIETA, R. G. **Reatividade e eficiência agronômica do verdete e verdete calcinado como fertilizantes multinutrientes no arroz inundado.** 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- CARVALHO, F. G.; BURITY, H. A.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F.; SILVA, A. J. N. Produção de matéria seca e concentração de macronutrientes em *Brachiaria decumbens* sob diferentes sistemas de manejo na zona da mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 101-106, 2006.
- CLARK, R. B. et al. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], v. 28, p. 1441-1459, 1997.
- COCKER, K. M.; EVANS, D. E.; HODSON, M. J. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or in plant mechanism? **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 104, n. 4, p. 606-614, 1998.
<https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040413.x>
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MG - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5^a Aproximação.** Viçosa - MG, 1999. 359p.
- COSTA, K. A. P. et al. Extração de macronutrientes pela fitomassa do capim-xaraés em função de doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 1162-1166, 2008.
- DUARTE, I. D. **Fonte alternativa de potássio para adubação da cana-de-açúcar.** 2015. 177 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia, 2015.
- DUARTE, I. D.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.
<https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000200003>
- DUARTE, I. D. **Termopotássio:** fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3. ed. Brasília, 2017. 575 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Brasília, 2014. 376 p.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.
[https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80005-7](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80005-7)

ERNANI, P. R. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007.

FERNANDEZ, F. A. Influência de silicato de calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 935-945, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FRAYA, R. Rochas potássicas: possibilidade de aproveitamento para indústria de adubos. **Min. Metal.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 87, p. 85-96, 1950.

FRIEDERICH, A. et al. Pós de rochas como fonte de potássio para uso agrícola em argissolos vermelhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: [s.n.], 2013. 71 p.

FURTINI, K. V. **Desenvolvimento de copo-de-leite cultivado em substratos com diferentes fontes de doses de potássio**. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.

HOROWITZ, A. et al. Produção de adubos de solubilidade controlada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 144-157, 1978.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27 p. (Documentos, 100).

KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 50 p.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 24, n. 7, p. 1071-1084, 2001.

<https://doi.org/10.1081/PLN-100103804>

KORNDÖRFER, C. M.; ABDALA, A. L.; BUENO, I. C. S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária notícias**, Uberlândia, v. 7, n. 1, p. 153-163, 2001.

MACHADO, R. V; **Liberação de potássio de resíduos de rochas ornamentais**: efeito de tratamentos químicos e térmicos. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e cálcio-magnesianos. In: MALAVOLTA, E. (Ed). **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 198, cap.5, p. 232-245.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade**: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66 p. (Série Estudos e Documentos n. 61).

ORIOLI JUNIOR, V.; COUTINHO, E. L. M. Effectiviness of Fused Magnesium Potassium Phosphate for Marandu Grass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 33, p. 1855-1862, 2009.

ORLANDO FILHO, J. O. et al. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, [S.l.], v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PIZA, P. A. T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Verdete do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 17., 2009, **Anais...** Rio de Janeiro, 2009.

PRIMAVESI, A. C. et al. Nutrientes na fitomassa de capim-Marandú em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 562-568, 2006.

PRIYONO, J.; GILKES, R. J. High-energy milling improves the effectiveness of silicate rock fertilizers: a glasshouse assesment. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39: p. 358-369, 2008.
<https://doi.org/10.1080/00103620701826498>

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 142.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RESENDE, A. V. et al. O suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas *in natura* na Agricultura Brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.

RESENDE, A. V. et al. Potencial de Rochas Silicáticas no Fornecimento de Potássio para culturas anuais: I. respostas da soja e do milheto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife, **Anais...** Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-ROM).

SANTOS, D. S. **Rochagem como alternativa para fornecimento de potássio para as culturas**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANZONOWICKZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [S.l.], v. 9 p. 45-50, 1985.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**. v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

<https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>

SIQUEIRA, J. O.; GUEDES, G. A. A.; RIBEIRO, M. A. V. Disponibilidade do potássio do sienito nefelínico de Poços de Caldas, avaliada em cultivos sucessivos com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 299-307, 1985.

SOUZA, E. C. A.; YASUDA, M. Uso Agronômico do Termofosfato no Brasil, In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009, cap. 21.

STRAATEN, P. V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, v. 78, 2006, p. 731-747.

THEODORO, S. H; LEONARDOS, O. H; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010, Brasília. **Anais...** Brasília, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010, p. 173-181.

TOLEDO PIZA, P. A. et al. Verdete da região de Cedro de Abaté (MG) como fonte alternativa para potássio. **Geociênci**a, São Paulo, v. 30, n. 3, 2011.

VITTI, G. C. et al. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. São Paulo, [S.l.], 2008. 104 p.