

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LETÍCIA NAYARA FUZARO RODRIGUES

**RESPOSTA AO USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA, COMO REMINERALIZADOR E CORRETIVO DO SOLO**

Ilha Solteira
2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LETÍCIA NAYARA FUZARO RODRIGUES

**RESPOSTA AO USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA, COMO REMINERALIZADOR E CORRETIVO DO SOLO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Andreotti
Orientador

Pesquisador Dr. Wander Luis Barbosa Borges
Coorientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R696r Rodrigues, Letícia Nayara Fuzaro.
Resposta ao uso de agromineral silicático em sistema de semeadura direta,
como remineralizador e corretivo do solo / Letícia Nayara Fuzaro Rodrigues. --
Ilha Solteira: [s.n.], 2023
54 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistema de Produção, 2023

Orientador: Marcelo Andreotti
Co-orientador: Wander Luis Barbosa Borges
Inclui bibliografia

1. Pó de rocha. 2. Remineralizador. 3. Solo arenoso. 4. *Glycine max*. 5.
Sorghum bicolor.


Amanda Sertori dos Santos

Biblioteca - CIBIS-001
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

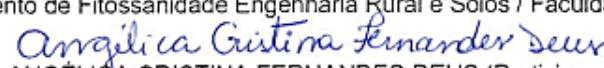
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTA AO USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA, COMO REMINERALIZADOR E CORRETIVO DO SOLO

AUTORA: LETÍCIA NAYARA FUZARO RODRIGUES
ORIENTADOR: MARCELO ANDREOTTI

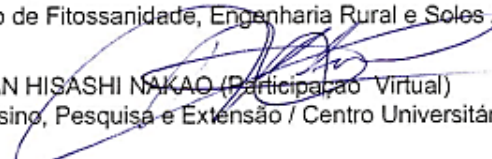
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, especialidade: Sistema de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Profa. Dra. ANGÉLICA CRISTINA FERNANDES DEUS (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof.Dr. ALLAN HISASHI NAKAO (Participação Virtual)

Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão / Centro Universitário de Santa Fé do Sul - UNIFUNEC

Ilha Solteira, 18 de dezembro de 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Rosiclea Leite Fuzaro Rodrigues e Claudio Rodrigues, pela vida, educação e por toda ajuda fornecida.

Aos meus irmãos Guilherme Henrique Fuzaro Rodrigues e Gustavo Henrique Fuzaro Rodrigues pelos momentos de descontração e alegres proporcionados durante esses anos.

Ao meu sobrinho Victor Hugo, que preenche os meus dias com sua alegria genuína, proporcionando momentos de leveza e muitas risadas.

Aos meus avós Aparecida Rodrigues e Vicente Rodrigues, por todo acolhimento que me proporcionaram em todos os momentos.

As minhas amigas Aryadne Rayala Sindeaux de Oliveira e Adriana Aparecida da Silva, pelo suporte emocional e por todo carinho.

Ao meu noivo Arthur de Souza Gonçalves, que sempre esteve ao meu lado me incentivando, acolhendo, confortando e ajudando.

Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que esteve presente em cada momento durante essa caminhada, me fortalecendo, guiando e trazendo calma em meio as circunstâncias difíceis, por todo o seu amor, cuidado e carinho para com a minha vida.

Agradeço à Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, campus de Ilha Solteira, em especial ao programa de Pós-graduação em Agronomia/Sistemas de Produção pela oportunidade cedida.

Ao Centro Avançado de Pesquisa de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agrônomo (IAC), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo (SAA), localizado no município de Votuporanga, pela oportunidade cedida de ter desenvolvido a pesquisa em uma das suas áreas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Andreotti, que sempre se mostrou um profissional exemplar, admiro o seu jeito de lidar com os orientados, o seu conhecimento e didática me encantam, e principalmente pela paciência que sempre teve ao conversar todos, o carinho que demonstra, eu sou muito grata por tê-lo como orientador.

Ao meu coorientador Dr. Wander Luis Barbosa Borges, por todo carinho e dedicação que sempre teve com todos, pela disposição em ajudar e orientar, pelos momentos de descontração, pelas conversas e ensinamentos, eu sou muito grata por tê-lo como coorientador.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Marcelo C. M. Teixeira Filho e Profa. Dra. Viviane Cristina Modesto, os quais tenho profunda admiração e respeito.

Aos membros da banca de defesa Prof. Dr. Allan Hisashi Nakao e Profa. Dra. Angélica Cristina Fernandes Deus, pela disponibilidade em avaliar e contribuir com sugestões para o trabalho.

A todos os docentes do programa de Pós-Graduação em Agronomia - Sistemas de Produção, por todo conhecimento transmitido que contribuíram para minha formação profissional.

Aos técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo, Carlinhos, Silvinha e a Elis, e do Laboratório de Nutrição de Plantas, Marcelo Rinaldi, sou imensamente grata pela amizade, por toda atenção, carinho e cuidado para comigo e por todo auxílio prestado nas análises.

Em especial a Profa. Dra. Viviane Cristina Modesto por toda ajuda concedida na realização das análises, por todo conhecimento compartilhado e pela paciência em momentos de dúvidas.

Aos funcionários do Centro Avançado de Pesquisa de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agronômico (IAC), por toda ajuda concedida, pelo conhecimento transmitido, pelas conversas, pela presteza e auxílio durante a condução do experimento.

Aos bolsistas do programa de PIBIC do Centro Avançado de Pesquisa de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agronômico (IAC), que participaram da condução do experimento, em especial aos amigos Luan Carlos Pianta da Cruz e Douglas Yuri Osaka Oliveira, pelos bons momentos, conversas e por toda ajuda concedida, sou imensamente grata.

A todos os integrantes da equipe de pesquisa do Prof. Marcelo Andreotti, que pude estar conhecendo e ter a oportunidade de viver bons momentos, em especial a Izabela, Naiane e Viviane.

A minha família, ao meu noivo, aos meus amigos e colegas de pesquisa, por estarem torcendo, apoiando e incentivando durante esta caminhada.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho, agradeço de todo o meu coração.

Muito Obrigada a todos!!!

“Não fiquem com medo, pois estou com vocês; não se apavorem, pois eu sou o seu Deus. Eu lhes dou forças e os ajudo; eu os protejo com a minha forte mão”.

(Isaías 41:10)

RESUMO

Os corretivos de acidez do solo e os fertilizantes minerais estão presentes no processo de produção agrícola, sendo utilizados principalmente para elevar a produtividade das lavouras, porém, novos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de obter tecnologias mais sustentáveis, como o uso de agromineral silicático. O objetivo desse estudo, foi avaliar o uso de agromineral silicático, como remineralizador do solo em substituição ao uso de calcário, gesso, e fertilizantes minerais convencionais, em sistemas de semeadura direta (SSD). O projeto foi desenvolvido durante os anos agrícolas de 2020/21 e 2021/22 em área de sequeiro, no Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agrônomo (IAC), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo (SAA), localizado no município de Votuporanga-SP. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, textura arenosa. O projeto foi implantado em área experimental de sistema de semeadura direta, com histórico de 12 anos neste sistema. Foram avaliados os efeitos de 12 tratamentos de combinação de calagem, gesso, adubação mineral e agromineral silicático sobre as características agrônômicas das culturas da soja e do sorgo em sucessão, e sobre os atributos químicos do solo, após dois anos de suas aplicações. O uso de agromineral silicático na dose de 2.500 kg ha⁻¹ proporcionou melhor desenvolvimento e produtividade da cultura da soja e do sorgo em sucessão. A respeito dos atributos químicos do solo, o agromineral silicático utilizado nas diferentes doses não proporcionou efeitos significativos sobre a fertilidade do solo. No entanto, no tratamento T3 (calcário + gesso agrícola) houve melhoria na fertilidade do solo após dois anos de sua aplicação.

Palavras-chave: pó de rocha; remineralizador; solo arenoso, *Glycine max*, *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

Soil acidity correctors and mineral fertilizers are present in the agricultural production process, being used mainly to increase crop productivity, however, new studies have been developed with the aim of obtaining more viable and sustainable technologies, such as the use of silicate agromineral. The objective of this study was to evaluate the use of silicate agromineral as a soil remineralizer to replace the use of limestone, gypsum, and conventional mineral fertilizers in no-tillage systems (SSD). The project was developed during the agricultural years 2020/21 and 2021/22 in a rainfed area, at the Advanced Center for Research on Rubber Trees and Agroforestry Systems, of the Agronomic Institute (IAC), of the São Paulo Agency for Agribusiness Technology (APTA), from the Department of Agriculture and Supply of the state of São Paulo (SAA), located in the municipality of Votuporanga-SP, Brazil. The soil in the experimental area was classified as Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, medium/sandy texture. The project was implemented in an experimental area using a no-tillage system, with a 12-year history of this system. The effects of 12 combination treatments of liming, gypsum, mineral fertilization and silicate agromineral were evaluated on the agronomic characteristics of soybean and sorghum crops in succession, and on the chemical attributes of soil, after two years of their application. The use of silicate agromineral at a dose of 2,500 kg ha⁻¹ provided better development and productivity of soybean and sorghum crops in succession. Regarding the chemical attributes of the soil, the silicate agromineral used in different doses did not provide significant effects on soil fertility. However, in treatment T3 (limestone + agricultural gypsum) there was an improvement in soil fertility after two years of its application.

Keywords: rock powder; remineralizer; sandy soil, *Glycine max*, *Sorghum bicolor*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Culturas utilizadas no sistema de semeadura direta, no período de setembro (Set) de 2009 a abril (Abr) de 2022. Votuporanga/SP, 2023. ..	24
Tabela 2 - Caracterização química do solo antes da implantação do experimento na camada de 0,00-0,20 e 0,20-0,40. Votuporanga/SP, 2023.	25
Tabela 3 - Caracterização química do agromineral silicático utilizado em área de SSD. Votuporanga/SP, 2023.	25
Tabela 4 - Caracterização granulométrica ⁽¹⁾ da amostra de agromineral silicático utilizada em área de SSD. Votuporanga/SP, 2023.	23
Tabela 5 - Informações sobre os cultivares, datas de semeadura, espaçamentos, densidades de semeadura, datas de colheita e manejo das espécies utilizadas em área de SSD nas safras 2020/21 e 2021/22. Votuporanga/SP, 2023.	296
Tabela 6 - Médias de altura de planta (AP), inserção da primeira vagem (IPV), número de vagens por planta (NVP), população final de plantas (PFP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de soja. Votuporanga, 2022.	33
Tabela 7 - Médias para altura de planta (AP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final de plantas (PFP), participação de panícula em relação a planta (PPRP) e massa seca total da planta de sorgo (MSTPS). Votuporanga, 2022.	374
Tabela 8 - Atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,2 m coletadas coletadas 46 dias antes da condução do experimento em SSD, na safra 2020/21, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2020.	41
Tabela 9 - Atributos químicos do solo na camada de 0,2-0,4 m coletadas coletadas 46 dias antes da condução do experimento em SSD, na safra 2020/21, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2020.	42
Tabela 10 - Atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,2 m, coletados 261 dias após a aplicação dos tratamentos em SSD, na safra 2021/22, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2022.	45
Tabela 11 - Atributos químicos do solo na camada de 0,2-0,4 m, coletados 261 dias após a aplicação dos tratamentos em SSD, na safra 2021/22, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2022.	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA	16
2.2	FERTILIZANTES MINERAIS.....	17
2.3	CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA.....	18
2.4	AGROMINERAL SILICÁTICO	19
2.5	EFEITO DO USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CULTURAS	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.2	SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA (SSD) – SAFRAS 2020/21 e 2021/22	26
3.2.1	Delineamento experimental e tratamentos.....	26
3.2.2	Preparo da área experimental e manejo das culturas	27
3.2.3	Avaliações.....	29
3.2.3.1	Determinação das características morfológicas, componentes de produção e produtividade de grãos da cultura da soja	29
3.2.3.2	Determinação das características morfológicas, componentes de produção e produtividade de grãos da cultura do sorgo.....	29
3.2.3.3	Avaliação dos atributos químicos do solo	30
3.2.4	Análise estatística	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA CULTURA DA SOJA .	31
4.2	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA CULTURA DO SORGO	34
4.3	AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE SEMEADURA DIRETA.....	39
4.3.1	Atributos químicos do solo – 2020/21	39
4.3.2	Atributos químicos do solo – 2021/22	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural renovável e alicerce de todo habitat vegetal e animal. Exerce importante papel nas diversas funções nos ecossistemas, como promoção da ciclagem de nutrientes, bem como sequestro de carbono (C) e ajuste do clima e da água, tornando-o essencial, principalmente por ser a base da produção de alimentos (Bouma, 2018).

Nesse sentido, faz-se necessário a adoção de tecnologias que otimizem o modo de produção das culturas, convertendo em ganhos de produtividades, como agricultura de precisão, melhoramento genético, uso de maquinários agrícolas, irrigação, adequação do uso de fertilizantes minerais, orgânicos e biológicos, corretivos de acidez e defensivos agrícolas (Coelho, 2005; Lopes; Guilherme, 2000; Maciel; Tunes, 2021; Oliveira *et al.*, 2015).

Uma vez que a população mundial vem apresentando constante aumento, com estimativa de atingir 10 bilhões de habitantes em 2050, há como consequência, que a produção agrícola deverá ter um acréscimo de 56% comparado à 2010, para suprir a demanda (Searchinger *et al.*, 2018). Assim, um dos destaques na produção de alimentos é o Brasil, que está entre os 4 maiores produtores mundiais, principalmente pela crescente expansão do agronegócio. Para ter sucesso na produção, os resultados estão ligados ao uso de fertilizantes, que no país são importados. No Brasil, em 2020 foi registrado um total de 29,4 milhões de toneladas de fertilizantes, um volume 11% maior do que foi importado do ano de 2019 (Globalfert, 2021).

Dentre os fertilizantes, os principais em maiores volumes de importação tem sido a ureia, o fosfato monoamônico (MAP) e o cloreto de potássio (KCL), que apresentaram recorde de importação em 2020 comparado ao ano de 2019, sendo 28% com 6,8 milhões de toneladas, 25% com 4,8 milhões de toneladas e 12% com 11,4 milhões de toneladas a mais, respectivamente. O KCL apresentou um percentual de 39% do volume total dos fertilizantes importados, ou seja, é o produto de maior dependência devido à baixa produção do mercado interno (Globalfert, 2021).

Dessa forma, é essencial traçar alternativas que possam satisfazer o produtor com tecnologias mais sustentáveis, com ganho de produtividade e custos de produção mais baixos, para conseguir minimizar a dependência do uso dos fertilizantes minerais importados. Diferentes técnicas vêm sendo trabalhadas pelos produtores, algumas já

estabelecidas como a calagem e a gessagem, práticas sustentáveis e com custo de produção acessível (Dettemer *et al.*, 2019).

Nessa busca por uma produção mais sustentável e de menor custo, o agromineral silicático surge como uma alternativa, pois a remineralização, ou processo de rochagem, consiste na aplicação de rocha moída no solo, com o intuito de promover o aumento da fertilidade, retenção de água bem como gerar estímulo à atividade biológica (Carvalho, 2012; Edward; Paula; Gatto, 2016; Melo *et al.*, 2012).

Os agrominerais são resíduos de minerações, garimpos e metalúrgicas, e por conter em sua composição macro e micronutrientes passou a ser utilizado na agricultura, além de fornecer os nutrientes, os pós de rochas também promovem a correção e o condicionamento ao solo (Pádua, 2012).

No entanto, deve ser levado em consideração o contexto a ser implantado, a realidade e adaptação a cada ambiente de produção, pois é importante associar o uso do agromineral silicático com as práticas conservacionistas, visando qualidade na produção, ganhos ambientais, e também sociais e econômicos (Embrapa, 2018; Theodoro *et al.*, 2006).

Estudos realizados com o uso de agromineral silicático, apontam a liberação de nutrientes em quantidades relevantes, sendo eles, Ca, Mg, Zn, Cu e Fe, bem como considerável aumento no pH e na capacidade de troca catiônica (CTC), em solos cuja a fertilidade é baixa (Lopes *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2012).

Os nutrientes presentes no agrominerais silicáticos são liberados na solução do solo de forma gradual, essa ação evita os problemas de perdas por lixiviação que são mais frequentes quando se utiliza fertilizantes convencionais principalmente em solos arenosos. Quanto ao fósforo, a ação corretiva proporcionada pelos agrominerais reduz a acidez do solo, dessa forma contribuindo para que esse nutriente não fique retido nos colóides pela ação de óxi-hidróxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe) (Beneduzzi, 2011; Theodoro; Almeida, 2013). Tal característica tem grande vantagem em sistemas conservacionistas de longa duração como o sistema de semeadura direta (SSD) e em culturas perenes como pastagens e sistemas integrados de produção agropecuários.

Portanto, o uso de agrominerais silicáticos é uma alternativa interessante a ser estudada, não só como possível fonte de substituição dos corretivos e fertilizantes minerais, mas também, na capacidade de promover melhoras quanto as características físico-químicas do solo. Assim, objetivou-se com esse estudo, avaliar

o uso de agromineral silicático como remineralizador do solo em substituição ao uso de calcário, gesso, e fertilizantes minerais convencionais, em sistemas de produção de semeadura direta e seus efeitos sobre os atributos químicos do solo sobre as características agronômicas das culturas da soja e do sorgo, em solo arenoso na região Noroeste Paulista.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

Os estudos no Brasil a respeito da implantação do sistema de semeadura direta, teve seu início em lavouras na região de Londrina no ano de 1971 em que as principais culturas eram trigo e soja. Essa iniciativa partiu tanto do Ministério da Agricultura, mas principalmente dos agricultores paranaenses, e, desde então, as áreas cultivadas sob sistema de semeadura direto foram se expandindo cada vez mais, e atualmente a área ocupada é de mais de 33 milhões de hectares, sendo considerado o sistema de maior destaque entre os cultivos sustentáveis (Fancelli; Dourado Neto, 2000; Febrapdp, 2022).

O SSD é uma técnica que tem como método alternativo o preparo reduzido do solo. O ponto chave desse sistema é a palhada que fica depositada sobre a superfície do solo formando uma cobertura vegetal, que somada aos resíduos das culturas de interesse comercial, proporcionam um ambiente favorável ao crescimento das plantas, além de promover a recuperação ou manutenção das características e atributos do solo, sendo elas físicas, químicas e biológicas (Freitas, 2005).

Essa prática sustentável apresenta inúmeros pontos positivos como redução no uso de insumos, controle dos processos erosivos, devido a cobertura vegetal, aumento da infiltração de água e também menor uso de defensivos agrícolas (MAPA, 2019). Outros benefícios proporcionados pelo SSD é o incremento à biodiversidade, sequestro de carbono e a participação no ciclo hidrológico (Valle, 2015).

No entanto, é importante ressaltar que o sucesso do manejo está atrelado a fatores como a rotação e a sucessão de culturas, quantidade de cobertura vegetal e manejo integrado de pragas e doenças, pontos indispensáveis que garantem o sistema sustentável (Anselmo; Costa; Sá, 2014). A rotação de culturas é uma das principais atividades que faz parte do sistema de semeadura direta e tem como objetivo a alternância de culturas, sendo elas comerciais como soja, feijão, milho, arroz ou sorgo, com culturas conhecidas como adubos verdes ou plantas de cobertura como o feijão guandu, a crotalária, mucuna e gramíneas podendo ser utilizado milheto ou capins. Esses manejos contribuem para um melhor recobrimento do solo, consequentemente maior ciclagem de nutrientes e aumentos na produtividade das culturas sucessoras (Silva; Tormena; Imhoff, 2006).

2.2 FERTILIZANTES MINERAIS

Com o propósito de ampliar a disponibilidade de nutrientes para as diversas culturas durante as etapas de cultivo, bem como gerar aumento na produtividade, principalmente em áreas em que o solo é de baixa fertilidade, os fertilizantes minerais surgem como opção para atender à essa necessidade (Teixeira, 2023).

A vantagem no uso dos fertilizantes está na rápida disponibilização de nutrientes, necessários para suprir a carência do solo e atender a demanda da planta. A ausência dos nutrientes acaba limitando a produção agrícola, pois compromete o metabolismo do vegetal, refletindo em baixa produtividade (Mcgrath; Spargo; Penn, 2014).

Dentre os fertilizantes, destaca-se o uso dos adubos formulados NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), sendo esses macronutrientes requeridos em maiores quantidades pelas culturas. O nitrogênio (N) por ser um elemento dinâmico, apresenta como ponto negativo na adubação, perdas por lixiviação e volatilização (Maciel; Tunes, 2021; Mota *et al.*, 2015). Mesmo assim é um componente extremamente importante, pois age no metabolismo, principalmente na biossíntese de proteínas e clorofila, atuando no desenvolvimento tanto de parte aérea quanto radicular, melhorando a absorção de outros nutrientes. Portanto, sua ausência reflete na planta os sintomas de coloração amarelo-esverdeado nas folhas, caules mais finos, redução do porte e sistema radicular (Maciel; Tunes, 2021; Sengik, 2003; Taiz *et al.*, 2017).

O fósforo (P) também tem atuação no metabolismo, nesse caso participa dos processos de fotossíntese, respiração celular e comunicação genética, além de promover o crescimento e formação radicular, colabora para o desenvolvimento de sementes e floração, bem como incremento de microorganismos no solo (Harold, 2017). A carência de fósforo, compromete o crescimento da planta, a expansão da área foliar, o número de folhas e o diâmetro do caule (Taiz *et al.*, 2017)

O potássio (K), por sua vez, precisa estar na forma de íon K^+ para ser absorvido pelas plantas, e faz parte de inúmeras atividades, como abertura e fechamento estomático, absorção de água, formação de amido e açúcares, síntese de proteínas, além de participar do processo de fotossíntese, do alongamento celular, da translocação de assimilados, sendo considerado um ativador enzimático, regulador osmótico e na estabilização do pH no citoplasma, realizando a neutralização de ânions orgânicos e inorgânicos, aproveitamento do nitrogênio e absorção de outros nutrientes

(Elmer; Datnoff, 2014; Harold, 2017; Kerbaudy, 2004; Viana; Kiehl, 2010). A deficiência de K nas plantas tem como característica a clorose marginal das folhas mais velhas, progredindo para necrose e morte dos tecidos, ocasionado pelo acúmulo de aminas, putrescinas e agmatina, sendo derivados dos compostos solúveis nitrogenados (Epstein; Bloom, 2006).

2.3 CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA

Os solos da região do Cerrado têm como característica uma elevada acidez e uma baixa fertilidade, sendo indispensáveis o uso de técnicas de correção, garantindo melhores condições para que as culturas se desenvolvam, refletindo em maiores produtividades (Vieira Filho; Fishlow, 2017). A alta acidez do solo influencia diretamente em baixa CTC e saturação por bases (V%), atrelado a este fator estão os problemas com elementos tóxicos como o Al trocável (Al^{+3}) e manganês (Mn^{+2}) em excesso (Bottega *et al.*, 2012).

Os altos teores de Al presentes no solo implicam em menor desenvolvimento radicular, tornando a rizosfera superficial, o que diminui a capacidade de absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas (Raij, 2013). A calagem é o processo de aplicação de calcário, sendo composto basicamente por carbonato de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que ao entrar em contato com qualquer ácido, provoca uma reação de neutralização (Costa, C. *et al.*, 2015). Portanto, é muito comum o uso de corretivos, principalmente por contribuir no desenvolvimento das culturas, que em associação com os fertilizantes acaba suprimindo a carência de nutrientes (Broch; Ranno, 2008).

A calagem também proporciona aumento do pH e da atividade microbiana no solo (Mijangos *et al.*, 2010). Quando se adota técnicas como SSD em associação com à calagem, por um período considerável, nota-se uma proteção da matéria orgânica do solo, e isso só é possível por não haver o seu revolvimento (Caires *et al.*, 2006). Em estudo realizado com Latossolo Vermelho distroférico durante 60 meses, a reaplicação de gesso e calcário proporcionou aumento no teor da matéria orgânica do solo (Costa, 2011). Entretanto, o calcário aplicado em superfície apresenta baixa mobilidade, e para exercer maiores efeitos em camadas subsuperficiais, há uma demanda maior de tempo (Caires *et al.*, 2006). Em contrapartida, o gesso agrícola, por sua vez, apresenta maior mobilidade no solo comparado ao calcário, em camadas subsuperficiais (0,20 a 0,40 m), podendo chegar a camadas mais profundas (Raij, 2013)

O gesso agrícola é um subproduto da produção de ácido fosfórico, em que o sulfato de cálcio faz parte da sua composição, que contribui para a eliminação de problemas como a deficiência de Ca e/ou enxofre (S) nas culturas, além de reduzir os efeitos que o Al tóxico provoca nas plantas (Silva *et al.*, 2015), e também auxilia no desenvolvimento radicular e coopera para a absorção de nutrientes e água (Sousa; Lobato; Rein, 2005).

2.4 AGROMINERAL SILICÁTICO

O Ministério da Agricultura sancionou no dia 10 de dezembro de 2013, a Lei 12.890, Artigo 3º, em que remineralizadores ou também como são chamados “agrominerais silicáticos”, podem ser utilizados como fonte de nutrientes na adubação das culturas. Os remineralizadores são rochas que passaram por um processo de redução e classificação de tamanho, sendo utilizado na agricultura como fonte de macro e micronutrientes, contribuindo para fertilidade do solo e conseqüentemente, nos seus atributos físicos, físico-químicos e também na microbiologia (Mapa, 2013).

Importante ressaltar que deve ser levado em consideração a origem e composição das rochas, uma vez que esta irá interagir com as características do solo, com a microbiologia, as espécies cultivadas e também com as condições ambientais, portanto, faz-se necessário o conhecimento a respeito do efeito residual que as rochas moídas proporcionam, a fim de se entender a liberação de nutrientes para o solo (Grecco *et al.*, 2013; Souza, 2014).

Em todo caso, o processo de rochagem apresenta-se como uma prática viável e que pode ser adotada pelo agricultor familiar ou pelo agricultor que cultiva em larga escala, possibilitando o desenvolvimento de um mercado interno, que fornecerá um fertilizante de qualidade, reduzindo a dependência dos importados, uma vez que há uma diversidade de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, adequadas ao uso como fonte de nutrientes, ideais para a agricultura de clima tropical (Carvalho, 2018; Dalmora *et al.*, 2020; Dettmer *et al.*, 2019; Ramos; Mello; Kautzmann, 2014; Theodoro *et al.*, 2006).

O Cerrado brasileiro possui uma extensa área agricultável, onde os solos da região têm como característica a baixa fertilidade, portanto, o processo de rochagem seria uma estratégia para suprir a demanda de nutrientes que a planta necessita, com isso proporcionar uma dinâmica sustentável, e alternativa mais acessível, contribuindo para redução dos custos de produção (Martins, 2013; Sousa; Lobato, 2004), pois,

além de promover o aumento da CTC, por meio da formação de minerais de argila ao longo do processo de dissolução, também fornece macro e micronutrientes com uma gama maior de elementos que muitas vezes não são encontrados nos fertilizantes convencionais solúveis (Leandro; Júnior; Brasil, 2019).

Os remineralizadores promovem melhorias nas propriedades do solo, por gerar aumento da fertilidade, retenção de água e estímulo da microbiologia (Carvalho, 2012; Edward; Paula; Gatto, 2016; Melo, 2012). As práticas de rochagem também estão associadas à presença de microorganismos no solo, que formam uma relação mutualística com a rizosfera das plantas, proporcionados por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Siqueira, 1994).

2.5 EFEITO DO USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CULTURAS

O solo é um recurso natural extraordinário, com propriedades e atributos que sustentam tanto microorganismos até espécimes superiores, destacando-se principalmente os vegetais, pois o solo fornece condições para o seu desenvolvimento, e nesse processo, as raízes irão penetrar o material poroso e retirar o suprimento de água e nutrientes necessários para sua sobrevivência (Raij, 2017).

Para avaliar a qualidade do solo, são analisados os indicadores químicos que estão relacionados ao fornecimento de nutrientes às plantas que estão presentes no solo. Ao serem analisados leva-se em consideração o pH, os teores de matéria orgânica (MO), a capacidade de troca catiônica (CTC) e os nutrientes (P, K, Ca e Mg), sendo os principais indicadores da qualidade química do solo (Cardoso *et al.*, 2013).

Para produzir, seja em larga escala, ou para uma agricultura familiar, é importante que seja feita a análise de solo, pois essa ferramenta serve de base para o produtor identificar os níveis de fertilidade da sua área, e a partir dos resultados traçar o melhor manejo com foco em garantir um bom desenvolvimento para a cultura cultivada até o momento da sua colheita. No entanto, também deve ser levado em consideração a construção da fertilidade do solo, através da adoção de práticas sustentáveis que contribuam para o aumento da matéria orgânica, bem como fornecimento de nutrientes, redução da acidez, entre outros fatores. Nesse sentido, a busca por alternativas sustentáveis vem crescendo ano após ano, e pesquisas recentes apontam para o uso de diferentes agrominerais silicáticos como fonte

alternativa, que cooperem para a melhora nos atributos químicos do solo, através do fornecimento de macronutrientes e micronutrientes, e consequentemente, o aumento na fertilidade (Edward; Paula; Gatto, 2016; Theodoro, 2000).

As principais rochas utilizadas no Brasil como remineralizadores do solo são: basaltos, micaxistos, granitos, sedimentos de várzea, filitos, serpentinitos, entre outras (Theodoro; Leonardos; Almeida, 2010). Os elementos Ca, Mg, K, Na, P, Si, e demais nutrientes presentes nas rochas são disponibilizados lentamente na solução do solo, favorecendo a formação de argilominerais 2:1, melhorando a estrutura do solo, ajuste do pH e contribuindo para a reversão gradativa da degradação do solo (Dettmer *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2014).

Além de promover benefícios para os atributos químicos do solo, o uso de agromineral silicático em sistemas de produção como semeadura direta, agropastoril (SAP) e agroflorestais (SAFs) tem apresentado resultados interessantes. Estudos apontam para um aumento na vida microbiana, devido aos nutrientes presentes nos pós de rochas sobre SSD (Aguilera *et al.*, 2022). No caso do SAP, o próprio sistema já oferece inúmeras vantagens aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, e ao ser adicionado os agrominerais ao sistema, aumenta-se a sustentabilidade do mesmo, promovendo ainda mais incrementos sobre esses atributos (Costa *et al.*, 2015; Juliano, 2023). Quanto ao SAFs, associado ao uso de pó de rocha, o estudo apontou uma alteração na fertilidade e qualidade do solo de forma positiva, bem como no desenvolvimento das plantas que ampliou o seu potencial na captura de CO₂ (Soares, 2018).

São inúmeras as pesquisas com o emprego de rochas moídas em diferentes culturas no Brasil. As espécies de ciclo longo como a cana-de-açúcar, mandioca e florestais, por exemplo, aproveitam melhor os nutrientes presentes no pó de rocha, pois vão extraindo à medida que necessitam. Enquanto que em espécies de ciclo curto, como o milho, arroz, feijão e hortaliças, por exemplo, os resultados quanto ao uso de agromineral silicático podem se mostrar semelhantes ou levemente superiores aos tratamentos que receberam adubação mineral convencional, no entanto, é importante frisar que em rotação de culturas é necessário maior tempo de ação para melhores resultados (Theodoro; Almeida, 2013).

Alguns trabalhos com culturas de ciclo longo e curto em que foram utilizados agrominerais silicáticos, mostraram efeitos positivos sobre o desenvolvimento do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.); camu-camu (*Myrciaria dubia*); do morango (*Fragaria*

ananassa Duch); trigo (*Triticum aestivum* L.); batata (*Solanum tuberosum*) e feijão (*Phaseolous vulgaris* L.) (Anda *et al.*, 2009; Bertoldo *et al.*, 2015; Camargo *et al.*, 2012; Ramezani *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2014; Welter *et al.*, 2011).

Também Batista *et al.* (2013) relataram resultados interessantes da aplicação de pó de basalto sobre a cultura da soja, em que ação corretiva ao solo possibilitou a liberação de nutrientes, contribuindo para o crescimento em altura, bem como aumento no teor de clorofila da planta.

Os remineralizadores quando aplicados ao solo apresentam melhoras que estão vinculadas a fatores, como: correção da acidez, manutenção da umidade, agregação do solo, aumento na atividade biológica, melhor taxa de infiltração e porosidade, redução na densidade do solo, entre outros fatores (Bonetti *et al.*, 2019; Deus *et al.*, 2007). A granulometria do pó de rocha é essencial para os resultados, pois quanto menor ela for, melhor ou mais rápida será a sua atividade e a área de superfície, contribuindo no processo de intemperismo, que é promovido pela ação dos agentes químicos e biológicos (Knapick, 2005).

Importante ressaltar que os resultados obtidos com o uso do agromineral sobre a eficiência agronômica das culturas está atrelado a origem da rocha, bem como a sua mineralogia e composição química, a fatores associados às características do solo, ao tempo de incubação do agromineral silicático e às espécies cultivadas (Nascimento; Loureiro, 2004; Távora, 1982).

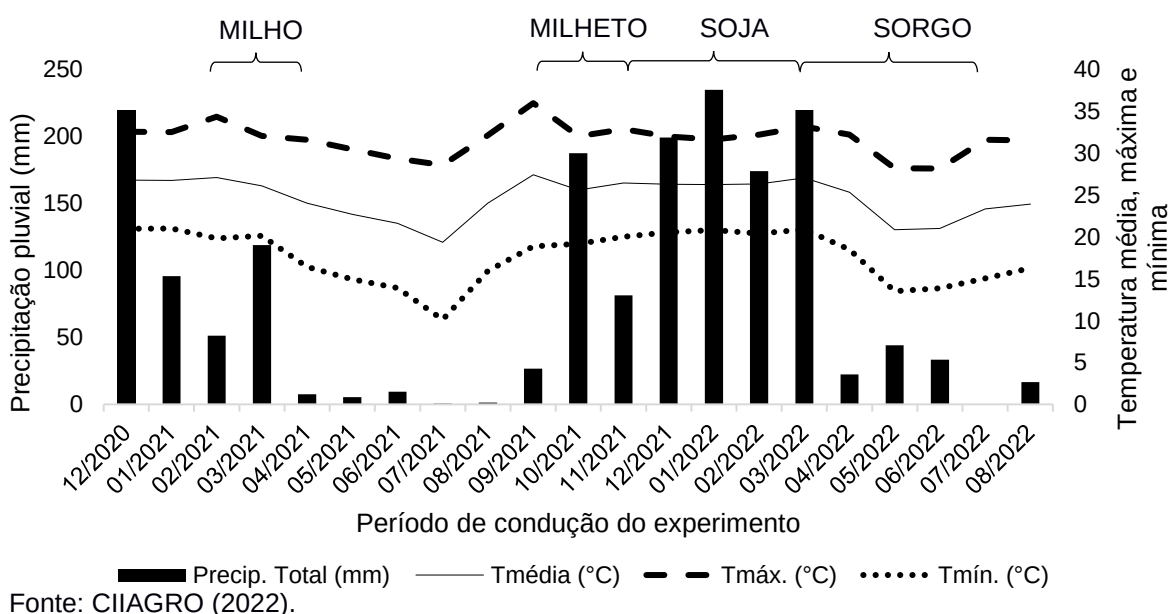
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi composta por dois experimentos sequencias na mesma área, nos anos safra de 2020/21 e 2021/22, em uma área experimental, de sequeiro do Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agrônômico (IAC), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo (SAA), localizado no município de Votuporanga, Estado de São Paulo (20° 28' S e 50° 04' W, altitude de 410 a 490 m).

O tipo climático da região Noroeste Paulista é Aw, segundo a classificação de Köppen, sendo tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média da região é de 1.232 mm, com temperatura média anual de 24°C (Hernandez; Lemos Filho; Buzetti, 1995). Durante a condução da pesquisa foram mensurados junto à estação meteorológica situada no local do experimento, os dados diários referentes à temperatura e precipitação pluvial (Figura 1).

Figura 1 - Média mensal de precipitação pluvial total, temperatura média, máxima e mínima coletadas junto a área experimental no período de implantação (dezembro de 2020) ao final do experimento (agosto de 2022). Votuporanga – SP (2023).



O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, textura arenosa (Santos *et al.*, 2018), sendo uma área de sistema de semeadura direta com um histórico de cultivo de 12 anos no sistema (Tabela 1), sendo milho em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu a cultura antecessora à aplicação dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Culturas utilizadas no sistema de semeadura direta, no período de setembro (Set) de 2009 a abril (Abr) de 2022. Votuporanga/SP, 2023.

Ano Agrícola	Safrinha	
	(1) Set/Mar	Abr/Ago
Culturas		
2009/10	Soja	<i>Crotalaria juncea</i>
2010/11	Milho	<i>C. juncea</i>
2011/12	Soja	Sorgo forrageiro
2012/13	Soja	Sorgo forrageiro
2013/14	Soja	<i>C. juncea</i>
2014/15	Milho	Sorgo forrageiro + <i>Urochloa ruzizienses</i>
2015/16	Soja	Sorgo forrageiro + <i>U. ruzizienses</i>
2016/17	Soja	<i>C. juncea</i>
2017/18	Milho + <i>Urochloa brizantha</i>	<i>U. brizantha</i>
2018/19	Soja	<i>C. juncea</i>
2019/20	Milho + <i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i>
2020/21	*Pousio	Milho
2021/22	Soja	Sorgo granífero

Nota: (1) Set: setembro; Mar: março; Abr: abril; Ago: agosto; * Pousio durante os meses de setembro a janeiro e semeadura do milho em fevereiro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de caracterização inicial da área, antes da implantação do experimento foi efetuado o levantamento da fertilidade do solo, segundo a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), nas camadas de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Para esse propósito, foram coletadas vinte subamostras (amostras simples), as quais foram homogeneizadas em uma amostra composta, esse processo foi conduzido com o auxílio de um trado tipo sonda, cujo os resultados se encontram presentes na Tabela 2. Em função da análise de solo, 30 dias antes da semeadura do milho, foi aplicado manualmente calcário (PRNT=86%, com 31% de CaO e 21% de MgO) e/ou gesso agrícola (17% de Ca e 14% de S) somente nas parcelas cujo os tratamentos recebiam

calcário e gesso agrícola (teor de argila a 142 g kg^{-1}), sem incorporação, em ambas as áreas, visando elevar a saturação por base à 70%. Os tratamentos que receberam o agromineral silicáticos, no mesmo dia também receberam aplicação de calcário e gesso agrícola, para que houvesse tempo de reação ao solo.

Tabela 2 - Caracterização química do solo antes da implantação do experimento na camada de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m. Votuporanga/SP, 2023.

Camada (m)	P _{resina} mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Kmmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
0,0-0,2	37	15	4,4	3,1	8,9	5,4	36,2	4,2	17,4	53,5	32,3
0,2-0,4	15	11	3,9	1,5	5,7	3,1	41,1	11,3	10,3	51,3	19,9

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

O agromineral silicático utilizado para o estudo é originado de rochas basálticas, proveniente da Mineração Grandes Lagos, oriundo de pedreiras dos municípios de Riolândia-SP e Monções-SP. Foi realizado a caracterização geoquímica e mineralógica em laboratório cadastrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, para isso foi coletada uma amostra de 500 g do agromineral silicático para avaliação das características químicas, mineralógicas e físicas, e dessa forma verificar se o material condiz com a Instrução Normativa (IN) 5 de 10 de março de 2016, cumprindo os critérios mínimos definidos pelo MAPA para ser classificado como remineralizador de solo (Brasil, 2016).

A composição química total dos elementos presentes na amostra estudada está descrita na Tabela 3. A soma de bases sendo CaO + MgO + K₂O é de 16,59% e o teor de K₂O é de 1,03% do material analisado, ou seja, os valores apresentados são superiores ao que é exigido pela (IN) 5, sendo de 9% para soma de bases e 1% para óxido de potássio (Brasil, 2016).

Tabela 3 - Caracterização química⁽¹⁾ do agromineral silicático utilizado em área de SSD. Votuporanga/SP, 2023.

Composição química											
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₄	SOMA
------(%)-----											
50,5	2,03	12,7	14,5	0,21	5,52	10,04	2,5	1,03	0,28	0,01	100

Nota: ⁽¹⁾ Fluorescência de raio X; Teores totais em porcentagem (%).

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Referente a granulometria do material estudado, o mesmo é classificado como de natureza pó, de acordo com o MAPA (Brasil, 2016), pois o material apresenta boa porcentagem de massa passante em peneiras de abertura de 2,00 mm, 0,840 mm, 0,425 mm e 0,300 mm, conforme consta na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização granulométrica ⁽¹⁾ da amostra de agromineral silicático utilizada em área de SSD. Votuporanga/SP, 2023.

Peneira (abertura em mm)	% em massa passante
2,00	100,0 ± 1,0
0,840	79,49 ± 0,86
0,450	56,45 ± 0,62
0,300	49,62 ± 0,55

Nota: ⁽¹⁾ Instrução Normativa Nº 5/2016.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA (SSD) – SAFRAS 2020/21 e 2021/22

3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e doze tratamentos, assim dispostos:

T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de agromineral silicático);

T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij *et al.* (1997);

T3 - calagem e gessagem, conforme Raij *et al.* (1997);

T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem;

T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T11 - 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático;

T12 - 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático.

Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por 5 m de largura por 5 m de comprimento, perfazendo uma área de 25 m².

3.2.2 Preparo da área experimental e manejo das culturas

No sistema de semeadura direta, na segunda safra de 2020/21, após a aplicação do agromineral silicático, do calcário e o gesso agrícola, o milho (cv. MG 545 PWU) foi semeado mecanicamente com semeadora-adubadora com sistema a vácuo e mecanismo de disco desencontrado para SSD, a uma profundidade de 0,03 m, sobre a resteva de milho da safra 2019/20, em 16/02/2021, no espaçamento de 0,50 m entre linhas, com 3 sementes m⁻¹ (Tabela 5), almejando uma população de 60.000 plantas ha⁻¹. Realizou-se a adubação mineral no sulco de semeadura, sendo utilizado o adubo formulado 08-28-16, na dose de 260 kg ha⁻¹, conforme a recomendação proposta por Raji *et al.* (1997), somente nos tratamentos que receberam adubação mineral convencional.

A primeira adubação de cobertura foi realizada no estágio de 3 folhas desenvolvidas (V3) utilizando-se o adubo formulado 20-00-20, cuja a dose foi de 250 kg ha⁻¹, nos tratamentos que receberam adubação mineral convencional. Na segunda adubação de cobertura, realizada no dia 05/03/2021 (V6), foi utilizado sulfato de amônio (21% de N e 22% de S), na dose de 250 kg ha⁻¹, nos tratamentos com adubação mineral convencional. Após a segunda adubação de cobertura foi semeada mecanicamente sementes encrustadas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu na entrelinha do milho, com uma densidade de plantio de 12,5 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis (VC=60%).

Não foi possível realizar avaliações das características agronômicas e produtividade de grãos da cultura do milho, pois seu desenvolvimento foi interrompido devido às condições climáticas desfavoráveis (Figura 1) ocorrendo inclusive, a morte das plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

Na tentativa de formação de palhada subsequente foi utilizado o cultivar de milheto BRS 1501, semeado mecanicamente por meio de semeadora de parcela em 28/09/2021, no espaçamento de 0,5 m entre linhas, com uma densidade de semeadura de 20 kg ha⁻¹. O ciclo para a formação de palhada foi de 60 dias após a emergência (DAE); a dessecação foi realizada em 10/11/2021, com o herbicida glyphosate (1.560 g ha⁻¹ do i.a.) e carfentrazona-etílica (100 mL ha⁻¹ do i.a.), óleo

mineral 0,5% da calda e adjuvante redutor de pH (300 mL/600 L), com um volume de pulverização de 150 L ha⁻¹.

A palhada proporcionada pela cultura do milho rendeu em média 2.500 kg ha⁻¹, enquanto que o milheto proporcionou produção de palhada de apenas 2.000 kg ha⁻¹, sem variação dos tratamentos aplicados antes da semeadura do milho.

Na safra 2021/22, o cultivar de soja 64HO130 I2 x Intacta 2 Xtend Paraguaçu foi semeada mecanicamente com semeadora-adubadora com sistema a vácuo e mecanismo de disco desencontrado para SSD, a uma profundidade de 0,05 m, no espaçamento de 0,5 m entre linhas, com 16 sementes m⁻¹, almejando uma população de 320.000 plantas ha⁻¹, sobre a palhada do milheto no dia 22/11/2021. Momentos antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fipronil 250 g L⁻¹ + piraclostrobina 25 g L⁻¹ + tiofanato-metílico 225 g L⁻¹, na dose de 0,10 L do p.c. 100 kg de semente⁻¹. Utilizou-se também fertilizante a base de Co (0,3%), Mo (3,0%) e Ni (0,3%), na dose de 0,169 L do p.c. 100 kg sementes⁻¹. As sementes também foram inoculadas com as bactérias diazotróficas *Bradyrhizobium elkonii* e *Bradyrhizobium japonicum* (cepa Semia 5019 e 5079, respectivamente), fornecida pelo inoculante líquido na dose de 1,3 doses 40 kg de sementes⁻¹ (5x10⁹ UFC/mL) e inoculante turfoso (*Bradyrhizobium japonicum*), na dose de 1,3 doses 40 kg de sementes⁻¹.

Nos tratamentos com adubação mineral convencional foi utilizado o adubo formulado 04-20-20 com 4,9% de Ca, 3,6% de S (S-SO₄), 0,05% de B, 0,06% de Mn e 0,27% de Zn, na dose de 310 kg ha⁻¹, no momento da semeadura da soja.

Na segunda safra (2021/22) foi semeado sorgo granífero cultivar Enforcer Premium 500 K BR, em 14/03/2022, no espaçamento de 0,5 m entre linhas com 10 sementes m⁻¹ (Tabela 5), com uma população em torno de 200.000 plantas ha⁻¹. As sementes foram tratadas com pirimifós-metílico 500 g L⁻¹ + tiametoxam 600 g L⁻¹ + fluxofenim 960 g L⁻¹ + tiabendazol 150 g L⁻¹ + fludioxonil 25 g L⁻¹ + metalaxil-M 20 g L⁻¹, na dose de 1,6 mL, 200 mL, 40 mL e 100 mL, respectivamente, do p.c. para 100 kg de sementes.

Para a adubação de semeadura foi utilizado o formulado 08-28-16, na dose de 250 kg ha⁻¹, nos tratamentos que receberam adubação mineral convencional, seguindo as recomendações proposta por Raij *et al.* (1997).

Tabela 5 - Informações sobre os cultivares, datas de semeadura, espaçamentos (espç.), densidades de semeadura, datas de colheita e manejo das espécies utilizadas em área de SSD nas safras 2020/21 e 2021/22. Votuporanga/SP, 2023.

Cultura	Cultivar	Data de semeadura	Espç. (m)	Densidade de semeadura	Data da colheita/manejo
Milho	MG 545 PWU	16/02/21	0,5	3 sementes m ⁻¹	26/04/21
Milheto	BRS 1501	28/09/21	0,5	20 kg ha ⁻¹	10/11/21
Soja	64HO130 I2 x Intacta 2 Xtend Paraguaçu	22/11/21	0,5	16 sementes m ⁻¹	10/03/22
Sorgo	Enforcer Premium 500 K BR	14/03/22	0,5	10 sementes m ⁻¹	11/07/22

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

3.2.3 Avaliações

3.2.3.1 Determinação das características morfológicas, componentes de produção e produtividade de grãos da cultura da soja

No momento da colheita (10/03/2022) da soja foram amostrados cinco metros nas duas linhas centrais de cada parcela, em seguida as plantas foram levadas para o galpão de avaliações morfológicas do Instituto Agrônomo (IAC) – Votuporanga/SP, em que se realizou a avaliação de altura de inserção da primeira vagem, altura de plantas, estande final ha⁻¹, massa de cem grãos e produtividade de grãos. A produtividade foi obtida padronizando-se a umidade de grãos para 13% e extrapolados para kg ha⁻¹.

3.2.3.2 Determinação das características morfológicas, componentes de produção e produtividade de grãos da cultura do sorgo

A colheita do sorgo foi realizada no dia 11/07/2022, em que foram utilizadas as duas linhas centrais de cada parcela, as plantas assim que colhidas foram conduzidas para o galpão de avaliações morfológicas do IAC – Votuporanga/SP. Os atributos avaliados foram altura da planta (AP), diâmetro basal do colmo (DC), produtividade de panículas, produção de massa verde, participação de panículas em relação à planta e massa de cem grãos. Os dados de produtividade de grãos foram corrigidos para de 13% de umidade e extrapolados para kg ha⁻¹.

3.2.3.3 Avaliação dos atributos químicos do solo

As amostragens de solo para fins de fertilidade da área experimental foram realizadas no período de outubro de 2021 e 2022, nas camadas de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m. As amostras foram homogeneizadas, moídas e passadas em peneiras a 100 mesh e analisadas quimicamente para determinação de pH, bases trocáveis, Al e hidrogênio (H) extraíveis, fósforo assimilável, segundo metodologia de Raij *et al.* (2001). Para tanto, foram amostrados cinco sub amostras (amostras simples) por parcela em pontos distintos, com o auxílio de um trado tipo sonda e acondicionadas em sacos plásticos. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da FEIS/UNESP onde foram analisadas.

3.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e as médias comparados pelo teste de Scott Knott, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA CULTURA DA SOJA

Os valores médios para altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV) e massa de 100 grãos (M100), não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos utilizados (Tabela 6). Em relação ao número de vagens por planta (NVP), os tratamentos diferiram significativamente ($P>0,05$) entre si, com destaque para os tratamentos T1 e T11 (70,1 e 66,8), respectivamente, os quais apresentaram maior NVP.

No presente trabalho, a dose de agromineral silicático utilizada no tratamento T11 foi de 2,5 t ha⁻¹, com uma produção de vagens por planta (NVP) de 66,8 vagens, quando comparada ao tratamento T12 que teve uma produção de 59,7 vagens por planta, ou seja, uma quantidade de 7,1 vagens a mais com a metade da dose.

Os dados apresentados por Batista (2013), utilizando diferentes doses de pó de rocha em Latossolo Vermelho Amarelo, apontou que a maior dose utilizada, 7.680 kg ha⁻¹, proporcionou menor NVP comparado a dose de 5.760 kg ha⁻¹ de pó de rocha.

O mesmo pode ser observado em trabalho realizado por Silva *et al.* (2019), em que a maior dose de pó de rocha 27 t ha⁻¹ proporcionou um NVP de 75,75 vagens, com uma diferença de 13,44 vagens a menos quando comparado a dose de 3 t ha⁻¹, corroborando com os dados do presente trabalho.

Quanto à população final de plantas (PFP), houve diferença significativa entre os tratamentos com destaque para o T5, que proporcionou estande de 240.000 plantas ha⁻¹, no entanto, esse resultado foi inferior a população almejada (320.000 plantas por ha⁻¹). Tal resultado provavelmente pode ser atribuído ao período de seca extrema durante os meses de abril a setembro, período esse que antecede a semeadura da soja, que ao somar o acúmulo de água desses meses gerou um total de 50,78 mm (Figura 1).

A disponibilidade de água é importante durante todo o ciclo da cultura, no entanto, o período de germinação, emergência, floração e enchimento de grãos são os mais críticos. Para que ocorra a germinação, a semente deve ter disponível água para absorver em pelo menos 50 a 85% da capacidade de campo (Silva; Sediya; e

Borém, 2015), fato esse não condizente com as condições de instalação da cultura (Figura 1).

Além das condições de baixo acúmulo de água, outra questão a ser abordada são as temperaturas

Outro fator a ser levado em consideração é o baixo aporte de palhada presente na área (2 t ha^{-1}), que foi em decorrência do rigoroso veranico, em 2021/22, prejudicando o desenvolvimento das culturas antecessoras (milho/capim Marandu e milheto) e consequentemente baixa cobertura vegetal e retenção de água no solo. A quantidade referente a matéria seca presente no solo para a formação de palhada, garante proteção contra processos erosivos e de lixiviação, também liberam quantidades interessantes de nutrientes por meio da decomposição e mineralização dos restos vegetais (Costa, C. *et al.*, 2015).

O efeito de maior cobertura do solo por palhada foi verificado por Cortez *et al.* (2023), que concluíram que o estande de plantas de soja sob sistema de semeadura direta apresentou melhores resultados nas três safras avaliadas, com incremento de palhada que inclusive favoreceu a semeadura. As espécies que produzem grandes volumes de biomassa (acima de 7 t ha^{-1}) garantem uma manutenção da quantidade mínima de cobertura vegetal na superfície do solo para culturas em rotação (Mateus; Santos, 2012).

Para que a exposição do solo sobre as intempéries do clima na região do Cerrado sob sistemas de produção, como SSD ou integração lavoura pecuária (ILP), sejam reduzidas e não afete negativamente as culturas de interesse comercial, é importante trabalhar na construção de um aporte de palhada em média de 10 t ha^{-1} ano, para que a cobertura vegetal possa se manter e ser degradada gradativamente (Alvarenga *et al.*, 2006), pois volumes abaixo dessa quantidade tem rápida decomposição, consequentemente, o solo fica exposto, implicando em alterações nas propriedades físicas e químicas (Seidel *et al.*, 2014).

A profundidade de semeadura, embora dentro dos padrões neste experimento (0,05 m), também deve ser levada em consideração pois afeta no processo de germinação da soja. Profundidades que não estejam dentro do recomendado afetam a emergência, bem como o índice de velocidade de emergência, a sobrevivência dessas plantas, consequentemente a população final e a produtividade (Dias *et al.*, 2020). As sementes dispostas a uma profundidade de 0,08 m do solo aumentam a barreira física pela camada de solo que está sobre a semente, isso faz com que a

velocidade de emergência seja alterada (Dias *et al.*, 2020; Modolo *et al.*, 2012). Enquanto que sementeiras rasas (0,02 m do solo), as sementes ficam expostas à variação térmica e ao déficit hídrico por estarem perto da superfície do solo (Dias *et al.*, 2020).

Referente a produtividade de grãos, os resultados tiveram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 6), em que o tratamento com melhor desempenho foi o T11 (2.500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático), com 3449 kg ha⁻¹, quando comparado ao tratamento T12 (5.000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático), com 2.794 kg ha⁻¹, ou seja, uma diferença de 655 kg ha⁻¹ a menos de grãos de soja. Resultados semelhantes foram descritos por Batista (2013), onde a maior produtividade da soja foi obtida com a metade da dose 3.840 kg ha⁻¹, quando comparada a dose completa de 7.680 kg ha⁻¹ de pó de rocha.

Tabela 6 - Médias de altura de planta (AP), inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens por planta (NVP), população final de plantas (PFP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos de soja. Votuporanga/SP, 2022.

Tratamento	AP -----cm-----	AIPV	NVP	PFP	M100 g	Produtividade kg ha ⁻¹
T1	71,5	9,3	70,1 a	210.000 c	12,6	2921 b
T2	64,9	9,9	52,1 b	214.999 c	12,5	2431 c
T3	69,0	9,5	55,3 b	211.666 c	13,1	2500 c
T4	69,3	8,6	57,3 b	217.500 c	12,2	1813 d
T5	72,9	9,1	59,9 b	240.000 a	12,9	2019 d
T6	65,5	9,3	58,5 b	191.666 d	12,9	2208 c
T7	68,6	8,8	62,4 b	220.833 b	12,9	2447 c
T8	67,4	9,3	57,0 b	223.333 b	12,7	2593 c
T9	66,5	9,0	59,3 b	206.666 c	13,3	2325 c
T10	71,9	9,9	59,8 b	210.833 c	13,7	2870 b
T11	68,6	9,5	66,8 a	213.333 c	13,8	3449 a
T12	68,9	9,4	59,7 b	214.999 c	13,6	2794 b
Teste F	0,75 ^{ns}	1,48 ^{ns}	5,67*	5,20*	1,64 ^{ns}	11,52*
CV %	8,3	6,8	7,8	4,6	6,1	10,2

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de agromineral silicático); T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij *et al.* (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Raij *et al.* (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de

agromineral silicático; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Borges *et al.* (2017), ao avaliarem o efeito de adubos verdes sobre a biodisponibilização de nutrientes no solo pelo pó de basalto e sobre a produtividade do feijoeiro em sucessão, verificaram que o uso do pó de basalto (3 t ha⁻¹) aumentou a produtividade do feijoeiro.

Os resultados obtidos por Silva *et al.* (2019), demonstraram que as doses de pó de rocha proporcionaram ganhos de produtividades similares entre os tratamentos (T2 - 5.388 kg ha⁻¹, T3 - 5082 kg ha⁻¹, T4 - 5.185 kg ha⁻¹, T5 - 5.712 kg ha⁻¹, T6 - 5.408 kg ha⁻¹, T7 - 5.733 kg ha⁻¹, T8 - 5.918 kg ha⁻¹, T9 - 5.422 kg ha⁻¹ e T10 - 5.586 kg ha⁻¹), no entanto, a maior dose T10 resultou em menor produtividade de grãos quando comparada ao T8, T7 e T5.

Diferentemente dos resultados apresentados por Aloivisi *et al.* (2021), em que o uso de pó de basalto na cultura da soja em diferentes doses (entre 2,5 a 10 t ha⁻¹) após dois anos de aplicação, não diferiram significativamente para os atributos analisados, recomendando que o mesmo não pode ser utilizado como única fonte de adubação para as plantas.

A melhoria da fertilidade do solo quando se utiliza pó de rocha, ocorre em um período de médio a longo prazo, principalmente por sua solubilização ser lenta. Importante destacar que parte dos trabalhos científicos com uso de pó de basalto tem sido realizados em curto espaço de tempo, muitas vezes apresentando dados de apenas uma safra agrícola, implicando em uma verificação pouco efetiva sobre o solo ou sobre as culturas, uma vez que a disponibilização do produto é gradativa (Silva *et al.*, 2012). Conforme Theodoro, Almeida (2013), o efeito dos agrominerais são prolongados, podendo ser de quatro ou cinco anos consecutivos, pois os nutrientes são solubilizados pouco a pouco. Os autores complementam que os resultados quanto à fertilidade são positivos e crescentes, em que seus efeitos podem ser observados até dez anos após a aplicação do material.

4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA CULTURA DO SORGO

A respeito da cultura do sorgo, os atributos avaliados apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 7). A precipitação na safrinha

(2021/22) passou de 200 mm, como pode ser observado na Figura 1, sendo determinante para a altura de planta (AP), onde boa parte dos tratamentos apresentaram maior AP com destaque para o T12 (85,0 cm), e com os menores valores nos tratamentos T6 e T8, com 66,0 e 69,0 cm, respectivamente.

A disponibilidade de água é primordial para o desenvolvimento das culturas e refletem em respostas fisiológicas com inúmeros benefícios como por exemplo o crescimento vegetal (Taiz; Zeiger, 2013). A cultura do sorgo necessita em média de 450 a 500 mm de água durante o seu ciclo, um dos períodos que mais demandam por água é após a semeadura, se estendendo até 20 a 25 dias após a germinação (Rosa, 2012).

Importante ressaltar o papel da nutrição nos resultados, pois os nutrientes exercem diversas funções essenciais nas plantas que corroboram para o seu desenvolvimento. Além da planta necessitar dos elementos carbono, hidrogênio e oxigênio para o processo de fotossíntese, ela também demanda por elementos minerais essenciais sendo eles macro e micronutrientes (Fornasieri Filho; Fornasieri, 2009; Taiz; Zeiger, 2013). O agromineral silicático utilizado na pesquisa é composto majoritariamente por silício, ferro e cálcio, e outros micronutrientes em menor quantidade. O silício é depositado principalmente no retículo endoplasmático, paredes celulares e espaços intracelulares, também forma complexos com polifenóis, servido como reforço das paredes celulares, contribuindo para o crescimento, fertilidade e resistência ao estresse (Epstein, 1999; Taiz; Zeiger, 2013).

O ferro atua como componente de enzimas envolvidas na transferência de elétrons, denominado reação redox, e está presente no processo de fotossíntese e respiração das plantas (Taiz; Zeiger, 2013; Sousa, 2019).

O cálcio, por sua vez, é utilizado na síntese de novas paredes celulares e também faz parte do processo de divisão celular, e é necessário para funcionamento das membranas vegetais, atuando em várias respostas das plantas, tanto a sinais ambientais como a hormonais (Hetherington; Brownlee, 2004; Taiz; Zeiger, 2013; White; Broadley, 2003).

Nesse sentido, o resultado apresentado pelo T12, em que foi utilizado somente agromineral silicático na dose de 5.000 kg ha⁻¹, possivelmente, a maior disponibilidade de água durante a safra tenha contribuído no processo de intemperização/dissolução, e dessa forma liberando nutrientes e Si para a cultura do sorgo. Trabalhando com diferentes doses de pó de micaxisto na cultura do sorgo em Latossolo Vermelho

Distrófico, ao analisar a altura de plantas após 14, 21 e 30 dias, Cabral (2023) verificou que com o aumento da dose de pó de micaxisto houve maior AP em relação aos demais tratamentos.

A utilização do pó de rocha faz com que, à medida que os minerais da rocha são intemperizados, os nutrientes são disponibilizados para o solo, acarretando um “rejuvenescimento” do solo (Ramos; Mello; Kautzmann, 2014). A rochagem contribui também para o aumento dos teores de cátions trocáveis e pH do solo, além do aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) de solos de baixa fertilidade (Melo *et al.*, 2012).

Outro ponto a ser levantado é sobre os tratamentos T6 e T8 que apresentaram menor altura de plantas, pois ambos receberam adubo mineral convencional e agromineral silicático (5.000 kg ha^{-1}) e somente o T8 recebeu calagem e gessagem, assim, os vários nutrientes possam ter causado uma desordem nutricional e refletindo na altura da planta.

Ainda a respeito das características morfológicas, houve diferença significativa para diâmetro basal do colmo DBC (Tabela 7), onde o maior valor foi verificado pelo tratamento T3 (calagem e gessagem) com um diâmetro de 13,2 mm. Analisando o gráfico de precipitação (Figura 1) é possível observar maior acúmulo de água durante os meses de novembro a março (período que antecede a safrinha), diferente dos meses anteriores a semeadura da soja, indicando que o calcário e o gesso aplicados em superfície na safra de milho antecessor, pela pouca disponibilidade hídrica, não promoveu reação desses produtos, dessa forma acabou não refletindo na soja mas sim no sorgo.

O calcário e o gesso são, respectivamente, produtos que atuam como corretivo de acidez e condicionar do solo, e no caso do gesso, seu uso possibilita o aumento da saturação por bases no subsolo e reduz os efeitos tóxicos do Al^{3+} (Caires *et al.*, 2003). O emprego da calagem é fundamental para o sucesso do cultivo de grandes culturas, principalmente no Cerrado, atuando na neutralização de elementos tóxicos, como o Al e o Mn, no aumento da disponibilidade de nutrientes e na promoção de melhorias no solo (Barbosa Filho; Fageria, 2013).

Tabela 7 - Médias para altura de planta (AP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final de plantas (PFP), participação de panícula em relação a planta (PPRP) e massa seca total da planta de sorgo (MSTPS). Votuporanga/SP, 2022.

Tratamento	AP cm	DBC mm	PFP ha ⁻¹	PPRP -----kg ha ⁻¹ -----	MSTPS
T1	78,3 a	11,3 b	133.889 a	1163 c	7185 c
T2	79,5 a	11,8 b	123.241 a	1453 b	4884 c
T3	82,3 a	13,2 a	119.445 a	2052 a	9017 b
T4	76,5 a	12,3 a	131.389 a	1429 b	8061 b
T5	76,5 a	12,8 a	120.370 a	1397 b	7365 b
T6	66,0 b	12,8 a	116.667 a	1046 c	7935 b
T7	74,7 a	12,3 a	136.111 a	1451 b	5855 c
T8	69,0 b	12,5 a	107.963 b	1295 b	5232 c
T9	81,3 a	11,3 b	138.796 a	1092 c	6716 c
T10	82,5 a	12,2 a	122.593 a	1121 c	7917 b
T11	79,3 a	12,3 a	104.630 b	2124 a	11.088 a
T12	85,0 a	10,7 b	114.815 a	1074 c	8443 b
Teste F	4,13*	3,89*	4,29*	21,56*	11,83*
CV %	7,0	6,2	11,4	11,5	13,3

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de agromineral silicático); T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij et al. (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Raij et al. (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados de DBC obtidos nos tratamentos T1, T2, T9 e T12, mostram uma redução no diâmetro. Após 30 dias da semeadura, a precipitação pluvial foi muito baixa (Figura 1), coincidindo com o período que a planta passa do vegetativo para o reprodutivo (Fornasier Filho; Fornasier, 2009). Como estratégia para lidar com essa baixa disponibilidade de água, o crescimento do caule e a expansão foliar reduzem, mas ocorre um alongamento do sistema radicular (Taiz; Zeiger, 2013).

Houve resultado significativo para a população final de plantas (PFP), com maiores standes evidenciados pelos tratamentos T9 (138.796), T7 (136.111), T1 (133.889) e T4 (131.389). O tratamento T9 foi o que apresentou o maior estande comparado aos demais, sendo composto por calagem e gessagem, mais o agromineral silicático na dose de 2.500 kg ha⁻¹, o segundo maior estande está

representado pelo tratamento T7, o qual era composto por adubação mineral convencional e agromineral silicático também na dose de 2.500 kg ha⁻¹.

Possivelmente a interação do agromineral silicático com a calagem e gessagem, bem como a adubação mineral convencional proporcionaram condições de melhor equilíbrio nutricional, refletindo em maior população de plantas. Já os resultados obtidos pelo tratamento controle (T1), podem estar associados ao modelo do sistema que está implantado na área a mais de 12 anos (Tabela 1), com isso o vasto cultivo de culturas e os nutrientes disposto no solo deram condições para o desenvolvimento das plantas e garantindo uma adequada população.

No sistema de semeadura direta, a disponibilidade dos nutrientes pode ser maior que em cultivo convencional, sendo evidenciado pela macroporosidade que permite arejamento e melhor infiltração de água, promovendo benefícios às plantas, pois melhora a disponibilidade de nutrientes, que por sua vez influenciarão no metabolismo das plantas (Primavesi, 2002).

O cultivo de diferentes culturas em uma mesma área com sistemas radiculares diversos promovem melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo, além de fixar nitrogênio e reciclar outros nutrientes, também reduz as perdas de solo por processos erosivos, entre outros benefícios (Souza *et al.*, 2012).

Sobre a participação da panícula em relação a planta (PPRP) e massa seca total da planta de sorgo (MSTPS), houve diferenças entre os tratamentos, os quais se destacaram T3 e T11 para PPRP (2052 e 2124 kg ha⁻¹, respectivamente). Para a MSTPS, o tratamento T11 se destacou com produtividade de 11.088 kg ha⁻¹.

Os resultados obtidos pelo PPRP em relação ao tratamento T3, pode estar associada aos nutrientes presentes na matéria orgânica do solo que constitui importante reservatório, com capacidade de reter elementos importantes como o K, Ca, Mg, N, P e S, sendo capaz de suprir parte das necessidades da cultura durante seu ciclo (BOT; BENITES, 2005). Também os benefícios gerados pela própria aplicação de calcário e gesso, em que ambos podem ser aplicados simultaneamente pois além de disponibilizar Ca (Ca²⁺) e S (SO₄²⁻) em solução, e que após serem lixiviados, enriquecem de nutrientes as camadas subsuperficiais e reduzem a saturação por Al³⁺ em profundidade (CAIRES *et al.*, 2008), além de aumentar o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade (Carvalho-Puppatto; Bull; Crusciol, 2004), o que pode conferir maior tolerância à seca para as plantas.

Em relação ao desempenho proporcionado pelo agromineral silicático, tanto para PPRP e MSTPS, explica-se pelos nutrientes presentes na sua composição (Tabela 3). Mediante aos resultados sobre os componentes de produção em relação ao uso de agromineral silicático, percebe-se que a menor dose proporcionou maiores resultados quando comparado a maior dose. Vale ressaltar o tratamento T4, em que se utilizada calcário, gesso agrícola e adubação mineral convencional, sendo o tratamento padrão utilizado nas áreas agrícolas (Tabela 7), dessa forma pode ser feita uma reflexão quanto ao custo comparando os produtos a serem utilizados e também sobre o quanto usar do produto, visando redução dos gastos e aplicar a quantidade realmente necessária.

Schmidt *et al.* (2019), trabalhando com doses de pó de rocha (0, 2, 3, 4, e 5 t ha⁻¹) observaram que a menor dose proporcionou resultados positivos sobre o NGV na soja, e consideraram uma relação de custo/hectare da aplicação do material, salientando não ser necessário o uso de grandes doses do produto.

4.3 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE SEMEADURA DIRETA

4.3.1 Atributos químicos do solo – 2020/21

Os atributos químicos avaliados na área sob manejo de sequeiro coletados no início da condução do experimento e no final, apresentaram resultados significativos em quase todos os atributos da fertilidade, sendo os maiores valores observados na camada de 0,00-0,20 m (Tabela 8). Não houve diferenças significativas para os teores de matéria orgânica (MO) e Mg, nem para os valores de pH.

Mesmo realizando a aplicação de calcário antes da condução do experimento, os valores de pH não apresentaram alterações, possivelmente em razão da calagem ter sido aplicada em superfície, somado a restrição hídrica (Figura 1), o que impossibilitou a solubilização do calcário em tempo hábil, refletindo em resultados classificados como alta acidez (Raij *et al.*, 1996).

Possivelmente, também haja relação com os resultados dos cultivos anteriores em que não foram aplicados calcário e gesso em área total, criando uma condição atípica como pode ser observado nos valores indicados pela V%, apontando para uma baixa fertilidade (Raij *et al.*, 1996).

A respeito da MO, por mais que não houve diferenças significativas, os tratamentos T2, T3, T4, T5, T7 e T11 apresentaram teores que se encontram dentro do ideal para solos arenosos (RAIJ, 2017).

Os teores de P, K, Ca e Mg na camada de 0,0-0,2 m para a maior parte dos tratamentos foram consideradas de médio a alto, e baixo em todos os tratamentos para $S-SO_4^{2-}$ (Raij *et al.*, 1996). Os valores proporcionados pelos tratamentos T7, T1, T3, T5 e T12, a respeito do P (Tabela 8), mostram o importante papel exercido por sistemas conservacionistas que trabalham com o mínimo revolvimento do solo, contribuindo na dinâmica desse nutriente (Damian *et al.*, 2020; Guera; Fonseca; Ribeiro, 2020; Pavinato *et al.*, 2017; Rigo *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2021), pois o P presente no solo é dividido em três compartimentos: P em solução, P lábil e não lábil, sendo o P em solução de maior interesse, uma vez que se encontra prontamente disponível para a planta (Raij, 2017).

Nas camadas 0,0-0,2 m observa-se que os valores de pH, teores de M.O., P, K, Ca, Mg, e valores de SB, CTC e V% (Tabela 8) são maiores quando comparados a camada de 0,20-0,40 m (Tabela 9), sendo uma característica comum, pois a calagem e adubação são aplicados em superfície, refletindo nos resultados com maiores valores para esses teores, ainda mais em um Argissolo, com camada superficial mais arenosa e subsuperficial mais argilosa (com maior poder tampão). A respeito dos teores de acidez potencial (H+Al) e de Al trocável, as maiores concentrações estão na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 9), fator esse característico do solo de Cerrado (Alovisi *et al.*, 2021).

Tabela 8 - Atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,2 m coletadas 46 dias antes da condução do experimento em SSD, na safra 2020/21, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2020.

Safra 2020/21 (0,0-0,2 m)												
Tratamento	P _{resina}	S	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)		(mmol _c dm ⁻³).....						(%)
T1	52,7 b	5,0 a	14,2	4,4	3,0 c	9,5 a	5,5	34,0 b	2,7 d	20,1 a	50,3 b	37,7 a
T2	40,5 d	3,0 b	17,2	4,4	3,3 c	10,2 a	5,2	31,5 b	4,5 c	20,1 a	57,3 a	37,2 a
T3	49,2 c	3,5 b	15,5	4,4	2,9 c	8,2 a	5,2	33,7 b	3,5 d	15,9 b	53,4 a	40,5 a
T4	26,7 f	2,0 c	15,2	4,4	3,0 c	8,2 a	5,5	38,2 a	4,7 c	16,5 b	54,8 a	30,7 b
T5	50,5 c	2,0 c	16,5	4,5	4,7 a	9,0 a	5,7	39,0 a	2,7 d	20,1 a	57,9 a	33,5 b
T6	21,0 g	3,0 b	14,5	4,3	2,4 c	8,2 a	6,0	37,2 a	4,7 c	16,6 b	48,9 b	31,0 b
T7	62,7 a	2,5 c	15,0	4,5	3,9 b	10,0 a	6,2	34,7 b	4,0 c	20,6 a	57,4 a	36,5 a
T8	18,2 g	2,5 c	14,5	4,2	3,0 c	6,5 b	4,2	38,2 a	7,0 a	12,5 b	51,8 b	28,2 b
T9	35,0 e	2,0 c	14,0	4,3	2,8 c	7,0 b	5,5	37,2 a	5,7 b	15,3 b	52,1 b	31,2 b
T10	34,2 e	2,5 c	13,5	4,5	2,8 c	8,7 a	6,5	35,2 b	2,7 d	17,5 b	54,0 a	34,5 b
T11	32,2 e	3,5 b	15,0	4,3	3,4 c	9,2 a	5,2	29,7 b	8,2 a	17,3 b	45,4 b	32,5 b
T12	47,0 c	2,7 b	13,5	4,3	3,1 c	7,0 b	4,2	32,7 b	7,7 a	15,3 b	50,1 b	32,0 b
Teste F	38,94*	7,28*	2,02 ^{ns}	1,16 ^{ns}	12,2*	3,79*	1,49 ^{ns}	2,35*	15,21*	3,56*	3,26*	3,32*
CV %	11,26	22,01	10,41	4,98	10,51	14,51	20,55	10,88	20,38	14,62	7,98	11,56

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de agromineral silicático); T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij et al. (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Raij et al. (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m coletadas 46 dias antes da condução do experimento em SSD, na safra 2020/21. Votuporanga/SP, 2020.

Safra 2020/21 (0,20-0,40 m)												
Tratamento	P _{resina}	S	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)				(mmol _c dm ⁻³).....				(%)
T1	19,0 b	2,5	10,5	3,9	1,4	5,5	3,5 a	41,0 b	12,2	15,1 a	51,1	20,7 a
T2	19,5 b	2,5	12,0	3,8	1,6	6,5	2,2 b	37,2 b	13,5	17,3 a	56,3	21,2 a
T3	16,0 c	2,5	11,5	4,0	1,5	7,5	3,5 a	39,0 b	10,0	16,7 a	50,7	22,5 a
T4	4,7 d	3,2	12,0	3,9	1,4	6,2	3,0 b	41,0 b	13,0	16,7 a	51,2	19,7 a
T5	26,2 a	2,2	11,2	3,9	1,7	5,0	3,5 a	48,5 a	13,0	17,2 a	55,7	19,2 a
T6	19,0 b	2,7	11,2	4,1	1,5	6,2	4,5 a	46,2 a	13,5	17,3 a	49,8	21,7 a
T7	16,0 c	2,0	10,7	4,0	1,5	5,7	3,5 a	46,0 a	11,0	15,7 a	54,2	19,7 a
T8	13,5 c	2,5	11,0	3,8	1,2	4,7	2,5 b	49,2 a	13,2	16,2 a	53,9	15,5 b
T9	6,5 d	2,7	10,2	3,8	1,4	3,7	2,5 b	41,2 b	14,2	7,7 b	47,7	13,7 b
T10	9,2 d	2,5	10,7	3,9	1,6	5,2	3,5 a	41,2 b	11,7	10,3 b	50,3	20,7 a
T11	6,7 d	2,5	11,2	4,2	1,5	6,0	3,7 a	32,2 c	13,0	20,0 a	47,0	27,5 a
T12	7,5 d	3,0	11,0	3,8	1,3	4,7	2,2 b	42,5 b	14,0	8,5 b	51,5	17,2 b
Teste F	30,26*	1,37 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,96 ^{ns}	4,16*	6,5*	2,06 ^{ns}	8,14*	1,88 ^{ns}	3,59*
CV %	17,87	21,49	9,22	6,24	16,88	25,24	21,28	9,02	13,72	18,39	8,22	18,54

Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de agromineral silicático); T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij et al. (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Raij et al. (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de agromineral silicático; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de agromineral silicático..

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Atributos químicos do solo – 2021/22

Os atributos químicos do solo coletados no último ano de avaliação, após a safrinha de sorgo, apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) entre os tratamentos, com exceção do H+Al (Tabela 10), e Al (Tabela 11).

O teor de P na camada de 0,0-0,2 m apresentou valores considerados médios para a maior parte dos tratamentos, com destaque para T6 que apresentou a maior concentração, sendo considerada alta e o tratamento T10 com classificação de baixo teor (Raij *et al.*, 1996). Interessante observar que os valores sobre o teor de S na camada de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, foram bem maiores que no ano anterior (Tabela 8 e 9), principalmente na camada subsuperficial (Tabela 11), indicando um acúmulo de S por possível efeito do gesso e da M.O. É comum haver acúmulo de sulfato abaixo da camada arável e, assim, uma diagnose mais apurada sobre a disponibilidade de enxofre deve ser levada em conta nas camadas de 0,2-0,4 m ou de 0,4-0,6 m de profundidade (Raij, 2017).

Para o teor de MO, os tratamentos diferiram significativamente tanto na camada 0,0-0,2 como na camada de 0,2-0,4 m. Em que os tratamentos T2, T4, T6, T7 e T11, apresentaram melhores resultados na camada superficial (0,0-0,2 m) comparado aos demais. Na camada de 0,2-0,4 m (Tabela 10), novamente os tratamentos T4, T6 e T11 aparecem com destaque, assim como o T12.

Os resultados obtidos por Theodoro *et al.* (2021) também mostraram mudanças no perfil de fertilidade do solo, depois de um ano do experimento estar implantado, em que houve diferenças nas médias de MO, P, K, Ca, Mg, pH, SB e CTC no tratamento com remineralizador, quando comparado aos tratamentos controle e com uso de NPK.

A interpretação referente aos limites de acidez dos solos é indicada pelo pH, e por mais que houve diferenças significativas entre os tratamentos, os valores ainda indicam uma alta acidez (Raij *et al.*, 1996), no entanto, vale ressaltar os resultados obtidos pelo tratamento T3, evidenciando a ação do calcário pelos resultados apresentados no sorgo safrinha (Tabela 7), em que houve respostas significativas sobre os atributos morfológicos e de produtividade, quando comparado a cultura da soja (Tabela 6) sem resultados significativos.

Os resultados proporcionados pelas culturas a respeito do tratamento T3 estão em paralelo aos resultados dos atributos químicos do solo, que mostram aumento dos

teores de Ca e Mg, bem como a SB, CTC e V% na avaliação final (Tabela 10), em comparação com os valores iniciais (Tabela 8).

Mediante aos resultados, é importante salientar que disponibilidade hídrica durante a safra (Figura 1) foi fundamental para que o calcário e o gesso tivessem baixa reação e consequentemente tivessem efeito para as plantas da rotação (soja e sorgo). O intemperismo faz parte do mecanismo que comanda o sistema de reciclagem de minerais, em que a água é o agente dominante, pois inicia os processos de separação e hidrólise, mas também sustenta a vida das plantas (Ohta; Arai, 2007; White, 2009), portanto, a continuidade de avaliação de experimentos com esses insumos de menor solubilidade, faz-se necessário por mais tempo.

Vale ressaltar que as pesquisas com uso de pó de rocha ainda não chegaram a uma recomendação do quanto utilizar desse insumo por hectare, visto que as diferentes doses testadas, em diferentes solos e condições climáticas, não foram conclusivas quanto ao efeito residual nas culturas. No entanto, é necessário analisar fatores como o custo do frete desse insumo, a quantidade da dose a ser aplicada na área para que não fique inviável, qual o histórico da área, se o sistema é convencional ou conservacionista, qual a cultura escolhida, se é perene ou de ciclo curto, e o tipo de solo, pois todas as questões devem ser levantadas para levar até o produtor a decisão mais coerente a ser tomada.

Assim, é necessário que pesquisas voltadas a recomendação de agromineral silicático, estabelecendo um parâmetro do quanto utilizar desse insumo, sejam discutidas para que não haja conflitos e discrepâncias sobre a dose e outros fatores como foram mencionados. Outro ponto a ser levantado é o tempo da condução do experimento, por ser um período curto e também pelas questões climáticas que acabaram influenciando no resultado final. A pesquisa realizada em várias safras permite acompanhar o efeito do pó de rocha nas culturas, mas também na fertilidade do solo, uma vez que o seu efeito é gradativo e também com condições climáticas mais favoráveis.

Tabela 10 - Atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,2 m, coletados 261 dias após a aplicação dos tratamentos em SSD, na safra 2021/22, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2022.

Safra 2021/22 (0,0-0,2 m)												
Tratamento	P _{resina}	S	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)				(mmol _c dm ⁻³).....				(%)
T1	28,0 c	9,7 b	14,0 b	4,3 b	2,7 a	7,7 d	5,0 c	30,2	8,5 a	16,2 c	43,2 c	36,5 b
T2	40,2 b	8,5 c	16,2 a	4,2 b	2,7 a	7,5 d	5,0 c	31,7	7,5 a	16,0 c	46,7 c	32,0 c
T3	30,5 c	6,2 d	14,0 b	4,7 a	1,6 b	20,7 a	20,0 a	28,7	1,5 d	41,8 a	70,6 a	50,0 a
T4	22,2 d	6,5 d	15,7 a	4,5 b	1,6 b	15,5 a	9,7 b	31,0	2,5 d	27,4 b	58,2 b	46,7 a
T5	25,7 c	13,2 a	14,5 b	4,3 b	2,5 a	7,5 d	5,5 c	34,5	8,0 a	18,0 c	46,7 c	29,5 c
T6	49,0 a	12,0 a	16,5 a	4,3 b	3,0 a	9,2 d	7,0 c	29,5	4,5 c	19,3 c	47,8 c	38,2 b
T7	36,2 b	6,5 d	16,0 a	4,5 b	1,8 b	14,5 b	10,0 b	29,5	3,5 c	26,3 b	57,1 b	47,7 a
T8	22,5 d	8,0 c	14,5 b	4,8 a	2,1 b	16,7 b	11,5 b	31,0	2,5 d	29,3 b	60,0 b	48,5 a
T9	32,0 c	5,5 d	12,7 b	4,6 a	1,6 b	11,5 c	7,2 c	28,7	5,7 b	20,8 c	49,6 c	44,5 a
T10	15,2 e	6,0 d	12,7 b	4,8 a	1,6 b	15,0 b	9,5 b	25,7	2,0 d	25,9 b	51,6 c	51,5 a
T11	31,0 c	8,0 c	15,5 a	4,2 b	2,4 a	7,7 d	5,2 c	31,7	9,2 a	20,2 c	50,7 c	29,7 c
T12	37,0 b	5,0 d	14,7 b	4,3 b	2,6 a	7,5 d	5,0 c	31,2	9,5 a	14,6 c	51,4 c	35,0 b
Teste F	17,08*	14,88*	3,48*	2,83*	9,51*	25,08*	33,58*	1,73 ^{ns}	27,21*	21,61*	11,71*	17,32*
CV %	14,26	16,90	9,19	5,26	15,62	15,54	17,36	10,73	21,40	14,39	8,73	9,66

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de pó-de-rocha); T2 - adubação mineral convencional, conforme Rajj et al. (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Rajj et al. (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 - Atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m, coletados 261 dias após a aplicação dos tratamentos em SSD, na safra 2021/22, em área de sequeiro. Votuporanga/SP, 2022.

Safra 2021/22 (0,20-0,40 m)												
Tratamento	P _{resina}	S	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)				(mmol _c dm ⁻³).....				(%)
T1	12,7 c	14,0 c	11,5 b	3,9 b	1,9 a	3,5 d	2,0 c	33,5 b	14,5	8,1 d	41,6 b	17,2 e
T2	25,7 a	12,5 c	11,7 b	4,0 b	1,9 a	4,5 c	2,0 c	32,7 b	13,2	8,4 d	41,2 b	23,2 d
T3	20,0 b	17,5 b	12,0 b	4,2 a	1,6 b	8,2 b	3,2 b	28,7 b	10,0	15,3 c	41,6 b	41,5 a
T4	8,5 d	16,0 b	14,0 a	4,3 a	1,5 b	9,5 a	11,5 a	28,0 b	5,5	25,5 a	51,3 a	35,5 b
T5	8,0 d	12,0 c	11,7 b	4,0 b	1,6 b	4,0 d	2,0 c	33,5 b	12,2	7,6 d	41,8 b	18,5 e
T6	19,7 b	12,5 c	12,5 a	4,0 b	1,8 a	4,7 c	2,7 b	31,7 b	11,2	9,3 d	41,0 b	22,7 d
T7	12,0 c	18,0 b	11,7 b	3,9 b	1,8 a	4,7 c	3,0 b	33,2 b	12,5	9,3 d	42,5 b	21,7 d
T8	10,0 d	13,0 c	12,2 b	4,0 b	1,6 b	4,7 c	3,5 b	36,2 a	11,0	19,9 b	41,6 b	22,5 d
T9	5,0 e	20,5 a	11,0 b	4,0 b	1,5 b	5,7 c	3,0 b	30,5 b	12,2	10,2 d	40,7 b	26,2 d
T10	4,0 e	21,7 a	11,5 b	4,1 b	1,4 b	7,2 b	3,5 b	30,5 b	9,7	10,7 d	43,2 b	29,2 c
T11	5,2 e	9,5 c	13,0 a	4,0 b	1,5 b	3,0 d	2,0 c	37,5 a	15,5	6,2 d	43,7 b	14,5 e
T12	5,5 e	11,7 c	13,0 a	3,9 b	1,6 b	4,7 c	2,2 c	41,5 a	16,5	7,6 d	49,1 a	15,2 e
Teste F	55,79*	10,73*	2,39*	2,71*	1,92*	18,11*	73,39*	3,09*	14,54*	27,09*	3,16*	20,15*
CV %	16,52	15,57	8,8	3,04	14,49	17,08	18,02	13,10	12,72	19,39	8,75	15,04

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa e CV: coeficiente de variação. T1 - tratamento padrão (sem adubação, calagem, gessagem e aplicação de pó-de-rocha); T2 - adubação mineral convencional, conforme Raij et al. (1997); T3 - calagem e gessagem, conforme Raij et al. (1997); T4 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem; T5 - adubação mineral convencional + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T6 - adubação mineral convencional + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T7 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T8 - adubação mineral convencional + calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T9 - calagem e gessagem + 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T10 - calagem e gessagem + 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T11 - 2500 kg ha⁻¹ de pó de rocha; T12 - 5000 kg ha⁻¹ de pó de rocha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O uso de agromineral silicático na dose de 2.500 kg ha⁻¹ proporcionou melhor desenvolvimento e produtividade da cultura da soja e do sorgo em sucessão.

A respeito dos atributos químicos do solo, o agromineral silicático utilizado nas diferentes doses não proporcionou efeitos significativos sobre a fertilidade do solo. No entanto, no tratamento T3 (calcário + gesso agrícola) houve melhoria na fertilidade do solo após dois anos de sua aplicação, sendo indicado pelo valor do V% quando comparado a coleta inicial e a final.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J. G.; ALVES, Z.; ZUFFO, A. M.; RATKEA, R. F.; SILVA, L. N.; SILVA, C. E. S.; MARTÍNEZ, L. A.; GONZALEZ, H. H. S. Efeito Residual de Doses de Pó de Basalto no Milho Segunda Safra. **Ensaio e Ciências**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 281-288, 2022.
- ALOVISI, A. M. T.; RODRIGUES, R. B.; ALOVISI, A. A.; TEBAR, M. M.; VILLALBA, L. A.; MUGLIA, G. R. P.; SOARES, M. S. P.; TOKURA, L. K.; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S.; TOKURA, W. I.; GNING, A.; KAI, P. M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 6, p. e33710615599, 2021.
- ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. **A cultura do milho na integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica, 80)
- ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I.; OMAR, S. R. S. Dissolution of ground basalt and its effect on oxisol chemical properties and cocoa growth. **Soil Science**, Philadelphia, v. 174, p. 264–71, 2009.
- ANSELMO, J. L.; COSTA, D. S.; SÁ, M. E. Plantas de cobertura para Região de Cerrado. **Plantas de cobertura**, [s. l.], n. 25, p. 149-154, 2014.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K. Calagem e adubação. In: SANTIAGO, C. M.; BRESEGHELLO, H. C. de P.; FERREIRA, C. M. (ed.). **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 37-73.
- BATISTA, N. T. F. **Atributos químicos do solo e componentes agrônômicos na cultura da soja pelo uso da rochagem**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Goiás –UFG, Campus Jataí, 2013.
- BENEDUZZI, E.B. **Rochagem**: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/55696/000858721.pdf>. Acesso em: 26 de mar. de 2021.
- BERTOLDO, J. G.; PELISSER, A.; SILVA, R. P.; FAVRETO, R.; OLIVEIRA, L. A. D. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.
- BONETTI, J. A.; ANGHINONI, I.; GUBIANI, P. I.; CECAGNO, D.; MORAES, M. T. Impact of a longterm crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, p. 280–291, 2019.
- BORGES, P. H. C. **Sistematização de experiências e efeitos da adubação verde e da granulometria de pós de rochas**. 2017. 50 f. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2012.

BOUMA, J. The challenge of soil science meeting society's demands in a "post-truth", "fact free" world. **Geoderma**. Amsterdam, v. 310, p. 22-28, 2018.

BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter key to drought-resistant soil and sustained crop production**. Rome: FAO soils Bulletin, 2005. 80 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. Art. 4º, §, inciso II e III; anexo III. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317444>. Acesso em: 18 jan. 2024.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia de produção de soja e milho 2008/2009**. Maracajú: Fundação MS, 2008. p. 5-36.

CABRAL, A. H. G. **Utilização do pó de micaxisto como fonte alternativa de potássio na cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*)**. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. *et al.* Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAMARGO, C.K. *et al.* Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina Ciências Agrárias**, Goiânia, v. 33, p. 2985-2994, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARVALHO, A. M. X, CARDOSO, I. M., SOUZA, M. E. P.; THEODORO, S. H. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: CARDOSO, I. M. e FÁVERO, C. **Solos e Agroecologia**. Brasília, DF: Ed. Embrapa, 2018. ISBN: 978-85-7035-774-8 p. 101-128.

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente do solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico.** 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CARVALHO-PUPPATTO, J.G.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 1213-1218, 2004.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Agricultura**, Sete Lagoas, v. 1518, n. 4277, p. 46, 2005.

CORTEZ, J. W.; GREITER, J. L. G.; ANGHINONI, M.; JESUS, M. P.; RUFINO, M. V.; FLORA, D. P. D.; AGUERRO, N. F. Estande e distribuição longitudinal de plântulas de soja em função dos manejos de palhada e solo. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Nova Xavantina, v. 16, p. 35, 2023.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero.** 2011. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A.; NETO, J. F.; GUIMARÃES, T. M. Gessagem no Sistema Plantio Direto. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 201-215, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 852-863, 2015.

DALMORA, A.C; RAMOS, C. G.; PLATA, L. G.; COSTA, M. L.; KAUTZMANN, R. M. D., OLIVEIRA, L. F. S Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining byproducts: An opportunity for more sustainable agriculture and mining. **Science of the Total Environmental**, Amsterdam, v. 710, p. 25, 2020. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719362369?via%3Dihub>. Acesso em: 5 ago. 2021.

DAMIAN, J. M.; FIRMANO, R. F.; CHERUBIN, M. R.; PAVINATO, P. S.; de SOARES, T. M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E. P. Changes in soil phosphorus pool induced by pastureland intensification and diversification in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 703, p. 135463, 2020.

DEUS, A. C. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; SILVA, E. A.; FERNANDES, F. M.; SANTOS, T. E. B.; MALTONI, K. L. Influência da rochagem nos atributos químicos e atividade microbiana de um latossolo. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2007, Ilha Solteira. **Anais [...]** Ilha Solteira: Unesp, 2007.

DETTMER, C.; ABREU, U. G. P.; GUILHERME, D. D. O.; FERRARI NETO, J.; DETTMER, T. Uso de pó de rocha em sistemas de produção agrícola: breve análise sobre viabilidade técnica. In Embrapa Pantanal-Artigo em anais de congresso. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO. **Anais** [...] Naviraí: UFMS, 2020. p. 1– 6.

DETTMER, C. A.; ABREU, U. G. P.; GUILHERME, D. O.; DETTMER, T. L.; MOL, D; SANTOS, M. H. R. Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do “pó de rocha” em sistemas de produção agrícola. *In*: EIGEDIN, 3., Naviraí, 2019. **Anais** [...]. Naviraí: UFMS, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1119197/1/Agriculturainovacao2019.pdf>. Acesso em 26 mar. 2021.

DIAS, P. P.; SOUSA, S. F. G.; SILVA, P. A., CORREIA, T. P.; GOMES, A. R. A. A profundidade de semeadura da soja na plantabilidade. **Energia na Agricultura**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 150-157, 2020.

EDWARD, W. O.; PAULA, A. M.; GATTO, A. **Influência do uso de pó de rochas fosfáticas e basálticas na ocorrência de micorrizas arbusculares em solo de cerrado**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

ELMER, W. H.; DATNOFF, L. E. Mineral nutrition and suppression of plant disease. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 4, p. 231–244, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO SISTEMA PLANTIO DIRETO – FEBRAPDP. **Plantio direto**. Foz do Iguaçu: [s. n.], 2023. Disponível em: <https://plantiodireto.org.br/>. Acesso em: 3 out. 2023.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: Funep, 2009.

FREITAS, P. L. **Sistema plantio direto**: conceito, adoção e fatores limitantes. Rio de Janeiro, 2005. p. 3. (Comunicado Técnico).

GLOBALFERT. **Importação de fertilizantes bate recorde em 2020.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://globalfert.com.br/analises/importacao-de-fertilizantes-bate-recorde-em-2020/>. Acesso em: 9 set. 2023.

GRECCO, M.F.; BAMBERG, A. L.; POTES, M. L.; LOUZADA, R.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M. Efeito de rochas moídas sobre a acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*) e de aveia-preta (*Avena strigosa*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **Resumos** [...] 2013 Poços de Caldas: [s. n.], 2013. p. 10.

GUERA, K. C. S.; FONSECA, A. F. da; RIBEIRO, F. Stocks and distribution of soil carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur in an integrated crop-livestock system treated with phosphates. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 63, e20190520, 2020.

HAROLD, F. REETZ, Jr. **Fertilizantes e seu uso eficiente.** São Paulo: Associação nacional para difusão nacional de adubos (ANDA), 2017. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wpcontent/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x1.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2021.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira.** Ilha Solteira: UNESP, FEIS, Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45 p. (Série Irrigação, 1).

HETHERINGTON, A. M.; BROWNLEE, R. O. The generation of Ca^{2+} signals in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, [s. l.], v. 36, p. 397-440, 2004.

JULIANO, P. H. G. **Qualidade do solo em sistema agropastoril com aplicação de agromineral silicático.** 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452 p.

KNAPICK, J, G. **Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de Mimosa scabrella Benth e Prunus sellowii Koehne.** 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LEANDRO, W. M.; JÚNIOR, J. P. O.; BRASIL, E. P. F. **Eficiência da remineralização do solo com rocha potássica na produção de forragem.** Escola de agronomia e engenharia de alimentos. Goiânia, Go, 2019.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos.** (3. ed.). São Paulo: ANDA. 2000.

LOPES, O. M. M.; COSTA, L.G.; LOPES-ASSAD, M. L. Solubilização de pó de basalto por meio de vinhaça: variação de pH e nutrientes disponíveis. **Engenharia Ambiental**, São Paulo, v. 10, p. 175-188, 2013.

MACIEL, L. M; TUNES, L. V. M. A importância dos fertilizantes para a agricultura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 6, p. 58647-58658, 2021.

MARTINS, E.S. Proposta de critérios de normatização de rochas silicáticas como fontes de nutrientes e condicionadores do solo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **Resumos** [...] [S. l.: s. n.], 2013. p. 50.

MARTINS, E. S.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; ANGÉLICA, R. S. **Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture**. *In*: WORLD FERTILIZER CONGRESS, v. 16, p. 138, 2014.

MATEUS, G. P.; SANTOS, N. D. Sistema plantio direto e a conservação dos recursos naturais. **Revista Pesquisa Technology**, São Paulo, v. 9, p. 1-5, 2012.

MCGRATH, J. M.; SPARGO, J.; PENN, C. J. Soil Fertility and Plant Nutrition. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, Sinop, v. 5, p. 166–184. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00249-7>.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico da Savana. **Acta Amazônica**, Roraima, v. 42, p. 471-476, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2021. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm. Acesso em 26 mar. 2021.

MIJANGOS, I.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; AMEZAGA, I.; MENDARTE, S.; GARBISU, C. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 91, p. 2066-2074, 2010.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; PAGLIOSA, E. S.; DALLACORT, R.; KOLLING, E. M.; SGARBOSSA, M. Qualidade de semeadura e produtividade da soja sob diferentes sulcadores e velocidades de operação. **Semina: Ciências Agrárias**. Goiânia, v. 33, n. 1, p. 3009-3016, 2012.

MOTA, M. R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; DALL'LGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, MG, v. 39, p. 512-522, 2015.

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, 61).

OHTA, T.; ARAI, H. Statistical empirical index of chemical weathering in igneous rocks: A new tool for evaluating the degree of weathering. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 240, n. 3-4, p.280-297, 2007.

OLIVEIRA, F. L. N., STAMFORD, N. P., SIMOES NETO, D. E., OLIVEIRA, E. C. A., OLIVEIRA, W. J., SANTOS, C.E.R.S. Effects of biofertilizers produced from rocks and organic matter, enriched by diazotrophic bacteria inoculation on growth and yield of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Madison, v. 9, p. 504-511, 2015.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEISI, M. R. M. A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 3, p. 1039-1047, 2017.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: Ed. IPNI, 2017.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p.233, 2013.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. v.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 56-59. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (ed). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo; 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 255p. (Boletim técnico, 100).

RAMEZANIAN, A.; DAHLIN, A. S.; CAMPEBELL, C. D.; HILLIER, S.; FOGELFORS, B. M.; OBORN, I. Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 367, p. 419-436, 2013.

RAMOS, C. G.; MELLO, A. G.; KAUTZMANN, R. M. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, Amsterdam, v. 1–2, p. 30–35, 2014.

RIGO, A. Z.; CORRÊA, J. C.; MAFRA, Á. L.; HENTZ, P.; GROHSKOPF, M. A.; GATIBONI, L. C.; BEDENDO, G. Phosphorus fractions in soil with organic and mineral fertilization in integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 43, p. e0180130, 2019.

RODRIGUES, M.; WITHERS, P. J. A.; SOLTHANGHEISI, A.; VARGAS, V.; HOLZSCHUH, M.; PAVINATO, P. S. Tillage systems and cover crops affecting soil phosphorus bioavailability in Brazilian Cerrado Oxisols. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 205, p. 104770, 2021.

ROSA, W. J. **Cultura do sorgo**. Departamento Técnico da Emater–MG, 2012.

SANTOS, J. *et al.* Produção agroecológica de batata em relação a doses de pó de rocha. **Rev. Tecnol. Ciênc. Agropec**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 29-35, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SEARCHINGER, T.; WAITE, R.; HANSON, C.; RANGANATHAN, J. DUMAS, P.; MATTHEWS, E. **Creating a Sustainable Food Future**: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. [s.l.]: World Resources Institute – WRI, 2018.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, S.; FERNANDO, I.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Urochloa brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 55-66, 2014.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. [S. l.]: 2003. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>. Acesso em: 27 de mai 2021.

SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; AMARANTE, C.V.T. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 4, p. 548-554, 2012.

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. Exigências Edafoclimáticas. *In.*: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, p. 62-63.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. *In.*: MORAES, M. H. *et al.* Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, v. 5, p. 75-88, 2006.

SILVA, M. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SANDINI, I.E.; CASSOL, L.C.; ASSMANN, T.S.; OLIVEIRA, E.B. Acumulação de nutrientes e produção forrageira de aveia e azevém em função da aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista de Ciências Agrárias**, Buenos Aires, v. 38, n.3, p.346- 356, 2015.

SILVA, V. J. A. ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; MATOS, F. S. A.; SMILJANIC, K. B. A.; FERREIRA, M. C.; MIRANDA, B. C. Avaliação dos caracteres agrônômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de rocha. *In*: COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 4., CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2., 2019, [s. l.]. **Anais [...]** [S. l.: s. n.], 2019. p. 4.

SILVEIRA, R. T. G. **Uso de rochagem pela mistura de pó basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

SIQUEIRA, J.O. **Micorrizas Arbusculares**. *In*: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. Microrganismos de Importância Agrícola. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 1994, p.151-194.

SOARES, G. J. **Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, 2018.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **O uso do gesso nos solos do Cerrado**. 32. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p. 18.

SOUSA, J. B. **Nove micronutrientes das plantas: como e quando utilizá-los**. Porto Alegre: [s. n.], 2019. Disponível em: [https://blog.aegro.com.br/micronutrientes/#:~:text=Ferro%20\(Fe\),-O%20ferro%20%C3%A9&text=Ele%20desempenha%20um%20papel%20vital,pH%207%2C5%20a%208.3](https://blog.aegro.com.br/micronutrientes/#:~:text=Ferro%20(Fe),-O%20ferro%20%C3%A9&text=Ele%20desempenha%20um%20papel%20vital,pH%207%2C5%20a%208.3). Acesso: 13 out. 2023.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. R.; PARTELLI, F. L.; ASSIS, R. L. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012.

SOUZA, F. N. S. **O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências (IGD), Universidade Federal de Brasília (UnB), Brasília, DF, 2014. Disponível em [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18064/1/2014_FredNewtondaSilvaSouza.p](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18064/1/2014_FredNewtondaSilvaSouza.pdf)df. Acesso em 26 mar. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. 2017. p. 858.

TÁVORA, J. E. M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. *In*: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira: **Anais [...]** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p. 37–50.

TEIXEIRA, F. L. Agronegócio Globalizado: A importância de Fertilizantes Fundamentais para o Agronegócio Brasileiro. **(Re)definições das Fronteiras**, Foz do Iguaçu, v. 1, n. 2, p. 174-194, 2023.

THEODORO, S. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural**. 2000. 231 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2000.

THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 22-28, 2013.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. de. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, [s. l.]. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2010. p. 173-181.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Revista Espaço e Geografia**. Brasília, v. 9, n. 2, p. 263-292.

THEODORO, S. H.; SANDER, A.; BURBANO, D. F. M.; ALMEIDA, G. R. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 22, n. 37, p. 54, 2021.

VALLE, D. **Plantio direto**: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil**: inovação e competitividade. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Economia Aplicada – IPEA, 2017.

WELTER, M. K.; MELO, V. F.; BRUCKNER, C. H.; DE GÓES, H. T.; CHAGAS, E. A.; UCHÔA, S. C. P.; **Rev. Bras. Frutic**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 922-931, 2011.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annal of Botany**, Oxford, v. 92, p. 487-511, 2003.

WHITE, R. **Princípios e práticas da ciência do solo**. 4. ed. São Paulo: Andrei, 2009. 426 p.