

DIOU ROGER RAMOS SPIDO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL AGRONÔMICO DOS PÓS DE ROCHA DIABÁSIO E
NEFELINA-SIENITO COMO REMINERALIZADORES DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida

Co-orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

LAGES, SC

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo autor**

Spido, Diou Roger Ramos
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL AGRONÔMICO DOS PÓS
DE ROCHA DIABÁSIO E NEFELINA-SIENITO COMO
REMINERALIZADORES DE SOLO / Diou Roger Ramos
Spido. -- 2019.
85 p.

Orientador: Jaime Antonio de Almeida
Coorientador: Álvaro Luiz Mafra
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2019.

1. Agromineral. 2. Fertilidade do solo. 3. Insumos naturais.
4. Rochagem. I. Almeida, Jaime Antonio de. II. Mafra, Álvaro
Luiz. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo. IV. Título.

DIOU ROGER RAMOS SPIDO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL AGRONÔMICO DOS PÓS DE ROCHA DIABÁSIO E
NEFELINA-SIENITO COMO REMINERALIZADORES DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Banca examinadora:

Orientador: _____
Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro: _____
Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Membro: _____
Prof.^a Dra. Maria Sueli Heberle Mafra
CEDUP Caetano Costa

Lages, 30 de Julho de 2019.

Dedico este trabalho à Deus, minha família, especialmente aos meus pais, pelo amor, carinho e incentivo, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar, por me dar saúde, determinação, me abençoar e colocar em minha jornada, pessoas que vieram a acrescentar na minha formação.

Agradeço aos meus pais, Janete e Eliseu Spido, e minhas irmãs Elizangela e Vanessa, que me ajudaram nas horas difíceis, e me apoiaram de alguma forma para a conclusão do curso.

À toda a minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que chegasse até esta etapa da minha formação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial ao meu orientador professor Jaime Antonio de Almeida, pela paciência, por repassar seus ensinamentos, por me aceitar em seu grupo de pesquisa e pela amizade.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias nas figuras dos professores, mestres, doutores e demais funcionários, pela preocupação e esmero com a qualidade de ensino para nossa formação.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e apoio constantes durante minha vida acadêmica, Agata, Andrei, Brayan, Bruna, Ben-Hur, Camila, Cleiton, Daniel, Daniela O., Douglas G., Diego, Ederson, Fagner, Felipe B., Fernando, Gabriel, Genicelli, Gilmar, Gregory, Gustavo, Jadiel, Jéssica, Juliano T., Luiza E., Mateus M., Marizane, Marco S., Milton, Wagner, em especial aos amigos(a) de longa data, Diogo Semprebon, Daniela Tomazelli e Marcelo Dalpiaz Dagostin por dividir mais essa jornada, pelo incentivo e apoio e pelas boas risadas e bate-papos nestes anos.

Agradeço também a Patrícia Pessotto, pelo companheirismo, pela contribuição durante a análise estatística e elaboração dos gráficos, pela força e apoio para seguir em frente.

E a todas as demais pessoas que contribuíram de alguma maneira para a minha formação.

Muito Obrigado!

“Uma vida sem desafios não vale
a pena ser vivida.”

Sócrates

RESUMO

SPIDO, Diou Roger Ramos. **AValiação DO POTENCIAL AGRONômICO DOS PóS DE ROCHA DIABáSIO E NEFELINA-SIENITO COMO REMINERALIZADORES DE SOLOS**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Lages, 2019.

Atualmente tem se buscado técnicas apropriadas para o uso racional dos solos, com base em insumos locais para melhorar suas características físicas e químicas e otimizar a produção das principais culturas agrícolas. Tem-se, portanto, na aplicação dos pós de rocha uma alternativa para esta problemática. O estudo objetivou avaliar a eficiência agronômica do pó das rochas diabásio e nefelina-sienito em doses e em duas granulometrias como remineralizadores, para melhorar as características químicas de um Argissolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico. O estudo foi realizado com amostras do horizonte superficial (camada 0-20 cm) desses solos, coletadas em áreas não cultivadas. Os solos foram incubados durante 30 dias, com três doses (2,5, 5 e 10 Mg ha⁻¹) do pó dessas rochas em duas granulometrias (pó e filler), e um tratamento com aplicação de calcário mais P e K (adubação convencional), além do controle. Cada tratamento teve quatro repetições em vasos com 4 kg de solo (base seca). Água destilada foi aplicada para elevar a umidade dos solos até 80% da capacidade de campo (CC). Depois da incubação, foram implantados e conduzidos em casa de vegetação quatro experimentos com a cultura da soja (65 dias). Após o cultivo, foram coletadas amostras de solo e plantas para a determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), além da matéria seca da parte aérea e raízes e, os vasos permaneceram por mais 85 dias em incubação. A aplicação de pó de rocha diabásio não promoveu mudanças expressivas nas propriedades químicas do Neossolo e na produção de matéria seca total (MST) não houve diferença entre os tratamentos. No Argissolo houve aumento do Ca²⁺ e K⁺ do solo nas maiores doses na granulometria filler e, maior produção de MST de soja na dose 10 Mg ha⁻¹ de diabásio. Os teores de macronutrientes na parte aérea (PA) da soja, bem como o acumulado não alteraram com a aplicação do pó de rocha diabásio, em ambos os solos. A utilização de pó de rocha nefelina-sienito no Argissolo aumentou a produção de MST nas maiores doses, em ambas as granulometrias e alterou as propriedades químicas deste solo. A dose 10 Mg ha⁻¹ da granulometria filler elevou o pH em água, o pH CaCl e os teores de Ca²⁺ e K⁺, além de reduzir o Al³⁺, enquanto no Neossolo não promoveu alterações substanciais. A utilização de 5 e 10 Mg ha⁻¹ de nefelina-sienito, na granulometria filler, aumentou os teores de K no tecido vegetal da PA da soja no Argissolo. A aplicação de nefelina-sienito no Neossolo não alterou a produção de MST da soja. O pó da rocha nefelina-sienito, na granulometria filler, apresentou maior eficiência agronômica para ser utilizada como remineralizador de solo. Apesar de positivos, os resultados, tanto nos parâmetros de solo como da planta, foram inferiores ao tratamento convencional com calagem e adubação mineral, evidenciando que outras práticas de manejo devem estar associadas ao uso desses pós de rocha, visando acelerar a decomposição dos minerais e promover liberação maior dos nutrientes.

Palavras-chaves: Agromineral; Fertilidade do solo; Insumos naturais; Rochagem

ABSTRACT

SPIDO, Diou Roger Ramos. **EVALUATION OF THE AGRONOMIC POTENTIAL OF ROCK POWDER DIABASE AND NEPHELINE-SYENITE AS SOIL REMINERALIZERS**. 2019. Dissertation (MSc in Soil Science) – Santa Catarina State University. Soil Science postgraduate program, Lages, SC, 2019.

Appropriate techniques for the rational use of soils based on local inputs have been sought to improve their physical and chemical characteristics and to optimize the production of the main agricultural crops. Therefore, the application of rock powders is an alternative to this problem. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of the powder of diabase and nepheline-syenite rocks in doses and in two granulometry as remineralizers, to improve the chemical characteristics of a Oxisols and a Entisols. The study was carried out with samples of the superficial horizon (layer 0-20 cm) of these soils, collected in non-cultivated areas. The soils were incubated for 30 days with three doses (2.5, 5 and 10 Mg ha⁻¹) of the powder of these rocks in two granulometries (powder and filler), and a treatment with limestone application plus P and K (fertilization conventional), in addition to control. Each treatment had four replicates in pots with 4 kg of soil (dry basis). Distilled water was applied to raise soil moisture up to 80% of the field capacity (CC). After incubation, four experiments with soybean cultivation (65 days) were implanted and conducted in a greenhouse. After cultivation, soil and plant samples were collected for determination of the macronutrients (N, P, K, Ca and Mg), as well as dry matter of shoot and roots, and the vessels were kept for another 85 days in incubation. The application of diabase rock powder did not promote significant changes in the chemical properties of the Entisols and the total dry matter yield (MST) showed no difference between treatments in this soil. In the Oxisols there was increase of Ca²⁺ and K⁺ in the higher doses, and higher production of soybean MST at the 10 Mg ha⁻¹ dose of diabase. The macronutrient contents in soybean as well as the accumulated AP did not change with the application of the diabase rock powder in both soils. The use of nepheline-syenite rock powder in the Oxisols increased the production of MST in the higher doses, in both granulometry and altered the chemical properties of this soil. The 10 Mg ha⁻¹ dose of the filler granulometry increased the pH in water, the pH CaCl and the Ca²⁺ and K⁺ contents, besides reducing the Al³⁺, while in the Entisols did not promote substantial changes. The use of 5 and 10 Mg ha⁻¹ of nepheline-syenite, in the filler granulometry, increased the K contents in the soybean PA plant tissue in the Oxisols. The application of nepheline-syenite in the Entisols did not alter the soybean MST production. The nepheline-syenite rock powder, in the filler granulometry, presented higher agronomic efficiency to be used as soil remineralizer. Although positive, the results, both in soil and plant parameters, were in agreement with the conventional method, with liming and / or mineral fertilization, evidencing that other management practices should be on the side of mineral degrading and greater means of transport of nutrients.

Key words: Agromineral; Soil fertility; Natural inputs; Rocking.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa de localização dos pontos de coleta dos solos (3 e 4) e das rochas diabásio (1) e nefelina-sienito (2).33
- Figura 2** - Processo de incorporação dos tratamentos aos solos (A); Sacos durante o período de incubação de 30 dias (B).38
- Figura 3** - Soja cultivada em casa de vegetação, em vaso de 5 L, com 4 kg de solo (base seca).39
- Figura 4** - Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl; Al³⁺; H+Al) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.....45
- Figura 5** - Atributos químicos (Ca²⁺; Mg²⁺; P; K⁺) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.....47
- Figura 6**- Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl; Al³⁺; H+Al) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.....54
- Figura 7** - Atributos químicos (Ca²⁺; Mg²⁺; P; K⁺) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.....56
- Figura 8** - Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl; Al³⁺; H+Al) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina sienito.....63
- Figura 9** - Atributos químicos (Ca²⁺; Mg²⁺; P; K⁺) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito..65
- Figura10**- Atributos químicos (pH H₂O, pH CaCl, Al³⁺, H+Al) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito.71
- Figura 11** - Atributos químicos (Ca²⁺; Mg²⁺; P; K⁺) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito.73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Procedimentos analíticos utilizados para a determinação dos elementos na rocha diabásio e nefelina sienito.	35
Tabela 2 - Teores dos óxidos e dos elementos (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, P, Na, Ti, Mn) dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito.	35
Tabela 3 - Atributos químicos dos solos antes da incubação.	36
Tabela 4 - Análise granulométrica dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito.....	43
Tabela 5 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Argissolo Vermelho distrófico sombrico, em casa de vegetação.	49
Tabela 6 - Teores dos elementos químicos no tecido vegetal da cultura da soja.	50
Tabela 7 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso ⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.	52
Tabela 8 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Neossolo Quartzarênico, em casa de vegetação.....	58
Tabela 9 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Neossolo Quartzarênico.	59
Tabela 10 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso ⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.	61
Tabela 11 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Argissolo Vermelho distrófico sombrico, em casa de vegetação.	66
Tabela 12 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Argissolo Vermelho.....	68
Tabela 13 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso ⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação em Argissolo Vermelho.	69
Tabela 14 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Neossolo Quartzarênico, em casa de vegetação.....	74
Tabela 15 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Argissolo Vermelho.....	75
Tabela 16 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso ⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3. OBJETIVO.....	29
3.1 OBJETIVO GERAL.....	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
4. HIPÓTESES	31
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
5.1 ANÁLISES DAS ROCHAS	33
5.2 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS PÓS DE ROCHAS	34
5.3 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES.....	34
5.4 SELEÇÃO E COLETA DOS SOLOSO	35
5.5 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS ANTES DA INCUBAÇÃO.....	36
5.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	37
5.7 INCUBAÇÃO DOS TRATAMENTOS AOS SOLOS	37
5.8 CULTIVO DE SOJA	38
5.9 IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO	38
5.10 COLETA DOS EXPERIMENTOS E ANÁLISES QUÍMICAS DO TECIDO VEGETAL	39
5.11 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	40
5.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6.1 GRANULOMETRIA DOS PÓS DE ROCHA TESTADOS.....	43
6.2 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES.....	43
6.3 APLICAÇÃO DE DIABÁSIO NO ARGISSOLO VERMELHO.....	44
6.3.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha diabásio em diferentes tempos de incubação.....	44
6.3.2 Produção de matéria seca das plantas de soja.....	49
6.3.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja.....	50
6.3.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja.....	51
6.4 APLICAÇÃO DIABÁSIO NO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.....	53
6.4.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Diabásio em diferentes tempos de incubação	53
6.4.2 Produção de matéria seca das plantas de soja.....	57

6.4.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja	58
6.4.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja	59
6.5 APLICAÇÃO NEFELINA-SIENITO NO ARGISSOLO VERMELHO	62
6.5.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Nefelina-sienito em diferentes tempos de incubação	62
6.5.2 Produção de matéria seca das plantas de soja	66
6.5.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja	67
6.5.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja	69
6.6 APLICAÇÃO NEFELINA-SIENITO NO NEOSSOLO QUARTARÊNICO	70
6.6.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Nefelina-sienito em diferentes tempos de incubação	70
6.6.2 Produção de matéria seca das plantas de soja	74
6.6.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja	75
6.6.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja	76
7. CONCLUSÕES	79
8. REFERÊNCIAS.....	81

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui papel de destaque no cenário agrícola mundial em função da alta produção agropecuária, graças a grande extensão de área agrícola e pelas condições climáticas favoráveis. Estima-se que a capacidade produtiva aumente com o aprimoramento de técnicas produtivas mais eficientes, especialmente na recuperação e conservação dos solos. A maioria dos solos brasileiros são ácidos e intemperizados, ou seja, perderam grande parte das reservas de nutrientes dos seus constituintes minerais, tanto pelos processos de intemperismo natural como pelo manejo inadequado.

Atualmente, para elevar a produtividade destes solos no Brasil são utilizadas elevadas quantidades de fertilizantes solúveis. O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, porém participa com apenas 2% da produção mundial, atuando como grande importador de insumos agrícolas e, conseqüentemente, altamente dependente de insumos externos (Associação dos Misturadores de Adubos do Brasil, 2016). Sendo que importa 75% do N, 48% do P e 92% K utilizados como fertilizantes (RODRIGUES et al., 2010). Uma alternativa para solucionar, ao menos em parte, o problema de dependência e dos altos custos de aquisição está relacionada a novas rotas tecnológicas, que prevejam o uso de fontes alternativas, as quais deverão ser capazes de ao mesmo tempo alterar positivamente os baixos índices de fertilidade dos solos tropicais, altamente intemperizados, mas, também, que apresentem resultados, em termos de produção, compatíveis com a expectativa dos agricultores.

Embora o Brasil possua poucas minas de extração de adubos minerais que passam por um processo químico para aumentar a solubilidade, existem abundantes recursos geológicos, os quais ainda carecem de estudos para sua utilização, visando eficiência agrônômica e econômica como fertilizante. O uso de pós de rocha no solo para aumentar a fertilidade é uma prática que tem registros desde o século 19 (van STRAATEN, 2006). As farinhas de rocha de Julius Hansel já eram comercializadas em 1870, na Alemanha, Império Austro-Húngaro, Suíça e Suécia (vann STRAATEN, 2006). Desta forma, uma das alternativas para diminuir a dependência em relação ao uso de fertilizantes solúveis é a técnica de fertilização por rochagem, conhecida também como agromineral, que consiste na aplicação de pó de rochas silicatadas ou

minerais silicatados que alteram positivamente a fertilidade solo, favorecendo o equilíbrio solo-solução.

O uso desta técnica é apresentado como um método alternativo e/ou complementar de fertilização, e tem sido indicado especialmente para pequenas propriedades, agricultura familiar e como alternativa de adubação para agricultura orgânica (LAPIDO-LOUREIRO; MELAMED; FIGUEIREDO NETO, 2008). A rochagem é uma opção tecnológica para países com uma grande geodiversidade, com setor agrícola extremamente dinâmico, como o caso do Brasil (MANNING, 2018; THEODORO; ALMEIDA, 2013).

Entretanto, um dos principais entraves para esta técnica é a lenta solubilização dos minerais, que em consequência podem não fornecer os nutrientes na quantidade e velocidade requeridas pela cultura durante seu ciclo. As interações entre as características do mineral (mineralogia, química, granulometria e solubilidade), atributos e propriedades do solo (textura, pH, teor de matéria orgânica, microrganismos e umidade), exigências da cultura (nutricionais), fatores ambientais e manejo, influenciam os resultados agrônômicos dos remineralizadores (RM) (PÁDUA, 2012).

Neste contexto, é necessário avaliar o potencial dos RM, avaliando o comportamento nas propriedades do solo e no fornecimento de nutrientes para as plantas, com enfoque na solubilização dos minerais.

Tendo em vista a diversidade de materiais com potencial para uso como RM presentes no território brasileiro, os resultados de pesquisa utilizando diabásio e nefelina-sienito são incipientes. Segundo Theodoro e Rocha (2005), a distância entre os pontos de extração e utilização na agricultura não deve ultrapassar 500 km, a ponto de inviabilizar economicamente a técnica. Diante disto, torna-se necessário o estudo de materiais locais como RM para a agricultura, a fim de que possam ser utilizados em substituição e/ou em complementação aos fertilizantes solúveis. Estudos sobre o potencial de diferentes rochas do Brasil para fins agrônômicos são poucos, sendo necessário avaliar a qualidade de rochas locais e seu efeito nos solos predominantes da região de estudo.

Na região Sul de Santa Catarina ocorrem diques e sills da rocha diabásio, entretanto, ainda não há estudos acerca do potencial desta rocha para produção de pó de rocha como remineralizador de solo. O diabásio é uma rocha magmática hipabissal básica (LEINZ; AMARAL, 1989) possui características semelhantes ao

basalto, podendo, portanto, ser fonte importante de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, com eventual efeito na correção da acidez, porém se fazem necessários estudos para avaliar o seu efeito como remineralizador de solos.

Outra rocha inclusa neste estudo é a nefelina-sienito, uma rocha magmática intrusiva intermediária comum na região de Lages (SCHEIBE,1986). Embora apresente baixos conteúdos de cálcio e magnésio em comparação com o diabásio, possui teores elevados de potássio, podendo se constituir numa fonte alternativa para fornecimento deste nutriente. Manning (2010), afirma que as nefelinas podem dissolver 100 vezes mais rapidamente do que os feldspatos potássicos, sugerindo que a aplicação de rochas contendo nefelina aos solos sejam mais eficientes como fonte de potássio para as culturas.

Contudo, a solubilização dos pós de rochas depende de um conjunto de fatores, pois a resistência do mineral pode ser acelerada na rizosfera, devido aos exsudatos das raízes, que contém H^+ , ácidos orgânicos (HINSINGER; JAILLARD, 1993) e moléculas quelantes (DAKORA; PHILLIPS, 2002). Além disso, a matéria orgânica (MO) é um fator importante no desgaste do mineral silicatado. Esses mecanismos têm sido estudados ao longo de muitas décadas, porque eles são essenciais para quantificar muitos processos geológicos e ambientais básicos, como intemperismo das rochas.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência agronômica dos pós de rocha diabásio e nefelina sienito, em duas granulometrias e três doses, no desempenho da cultura de soja (*Glycine max*), cultivada em dois solos, bem como seus efeitos na modificação das propriedades químicas dos solos, visando avaliar seu potencial de utilização como remineralizadores de solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agricultura brasileira, diante o panorama mundial, possui papel de destaque em função do alto volume de produção, favorecido pelas condições climáticas em todo o território. Entretanto, os solos brasileiros na sua grande maioria possuem baixa fertilidade natural, devido ao clima tropical dominante que favorece forte ação do intemperismo sobre o material de origem (rocha), proporcionando alta lixiviação das bases e o esgotamento das reservas minerais dos solos. Por essa razão, a maior parte dos solos brasileiros são altamente intemperizados e ácidos (OLIVEIRA, 2011).

Para elevar a produtividade destes solos, são utilizadas elevadas quantidades de fertilizantes solúveis e, conseqüentemente, existe uma dependência grande por insumos externos, o que aumenta os custos de produção e diminui a competitividade no mercado. Em 2018 o consumo brasileiro de fertilizantes foi de 35 milhões de toneladas, sendo que 27 milhões foram importados, ou seja, 77% da demanda brasileira foi atendida por importações (Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2018). Isso torna o Brasil dependente dos preços estabelecidos pelos países exportadores de fertilizantes e/ou de matéria prima (THEODORO; ALMEIDA, 2013).

Para ampliar a autonomia no fornecimento de nutrientes para as culturas agrícolas brasileiras e, conseqüentemente, diminuir a dependência externa de matérias primas para fertilizantes com a aplicação dos pós de rocha são necessários recursos em pesquisas sobre o efeito de cada rocha utilizada para este fim na agricultura (BARBOSA FILHO et al., 2006; STAMFORD et al., 2011; MANNING, 2015).

Nas normas para a agricultura orgânica, não são permitidos fertilizantes solúveis, entretanto, permite a utilização de pó de rochas como fontes de nutrientes, técnica que vêm sendo difundida entre os produtores. Diante dessa “nova” alternativa, na década de 1980/90 iniciaram-se no Brasil os primeiros estudos com utilização de pós de rocha na agricultura, e desde então os governos brasileiros vêm estimulando pesquisas para possível aproveitamento dos recursos geológicos presentes no território nacional para aplicação como fertilizantes, numa tentativa de reduzir a carência e a dependência do mercado externo por fertilizantes.

A aplicação de pó de rochas no solo não é uma técnica do século 20, visto que os primeiros relatos encontrados na literatura foram descritos por Missoux e Hensel no século 19 (vann STRAATEN, 2006), quando então já era uma técnica comum entre

os agricultores. Como exemplo da difusão da técnica, cita-se a aplicação de rochas calcárias, matéria prima para a produção do calcário, utilizado como corretivo da acidez e no fornecimento de cálcio e magnésio ao solo e também a utilização de fosfatos naturais de origem de rochas fosfatadas.

Leonardos, Fyfe e Kronberg (1987) sugerem o uso de pó de rochas para remineralizar os solos agrícolas e, desde então, esse contexto têm sido alvo de estudos, a fim de utilizar pós de rochas como remineralizadores de solo, a nível nacional e internacional (LEONARDOS; FYFE; KRONBERG, 1987; FYFE et al., 1987, 2000; vann STRAATEN, 1987, 2002, 2006; ; BARRETO, 1998; LEONARDOS; THEODORO; ASSAD, 2000; AMPARO, 2003; FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; RESENDE et al., 2006; MARTINS et al., 2008; MANNING, 2010; SILVA et al., 2012; AZEVEDO, 2013; DA SILVA et al., 2013; DE SOUZA et al., 2013; THEODORO; ALMEIDA, 2013; RAMOS; DE MELLO; KAUTZMANN, 2014; KORCHAGIN et al., 2016; REIS et al., 2016; SOUZA et al., 2017, entre outros).

Estudos desenvolvidos no Brasil e no exterior mostram que a aplicação de pó de rochas aos solos, como fonte de nutrientes resulta em respostas agrônômicas equiparáveis àquelas obtidas a partir do uso dos fertilizantes solúveis (LEONARDOS; FYFE; KRONBERG, 1987; FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; vann STRAATEN, 2006; CARVALHO, 2012; DUARTE et al., 2013). Contudo, há limitações importantes para o uso mais amplo dos pós de rocha, levando em consideração fatores regionais, tipo da cultura agrícola, e da geodiversidade. Muitas rochas podem apresentar composição química inadequada ou possuir baixa solubilidade dos minerais nelas contidas.

A velocidade de liberação dos elementos do pó de rocha ao solo em geral é bem menor do que dos fertilizantes solúveis. Porém, o pó de rocha pode contribuir com efeito residual por um longo período (HARLEY; GILKES, 2000; SOUZA et al., 2017), para fornecimento gradual de nutrientes. Além disso, o pó de rocha tende ao aumento do pH (SOUZA et al., 2017), diminuindo assim as perdas por lixiviação de nutrientes.

O custo de obtenção desses produtos pode ser reduzido em cerca de 60 a 80% em relação às fontes convencionais, pois seu beneficiamento envolve apenas a moagem das rochas, aliado ao fato de serem amplamente distribuídas em várias regiões do país (FYFE, LEONARDOS e THEODORO, 2006).

Um dos princípios para o uso de pó de rochas na agricultura é o conhecimento da sua composição elementar, bem como dos seus minerais constituintes (MANNING, 2018). A análise da composição elementar das rochas permite avaliar o potencial de cada rocha de liberar nutrientes essenciais, tais como o cálcio, magnésio, potássio, fósforo e alguns micronutrientes. Já a análise mineralógica da rocha permite identificar os constituintes minerais, que exercem influência sobre sua maior ou menor resistência à dissolução pelos processos de intemperismo após sua adição aos solos.

A rochagem deve apresentar determinados requisitos, quando se pretende que os produtos a serem comercializados sejam certificados pela legislação brasileira. Quando os pós de rocha são certificados eles passam a ser denominados de remineralizadores (RM). Segundo a lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013, define como remineralizador de solo todo material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicado ao solo, altere os seus índices de fertilidade, por meio de adição de macro e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas e/ou a atividade biológica do solo.

Os minerais silicatados, assim como as rochas que os contém, possuem natureza complexa, e diante disto torna-se necessária definição de procedimentos analíticos adequados, que descrevam a sua constituição química e a disponibilidade de elementos presentes (Resende et al., 2006). O potencial de uso agrônômico dos minerais deve levar em consideração sua composição geoquímica (Harley e Gilkes, 2000; Manning, 2018; Martins et al., 2008). A mineralogia deve ser utilizada como indicadora do potencial de solubilidade dos minerais e da capacidade de liberação de nutrientes, a qual altera as propriedades químicas do solo (Nascimento e Lapidou-Loureiro, 2004). Conhecendo a composição química dos minerais e a sua mineralogia é possível presumir a sua eficiência, considerando a ordem de estabilidade dos componentes minerais presentes ao intemperismo.

3. OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência agronômica dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Avaliar o efeito das granulometrias dos pós de rochas diabásio e nefelina-sienito;

-Avaliar os efeitos dos pós de rochas diabásio e nefelina-sienito na cultura da soja (*Glycine max*), com relação a nutrição vegetal e acúmulo de macronutrientes.

-Avaliar os efeitos da aplicação de diabásio e nefelina-sienito efeitos na modificação das propriedades químicas dos solos, visando avaliar seu potencial de utilização como remineralizadores de solo.

-Avaliar se os pós de rochas diabásio e nefelina-sienito se enquadram se enquadram como remineralizadores de solo.

4. HIPÓTESES

Os tratamentos com uso de pós de rocha na granulometria filler (<0,30 mm), possuem maior potencial de liberação de nutrientes do que o pó.

A utilização da rocha nefelina-sienito terá maior contribuição para a mudança nas propriedades químicas dos solos quando comparada ao diabásio.

O incremento das doses dos pós-de-rochas resultará em maior produção de massa seca total e maior acúmulo de nutrientes na parte aérea na cultura de soja.

O pó da nefelina-sienito proporcionará maior liberação de potássio, quando comparado ao diabásio.

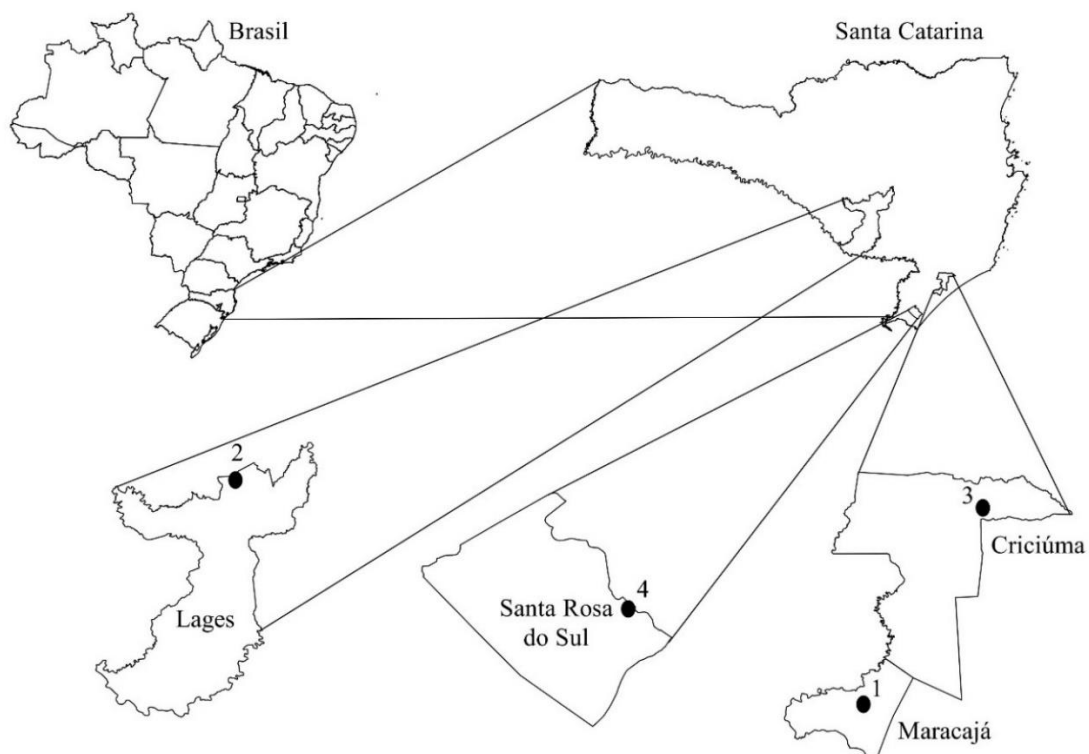
5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ANÁLISES DAS ROCHAS

Pós de Rochas Testados:

Foram utilizadas duas rochas, sendo uma delas o diabásio, coletada no município de Maracajá – SC, (Figura 1, ponto 1), na Mineração Cedro, que disponibilizou a rocha para estudo. A rocha nefelina-sienito foi coletada no município de Lages – SC (Figura 1, ponto 2).

Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de coleta dos solos (3 e 4) e das rochas diabásio (1) e nefelina-sienito (2).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Ambas as rochas passaram por um pré-tratamento, para retirada da camada semi-intemperizada, com auxílio de esmerilhadeira. Após foram moídas em britador de mandíbulas, e parte do pó das rochas separado por quarteamento foram reprocessadas no moinho de disco, a fim de reduzir a granulometria.

5.2 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS PÓS DE ROCHAS

Foram utilizadas amostras de rochas moídas em duas granulometrias: <0,3mm denominada “filler” e <2,0mm denominada “pó”. Visando atender a especificação da Instrução Normativa nº 5 do Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento adotou-se os seguintes procedimentos.

Para a análise do material do tipo “filler” foram utilizadas quatro repetições de 100 gramas de amostra previamente seca a temperatura de 65 °C por 48 horas. Com auxílio de um agitador eletromecânico e uma peneira de malha de 0,30 mm, as amostras foram peneiradas por 15 minutos para cada repetição. Ao término de cada bateria quantificou-se, em balança analítica, o material retido na peneira.

Para a análise do material do tipo “pó”, foi realizado o peneiramento de 100 gramas de amostra por repetição num total de quatro repetições, todas amostras foram secas a 65 °C por 48 horas. Foram utilizadas peneiras com malhas de 2,0, 0,84 e 0,30 mm, conforme Instrução Normativa nº5 citada anteriormente. Depois de agitadas por 15 minutos por meio de um agitador eletromecânico, o material retido em cada peneira foi quantificado com uso de balança analítica. Ao término do peneiramento e pesagem das repetições calculou-se as percentagens do material retido e do material passante.

5.3 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES

As análises dos elementos maiores e menores da rocha foram feitas também por métodos químicos no laboratório com certificação internacional ALS Global, com sede na cidade de Vespasiano, MG. As análises foram realizadas na sede da empresa localizada no Peru, utilizando vários protocolos, com quantificação dos elementos por ICP (Inductived Coupled Plasma), conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Procedimentos analíticos utilizados para a determinação dos elementos na rocha diabásio e nefelina sienito.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS		
CÓDIGO ALS	DESCRIÇÃO	INSTRUMENTO
ME-ICP06	Whole Rock Packpage – ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (Leco)	LECO
S-IR08	Total Sulphur (Leco)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-MS81	Up to 34 elementos by ICP-MS	ICP-MS
AO-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	ICP-AES

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foram quantificados 13 elementos maiores, na forma de óxidos (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cr, Ti, P, Sr, Ba) e 52 elementos menores, sendo alguns destes apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Teores dos óxidos e dos elementos (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, P, Na, Ti, Mn) dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito.

Óxidos	Teor (%)		Elemento	Teor (%)	
	Diabásio	Nefelina		Diabásio	Nefelina
SiO ₂	52,20	46,20	Si	24,40	21,60
Al ₂ O ₃	12,30	18,50	Al	6,51	9,79
Fe ₂ O ₃	16,00	8,77	Fe	12,44	6,82
CaO	7,79	7,13	Ca	5,57	5,10
MgO	3,59	2,35	Mg	2,17	1,42
K ₂ O	1,40	4,91	K	1,16	4,08
P ₂ O ₅	0,25	0,67	P	0,11	0,29
Na ₂ O	2,84	5,25	Na	2,29	4,23
TiO ₂	1,81	1,69	Ti	1,08	1,02
MnO	0,23	0,22	Mn	0,18	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.4 SELEÇÃO E COLETA DOS SOLOS

O estudo foi conduzido com amostras do horizonte superficial (0-20 cm) de dois solos. Eles foram coletados em Criciúma – SC, (Figura 1, ponto 3), sendo este classificado como Argissolo Vermelho Distrófico sômbrico textura média/argilosa, e em Santa Rosa do Sul – SC, (Figura 1, ponto 4) sendo este classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em áreas não cultivadas.

5.5 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS ANTES DA INCUBAÇÃO

As amostras de solo foram secas ao ar, em casa de vegetação, destorroadas, e passadas em peneira com malha de 4 mm. Para as análises químicas, utilizaram-se amostras passadas em peneira com malha de 2 mm.

Depois do processamento das amostras foi determinado o pH em água, o pH SMP, ambos por potenciometria, para o cálculo da necessidade de calcário dos solos nos tratamentos correspondentes. A capacidade de campo (CC) foi determinada utilizando o método do tubo (COSTA; NANNI; JESKE, 1997). Todas as análises químicas foram realizadas de acordo Tedesco (1995) e Silva (2009), no Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC.

O Argissolo utilizado neste estudo é muito ácido, com baixos valores de pH em água e em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ($\text{pH} < 4,5$), elevados teores de H+Al e de alumínio trocável (Al^{3+}) (Figura 4), com baixos teores de cátions básicos (principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+}) e baixos teores de P e K^+ (Tabela3).

Tabela 3 - Atributos químicos dos solos antes da incubação.

Solo	pH		Al^{3+}	H+Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$\text{S}^{(2)}$	$\text{T}^{(3)}$	$t^{(4)}$	$\text{V}^{(5)}$	$m^{(6)}$	P
	Água	$\text{CaCl}_2^{(1)}$												
1:1.....	cmolc kg ⁻¹%.....	mg kg ⁻¹	
Argissolo	4,18	3,80	3,93	8,81	1,14	0,34	0,18	0,04	1,69	10,50	5,62	16	70	2,97
Neossolo	6,00	5,54	0,11	0,89	1,23	0,44	0,20	0,01	1,90	12,53	5,93	15	68	3,40

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

⁽¹⁾ Cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$; ⁽²⁾ Soma de bases; ⁽³⁾ CTC pH 7; ⁽⁴⁾ CTC efetiva; ⁽⁵⁾ Percentagem de saturação por bases; ⁽⁶⁾ Saturação por alumínio.

Já o Neossolo utilizado neste estudo em condição natural apresentou valores de pH em água e em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ na faixa de 5,5 a 6,0, baixos teores de H+Al, de Al^{3+} (Figura 10), de cátions básicos (principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+}), de P e de K^+ no intervalo entre baixo e médio (Figura 11), conforme a classe de disponibilidade (CQFS RS/SC, 2016).

5.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo foi organizado na forma de delineamento inteiramente casualizado, sendo utilizados dois solos, três doses dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito (equivalentes a 2,5; 5 e 10 Mg ha⁻¹), em duas granulometrias (filler e pó) dos pós de rocha anteriormente citados, sendo constituído pelas siglas DF=diabásio filler, DP=diabásio pó, NF=nefelina filler e NP=nefelina pó. Todos os tratamentos foram feitos com 4 repetições. Além dos tratamentos com o pó de rocha, também foi utilizado um tratamento adicional, nos dois solos, constando de solo corrigido para pH 6,0 com calcário dolomítico tipo filler no Argissolo (não foi necessário efetuar calagem no Neossolo, devido ao alto pH natural) e adubação convencional com fontes de adubos solúveis, sendo o fósforo e potássio adicionado conforme recomendação para a cultura da soja. Um tratamento adicional, sem aplicação de nenhum fertilizante, foi utilizado como controle.

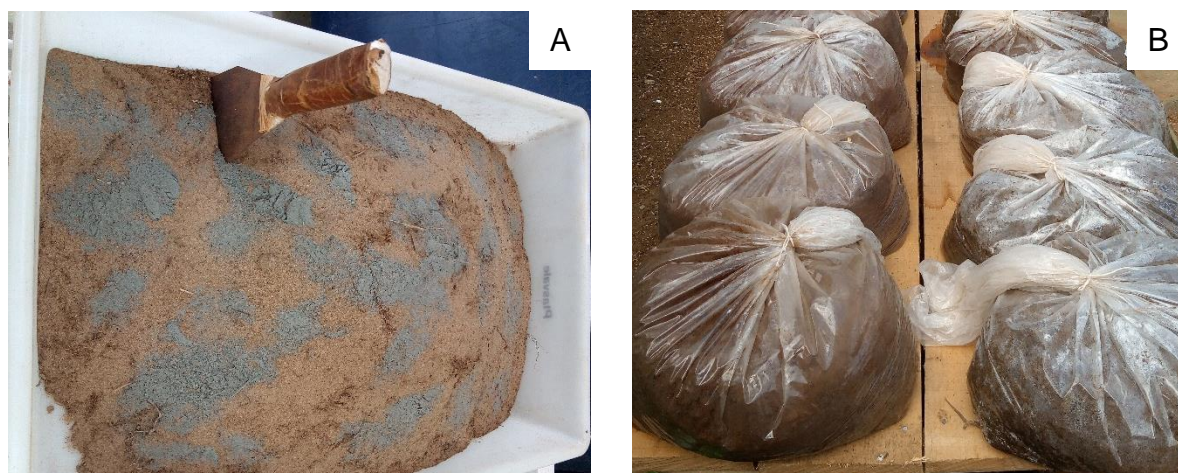
Esse estudo foi dividido em quatro experimentos, sendo a aplicação de diabásio no Argissolo (1° experimento), diabásio no Neossolo (2° experimento), aplicação de nefelina sienito no Argissolo (3° experimento) e nefelina sienito no Neossolo (4° experimento), com o intuito de avaliar o efeito de cada rocha sobre o tipo de solo, de acordo com os tratamentos.

5.7 INCUBAÇÃO DOS TRATAMENTOS AOS SOLOS

A umidade do solo foi determinada no momento da incubação, para correção dos valores para 4 kg de peso seco. Os tratamentos foram aplicados aos solos de acordo com a doses estabelecidas.

As doses foram homogeneizadas em amostras de 16 kg de solo (base seca), correspondendo às 4 repetições por tratamento (Figura 2A). Em seguida, água destilada foi aplicada para elevar a umidade até 80% da CC. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 30 L, sendo revolvidas a cada 10 dias. Os tratamentos permaneceram no processo de incubação por 30 dias (Figura 2B). Após o período de incubação, a quantidade total de solo incubada correspondente a cada tratamento, foi subdividida em quatro porções iguais em vasos de 5 L para iniciar o cultivo da soja (*Glycine max*).

Figura 2 - Processo de incorporação dos tratamentos aos solos (A); Sacos durante o período de incubação de 30 dias (B).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.8 CULTIVO DE SOJA

A cultivar de soja utilizada neste estudo têm as seguintes características:

Soja (cultivar BRS 232): 88% de germinação, semiprecoce, moderadamente sensível a presença do alumínio no solo, crescimento determinado e elevado potencial produtivo. Seu plantio é indicado para as regiões de Santa Catarina, São Paulo, Paraná e sul do Mato Grosso do Sul.

5.9 IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

Depois da incubação, as amostras de cada tratamento dos dois solos foram novamente homogeneizadas. Porém, nos tratamentos previamente corrigidos com calcário, foram adicionados e misturados nos 4 kg de solo 2,09 g de P (superfosfato triplo) e 0,8 g de K (cloreto de potássio) destinados para a semeadura da soja. Como as sementes da soja foram inoculadas, os solos foram fertilizados somente com P e K antes do plantio.

As adubações com P e K foram as preconizadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016) para a cultura da soja, tendo por base os resultados do P e K obtidos após as análises químicas. Entretanto, considerando tratar-se de experimento em

casa de vegetação, onde o volume de exploração das raízes fica limitado pelo volume do vaso, utilizou-se uma dose 3 vezes maior dos fertilizantes, conforme preconizado por Ernani (2016) e recomendado no Protocolo de Avaliação Agronômica de Rochas e Produtos Derivados como Fontes de Nutrientes às Plantas ou Condicionadores de Solo pela Embrapa, segundo Resende et al. (2012).

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação (Figura 3), no ano de 2018, em vasos de 5 L com 4 kg de solo cada (base seca). Foram semeadas, sem pré-germinação, 6 a 7 sementes por vaso. Os desbastes das plantas de soja foram realizados em três etapas: 1º) após 10 dias após a emergência (DAE) das plantas foram deixadas quatro plantas por vaso; 2º) aos 21 DAE permaneceram três plantas por vaso. Os vasos foram aleatorizados a cada 10 dias para que as plantas tivessem as mesmas condições de temperatura, sombreamento e de incidência solar.

Durante a condução dos experimentos, os solos foram mantidos com umidade próxima a 80% da CC, através de pesagens diárias dos vasos e reposição da umidade com água deionizada.

Figura 3 - Soja cultivada em casa de vegetação, em vaso de 5 L, com 4 kg de solo (base seca).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.10 COLETA DOS EXPERIMENTOS E ANÁLISES QUÍMICAS DO TECIDO VEGETAL

As plantas de soja cultivadas no Argissolo foram coletadas aos 65 dias após o plantio, e se encontravam no estágio fenológico R3 (início da formação das vagens) no tratamento com calcário, P e K, nos demais tratamentos as plantas foram coletadas no estágio fenológico R1. No Neossolo as plantas de soja também foram coletadas

aos 65 dias, e todos os tratamentos se encontravam no estágio fenológico R3 (início da formação das vagens).

A parte aérea (PA) das plantas foi cortada rente ao solo e acondicionada em sacos de papel, seca em estufa de circulação forçada, a 65 °C, até peso constante, quando, após pesagem, foi obtida a matéria seca da parte aérea (MSPA). As raízes foram separadas manualmente, lavadas em água corrente e secas da mesma forma que a PA. Feito isso, as raízes foram pesadas para a obtenção da matéria seca de raiz (MSR). Com a soma da MSPA com a MSR foi obtida a matéria seca total (MST) produzida pelas plantas.

O tecido vegetal das plantas foram moídos e posteriormente foi realizada a digestão das amostras conforme o método descrito em Tedesco et al. (1995). As concentrações de Ca e Mg no tecido das plantas foram quantificadas pela técnica de espectrometria de absorção atômica. O P foi determinado por colorimetria (Murphy; Riley, 1962) e K por fotometria de chama. A concentração de N foi determinada por meio de arraste de vapores, em equipamento semimicro Kjeldahl.

A partir da MST e dos teores de N, P, K, Ca e Mg foram calculados os teores acumulados (LAVIOLA; DIAS, 2008) dos mesmos no tecido vegetal das plantas avaliadas de acordo com a equação 1.

$$N_{\text{Macro}} (\text{mg}) = \text{MST} (\text{mg}) \times \text{concentração do nutriente} (\%) / 100 \quad (\text{Equação 1})$$

em que, N_{Macro} : corresponde a quantidade do macronutriente acumulado no tecido vegetal das plantas e a matéria seca total (MST) produzida pelas plantas testadas.

5.11 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Depois da separação das raízes de cada cultivo, os solos foram homogeneizados e coletadas amostras que foram secas ao ar, moídas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Nas amostras de solo, foram determinados pH em água e em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (relação solo:solução 1:1), os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis do solo, conforme Tedesco et al. (1995). O P foi extraído pela solução de Melich-1, e o K^+ e o

Na⁺ pela solução de acetato de amônio 1 M. O P foi quantificado por colorimetria (MURPHY; RILEY, 1962) e o K⁺ e o Na⁺ por fotometria de chama.

5.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de solo e da produção de MSPA, MSR, MST, teor de nutrientes e acumulados no tecido vegetal das plantas de soja foram submetidos à análise de variância (ANAVA). Quando significativos, os dados de solo foram comparados pelo teste T (LSD) a 5% de probabilidade de erro, e os demais foram comparadas pelo teste F para contrastes ortogonais, a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do programa SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados das características químicas e físicas dos pós de rochas diabásio e nefelina-sienito, bem como o efeito da aplicação dos produtos deles derivados sobre as propriedades químicas dos solos e sobre a produtividade das plantas de soja cultivadas em cada solo, separadamente.

6.1 GRANULOMETRIA DOS PÓS DE ROCHA TESTADOS

Os resultados indicados na tabela 4 demonstram que ambos os pós de rochas testados como remineralizados de solo atendem a legislação para remineralizadores, estando de acordo com as especificações constantes na Instrução Normativa 5, do MAPA (2016).

Tabela 4 - Análise granulométrica dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito.

Especificação de natureza física	Peneira mm	Partículas passantes (%)		IN 5 ⁽¹⁾ %
		Diabásio	Nefelina	
Filler	0,3	100	100	100
	2,0	100	100	100
Pó	0,84	88	85	70 (mínimo)
	0,3	55	60	50 (mínimo)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

⁽¹⁾ Instrução Normativa Número 5, Mapa (2016).

6.2 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES

A rocha diabásio apresentou teores elevados de Si (52,20% de SiO₂), teores médios de Ca (7,79% de CaO) e de Mg (3,59% de MgO), assim como teores baixos de K (1,40% de K₂O) (Tabela 2). Já a rocha nefelina-sienito apresentou teores mais baixos de Si (46,20% de SiO₂) quando comparada ao diabásio, e teores semelhantes de Ca (7,13 % de CaO) e de Mg (2,25 % de MgO), e teores mais elevados de K (4,91 % de K₂O) (Tabela 2).

Ambas as rochas atenderam aos conteúdos mínimos previstos no artigo 4º da Instrução Normativa nº 06 de 10 de março de 2016, que estabeleceu os critérios para registro dos RM no MAPA: “Os remineralizadores deverão apresentar as seguintes

especificações e garantias mínimas: teor de soma de bases igual ou superior à 9%, considerando a soma dos óxidos de cálcio, magnésio, potássio e teor de K_2O igual ou superior a 1%”.

Além disso, a nefelina-sienito apresentou teores médios de P total (0,67% de P_2O_5), o que pode contribuir para a liberação de fósforo para as plantas durante o processo de dissolução da rocha.

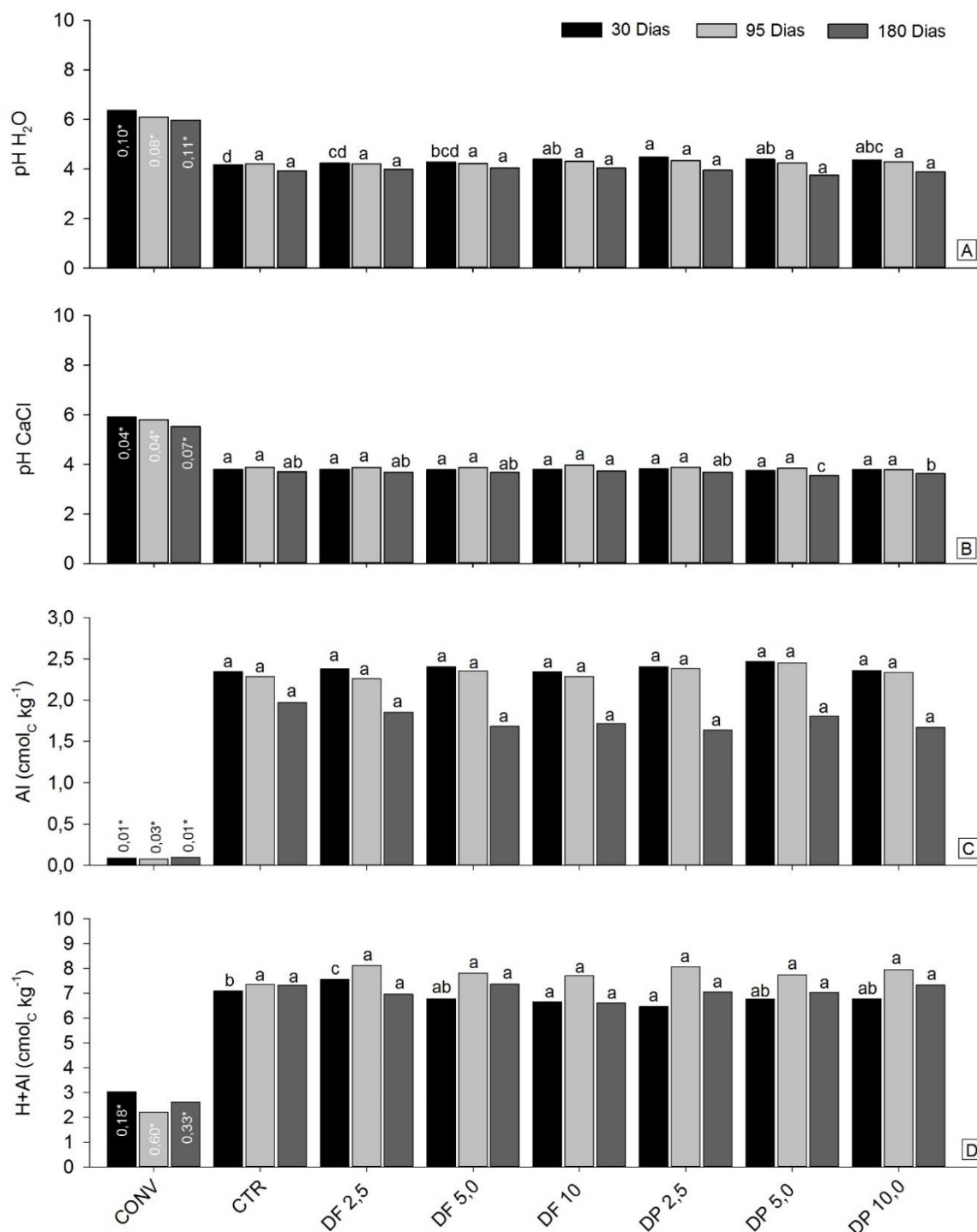
6.3 APLICAÇÃO DE DIABÁSIO NO ARGISSOLO VERMELHO

6.3.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha diabásio em diferentes tempos de incubação

Com a utilização do calcário no tratamento convencional, verificou-se aumento nos valores de pH em água e em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} , nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e P. A aplicação do calcário diminuiu os teores do Al^{3+} , quando comparado aos tratamentos controle e com o pó da rocha, independentemente da dose e da granulometria do pó utilizada (Figura 4 e 5). O maior efeito do calcário se explica por ser um produto de solubilidade relativamente rápida quando comparado com o pó da rocha diabásio, de solubilidade lenta. Os teores de K^+ diminuíram com a calagem no Argissolo (avaliado aos 30 dias), quando comparado ao tratamento controle, possivelmente porque a calagem aumenta o número de cargas elétricas negativas (CAIRES et al., 2008; CASTRO; CRUSCIOL, 2013), fazendo com que parte do K^+ da solução migre para as cargas negativas criadas, a fim de manter o equilíbrio solo-solução (ERNANI et al., 2007).

Nos tratamentos com aplicação de diabásio verificou-se diferença nos valores de pH em água em relação ao controle, onde o maior aumento foi de 0,29 unidades de pH no tratamento diabásio pó 2,5 $Mg\ ha^{-1}$ em relação ao controle. Entretanto, a avaliação aos 95 dias e aos 180 dias não diferiu estatisticamente (Figura 4A). Os valores de pH em água aos 180 dias foram inferiores quando comparados aos 95 dias (Figura 4A) porém em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} e Al^{3+} , ao longo dos 30, 95 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos não houve diferença significativa.

Figura 4 - Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl; Al³⁺; H+Al) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

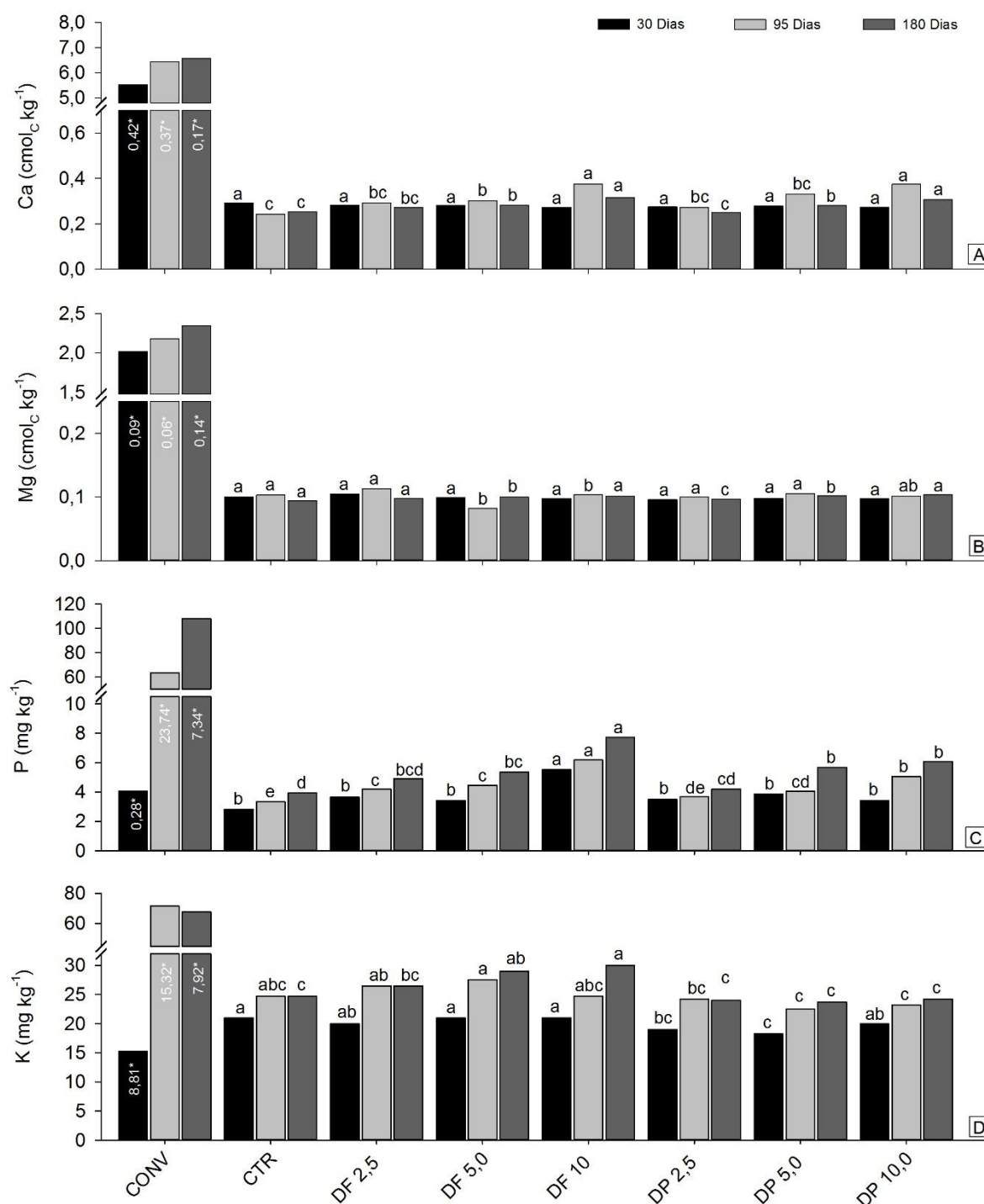
*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; DF = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); DP = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

A diminuição do pH em água, principalmente em experimentos com vasos fechados pode ocorrer, segundo Ciotta et al., (2002), Raji (2011) e Souza et al., (2015), pelo aumento na concentração salina das amostras de solo, ocasionado pela adição de adubos solúveis de reação ácida, com a aplicação recente de adubos em geral e/ou com o incremento na taxa de mineralização da MO das amostras. Tais efeitos são em geral contornados pela determinação do pH em solução salina, onde os valores de pH nela determinados são pouco afetados pela relação solo-solução e pelo efeito salino. Além disso, a concentração do CaCl_2 utilizada não é muito diferente, em ordem de grandeza, das concentrações de solos de alta fertilidade ou bem adubados (RAIJ, 2011; ERNANI, 2016).

Os valores H^+Al (Figura 4D) no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação não tiveram diferença entre o tratamento controle com aqueles submetidos a doses de diabásio. Os teores de Ca^{2+} (Figura 5A) e Mg^{2+} (Figura 5B), aos 30 dias nos tratamentos com diabásio não diferiram entre si, e aos 95 dias houve pequeno aumento dos seus valores, sendo estes maiores na dose 10 Mg ha^{-1} . Aos 180 dias de incubação, os teores de Ca^{2+} apresentaram diferença (Figura 5A), sendo superiores na dose 10 Mg ha^{-1} , seguido de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Os tratamentos na dose $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ não diferiram do controle, além disso, não foi observada diferença entre as granulometrias utilizadas.

Em relação aos teores de Mg^{2+} , observa-se que aos 180 dias não apresentaram o mesmo efeito em relação aos 95 dias, sendo que o tratamento controle não diferiu dos tratamentos na granulometria pó, e os tratamentos na dose 5 e 10 Mg ha^{-1} na granulometria filler foram inferiores (Figura 5B). Os teores de P foram influenciados tanto pelo tempo de incubação como pelo insumo utilizado (Figura 5C). Nos tratamentos submetidos à calagem verifica-se que os teores desse elemento são muito mais elevados do que àqueles submetidos à aplicação do pó da rocha diabásio, independentemente da dose, da granulometria utilizada e do tempo de incubação. O aumento desse está relacionado com o aumento do pH e, principalmente pela aplicação de uma fonte bastante solúvel, o superfosfato triplo.

Figura 5 - Atributos químicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; P; K^+) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; DF = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}); DP = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}).

Os teores de P diferiram aos 30 dias, sendo maior no tratamento com 10 Mg ha⁻¹ de diabásio na granulometria filler, e os demais tratamentos não diferiram entre si. Aos 95 dias, os teores de P foram maiores no tratamento com 10 Mg ha⁻¹ de diabásio, na granulometria filler e pó e os demais tratamentos com aplicação de diabásio foram superiores em relação ao controle. Aos 180 dias, o tratamento com 10 Mg ha⁻¹ de diabásio na granulometria filler diferiu em relação aos demais tratamentos, sendo que o teor de P foi 97% maior em relação ao controle (elevou de 3,93 para 7,74 mg kg⁻¹) e os tratamentos com 2,5 Mg ha⁻¹ não diferiram do controle (Figura 5C).

Pode-se, portanto, conjecturar que essa rocha utilizada na maior dose e na granulometria filler com o tempo, pode aumentar o teor desse elemento na solução do solo e, conseqüentemente, a disponibilização para as plantas. Esses resultados reforçam a hipótese de que esta rocha precisa de um tempo maior para liberar os nutrientes nela presentes. Entretanto, a diferença no teor de P pode estar associada ao extrator utilizado e, os resultados devem ser interpretados com cautela, pois o extrator do método Mehlich-1 pode dissolver certos minerais ricos em P, como a apatita mesmo quando em baixas quantidades (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998).

O K⁺ apresentou os maiores teores no tratamento diabásio na dose 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler. Porém, não são observadas modificações substanciais nos teores de K⁺ extraíveis nos tratamentos com as doses do pó da rocha, provavelmente decorrente do baixo teor de K₂O presente na rocha (Tabela 2).

Devido à baixa solubilidade dos minerais constituintes dessa rocha e o tempo de incubação, somado ao período de condução do experimento, o tempo não tenha sido suficiente para liberar os nutrientes na velocidade exigida pela cultura, uma vez que a dissolução dos minerais dependeu apenas das condições naturais do solo. Resultados semelhantes vem sendo obtidos por outros autores (CIPRIANO; ELIAS; AZEVEDO, 2017), o que leva a crer que esses produtos devem ser aplicados com maior antecedência aos solos, para que produzam resultados mais satisfatórios na produtividade dos cultivos. Diversas alternativas para aumentar a reatividade destes produtos no solo tem sido testados, tais como sua associação com resíduos orgânicos (MITSUHIRO et al., 2014) e utilização de microrganismos solubilizadores (BECERRA-CASTRO et al., 2013; DE SOUZA et al., 2013) que podem acelerar o intemperismo dos minerais das rochas.

6.3.2 Produção de matéria seca das plantas de soja

A análise de contrastes ortogonais mostrou que a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de soja cultivada no Argissolo Vermelho, independentemente da dose do pó de rocha diabásio aplicada ou da granulometria utilizada, não apresentou diferença quando comparado ao controle. Já quando se compara o sistema convencional (calagem + adubação de P e K solúveis) aos tratamentos com aplicação de pó de rocha diabásio, verificou-se diferença significativa a 1%, sendo a produção de massa superior no sistema convencional (Tabela 5).

A produção de MSR e MST das plantas de soja no sistema convencional foram superiores aos tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio, independentemente das doses ou granulometria (Tabela 5). Ao comparar as médias de MSR e MST do controle com os tratamentos aplicação de pó de diabásio nas diferentes doses e granulometrias, somente a dose 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler foi superior, apresentando um aumento de 120% na produção MSR e 105% na MST.

Tabela 5 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Argissolo Vermelho distrófico sômbrico, em casa de vegetação.

TRATAMENTO	MSPA	MSR	MST
	----- g vaso ⁻¹ -----		
Controle	0,67	0,38	1,05
Sistema Conv.	7,71	1,48	9,20
Diab. Fil. 2,5	0,78	0,43	1,21
Diab. Fil. 5,0	0,86	0,46	1,33
Diab. Fil. 10,0	1,30	0,84	2,14
Diab. Pó 2,5	0,58	0,29	0,88
Diab. Pó 5,0	0,76	0,44	1,20
Diab. Pó 10,0	0,93	0,68	1,60
CV(%)	31,60	33,57	29,66
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais			
Sistema Conv. x Controle	7,04**	1,10**	8,14**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	6,93**	1,05**	7,99**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	6,85**	1,02**	7,87**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	6,41**	0,64**	7,05**
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	7,13**	1,18**	8,31**
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	6,95**	1,04**	7,99**
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	6,79**	0,81**	7,59**
Controle x Diab. Fil. 2,5	-0,11 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	-0,19 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,28 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	-0,63 ^{ns}	-0,47*	-1,10*
Controle x Diab. Pó 2,5	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 5,0	-0,09 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 10,0	-0,25 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,55 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Os maiores valores na produção de MSPA, MSR e MST no sistema convencional se deve a correção da acidez (conforme visto anteriormente, esse solo na condição natural possui alto teor de Al^{3+} e baixo pH), além da utilização de P e K na forma solúvel. A dose utilizada de P e K foi três vezes superior a recomendada pela CQFS-RS/SC (2016), conforme preconizado por Ernani (2016), para experimento em vasos.

6.3.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja

Os teores dos macronutrientes na parte aérea determinados nas plantas de soja (Tabela 6), não diferiram em função dos tratamentos com aplicação de pó de rocha. Exceção ocorreu com o teor de K, que apresentou diferença nos tratamentos com maior dose de diabásio, conforme análise de contraste ortogonais. Entretanto, a média foi superior no tratamento controle.

Tabela 6 - Teores dos elementos químicos no tecido vegetal da cultura da soja.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Controle	5,05	1,06	0,80	0,11	0,24
Sistema Conv.	2,92	1,70	1,19	0,62	0,55
Diab. Fil. 2,5	4,84	1,09	0,84	0,17	0,29
Diab. Fil. 5,0	4,84	0,94	0,82	0,10	0,22
Diab. Fil. 10,0	4,90	0,85	0,66	0,10	0,24
Diab. Pó 2,5	5,66	0,94	0,75	0,14	0,23
Diab. Pó 5,0	4,91	0,93	0,72	0,13	0,47
Diab. Pó 10,0	5,36	0,57	0,62	0,10	0,44
CV(%)	10,75	21,98	14,87	44,11	15,70
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	-2,13**	0,63**	0,39**	0,51**	0,31**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	-1,92**	0,60**	0,35**	0,45**	0,26**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	-1,92**	0,75**	0,37**	0,52**	0,33**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	-1,99**	0,84**	0,53**	0,52**	0,31**
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	-2,74**	0,76**	0,44**	0,48**	0,32**
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	-1,99**	0,76**	0,47**	0,49**	0,32**
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	-2,44**	1,13**	0,57**	0,52**	0,34**
Controle x Diab. Fil. 2,5	0,21 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	0,21 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	0,14 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,18*	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 2,5	-0,61 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 5,0	0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 10,0	-0,31 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,18*	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Pode-se conjecturar que mesmo o pó dessa rocha liberando lentamente os nutrientes, está nutrindo satisfatoriamente as plantas, pois os teores dos macronutrientes estão dentro dos limites adequados descritos por Tedesco (1995) e Boaretto et al. (2009).

Verificou-se diferença com relação ao teor de nitrogênio, quando comparados os tratamentos com aplicação da rocha de diabásio com o sistema convencional, ou seja, os tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio apresentaram médias superiores. Isso está relacionado a diluição dos nutrientes, ou seja, nos tratamentos com as plantas mais desenvolvidas, que apresentam maior produção de MSPA, o nitrogênio é requerido em vários estádios das plantas, por isso são mais utilizados e, conseqüentemente, podem ser encontrados em menores quantidades e, de maneira geral, conforme aumenta a produção de massa, diminui a concentração de N (RIEDEL, 2010; MARTINS et al., 2017; SCHLEGEL; HAVLIN, 2017).

Em relação aos teores de P, K, Ca e Mg, a análise de contraste ortogonais, comparando o sistema convencional com os tratamentos com aplicação de diabásio, verificou-se que houve diferença, ou seja, ocorreu incremento nos teores destes macronutrientes no sistema convencional comparado aos tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio (Tabela 6), independentemente da dose ou granulometria utilizada. Isso ocorreu devido à correção da acidez (calagem) e da adubação com P e K, conforme citado anteriormente.

6.3.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja

O acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na soja foi maior no sistema convencional (calagem + adubação de P e K), que apresentou respostas positivas em relação aos demais tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio, conforme análise de contraste ortogonais (Tabela 7).

Além disso, a correção da acidez no sistema convencional diminuiu a toxicidade por Al^{3+} , que se encontrava em torno de $2,4 \text{ cmolc kg}^{-1}$ na condição natural, dificultando a absorção de elementos como Ca^{+} e Mg^{+} . Associado a isso, o solo apresentava baixo pH, impedindo a absorção de alguns micronutrientes, que favorecem o desenvolvimento das plantas, elevando o potencial do desenvolvimento vegetativo, que por sua vez, aumenta o acumulado de macronutrientes.

Tabela 7 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg vaso ⁻¹ -----				
Controle	32,95	7,14	5,39	0,65	1,57
Sistema Conv.	220,81	132,26	81,29	47,21	42,36
Diab. Fil. 2,5	38,39	7,97	9,16	0,94	0,20
Diab. Fil. 5,0	41,97	8,21	9,54	0,85	0,22
Diab. Fil. 10,0	63,97	11,18	13,51	1,38	0,24
Diab. Pó 2,5	32,83	5,74	4,41	0,70	0,23
Diab. Pó 5,0	37,38	7,01	7,23	0,94	0,23
Diab. Pó 10,0	48,75	5,55	5,83	0,89	0,22
CV(%)	20,64	54,95	16,81	24,52	34,63
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	187,85**	125,12**	84,59**	46,56**	40,79**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	182,42**	124,29**	83,93**	46,27**	40,29**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	178,84**	124,05**	82,94**	46,37**	40,78**
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	156,84**	121,08**	81,30**	45,83**	39,20**
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	187,97**	126,52**	85,58**	46,51**	41,02**
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	183,43**	125,24**	84,47**	46,27**	40,60**
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	172,06**	126,71**	84,15**	46,32**	40,34**
Controle x Diab. Fil. 2,5	-5,43 ^{ns}	-0,83 ^{ns}	-0,67 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,49 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	-9,01 ^{ns}	-1,07 ^{ns}	-1,65 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	-31,01*	-4,04 ^{ns}	-3,29 ^{ns}	-0,73 ^{ns}	-1,59 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 2,5	0,12 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,99 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 5,0	-4,43 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 10,0	-15,80 ^{ns}	1,59 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,45 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Ao realizar o contraste ortogonais comparando a média do controle com as médias da aplicação de pó de rocha de diabásio nas diferentes doses e ambas as granulometrias, somente o acumulado de nitrogênio na dose 10 Mg ha⁻¹ de diabásio, na granulometria filler diferiu. O acumulado de macronutrientes leva em consideração a produção de massa seca da parte aérea, e conforme a tabela 3, a aplicação de diabásio na dose 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler apresentou uma produção numericamente superior ao controle, porém diferiu estatisticamente somente a 10% (dados não mostrados).

6.4 APLICAÇÃO DIABÁSIO NO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

6.4.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Diabásio em diferentes tempos de incubação

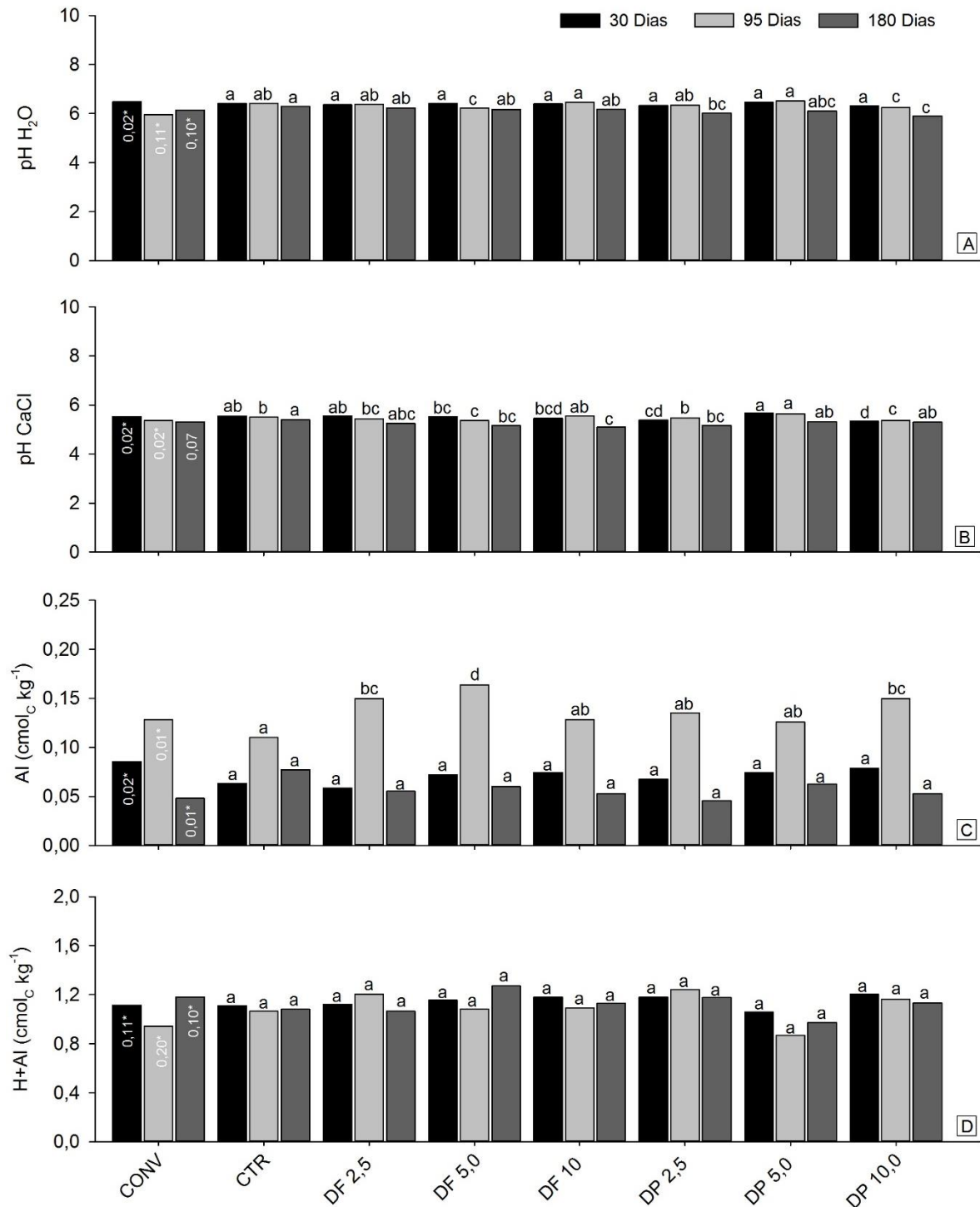
Após o período de incubação (30 dias) não houve diferença nos valores de pH em água e em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, Al trocável e H+Al em relação ao controle para a maioria dos tratamentos submetidos à aplicação de diabásio, independentemente da dose e da granulometria utilizada (Figura 6A/B/C/D). Esses resultados indicam que houve pouca contribuição do pó dessa rocha para a melhoria das características químicas desse solo, provavelmente devido ao elevado pH inicial do solo e, também, pelo baixo potencial da mesma em liberar nutrientes para o solo, associado a pouca atividade biológica deste solo, que aumenta a solubilização dos pós de rocha (BURGHELEA et al., 2015).

Aos 95 dias, verificou-se diferença significativa tanto no pH em água, quanto o pH em solução salina, sendo inferior no tratamento com diabásio 5 Mg ha^{-1} na granulometria filler, em relação ao controle. A diferença foi de 0,18 e 0,14 unidades de pH para pH em água e solução salina, respectivamente. O tratamento com diabásio 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó apresentou o maior valor de pH e diferiu com relação ao tratamento com mesma dose na granulometria filler, sendo maior em 0,27 e 0,28 unidades de pH, em água e solução salina, respectivamente.

Aos 180 dias verificou-se que os valores de pH em água e em solução salina foi menor no tratamento com diabásio na dose 10 Mg ha^{-1} , na granulometria filler. Contudo, essa diferença em relação ao controle foi de 0,4 e 0,3 unidades para pH em água e solução salina, respectivamente.

A diferença apresentada não é limitante para as culturas agrícolas, sendo que os valores de pH se mantiveram na faixa de 5,5-6,0, considerado adequado para maiorias das culturas agrícolas, conforme preconizado pela Comissão de Química e Fertilidade dos Solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2016).

Figura 6- Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl₂; Al³⁺; H+Al) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; DF = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); DP = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

O teor de Al^{3+} (Figura 6C) foi menor no tratamento com diabásio na dose 5 Mg ha^{-1} na granulometria filler aos 95 dias, e aos 180 dias, os valores de Al^{3+} não diferiram entre os tratamentos.

A acidez potencial (H+Al) não diferiu entre os tratamentos (Figura 6D) no tempo, devido este solo se encontrar na faixa ideal de pH para cultivo agrícola conforme CQFS RS/SC (2016), com baixos teores de Al^{3+} .

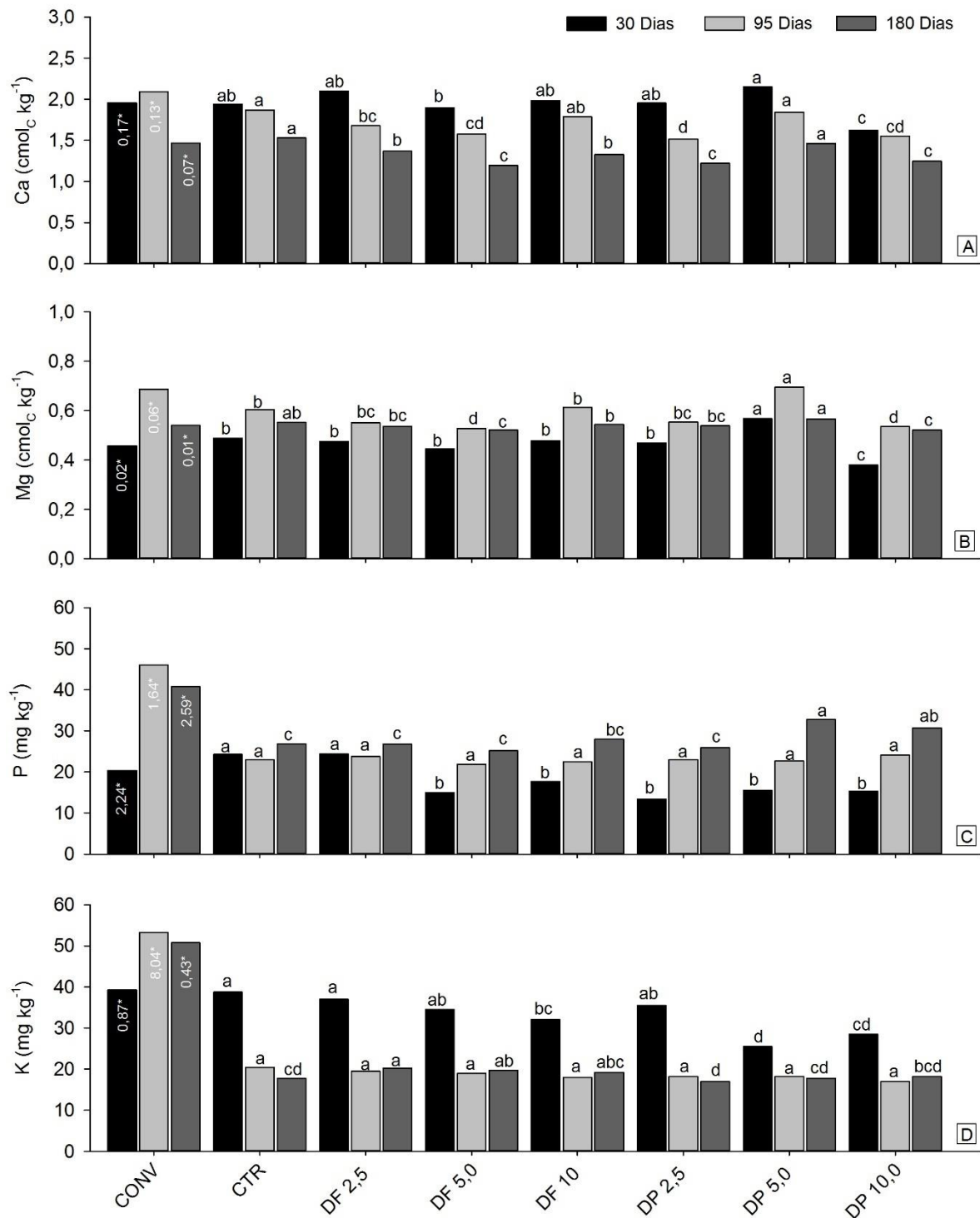
Os teores de Ca^{2+} (Figura 7A) neste solo se encontravam em baixa disponibilidade ($<2,0 \text{ cmol}_c/\text{kg}$), conforme CQFS-RS/SC (2016), e verificou-se que aos 30 dias os tratamentos diferiram, entretanto, houve uma redução $0,32 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ de Ca^{2+} com a aplicação do tratamento diabásio na dose 10 Mg ha^{-1} na granulometria pó em relação ao controle, enquanto que os demais tratamentos não diferiram entre si (Figura 7A). Efeitos semelhante também foram observados aos 95 e 180 dias, sendo que os tratamentos com diabásio na dose 2,5 e 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó e filler, diferiram do controle, sendo, respectivamente, $0,32$ e $0,34 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Ca^{2+} inferior ao controle. Esse efeito pode estar associado a redução no valor de pH (conforme visto anteriormente), afetando a disponibilidade Ca^{2+} (CAIRES et al., 2008).

Os teores de Mg^{2+} , no tratamento com diabásio na dose 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó foi superior aos demais tratamentos, ao longo dos 30, 95 e 180 dias (Figura 7B). Os teores de magnésio ao longo dos 180 dias variaram entre 0,4 e $0,7 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ e, conforme CQFS RS/SC (2016), a classe de disponibilidade destes teores é de baixa a média.

Os teores de P não diferiram entre os tratamentos (Figura 7C) nos 30 e 95 dias, entretanto, aos 180 dias os tratamentos com diabásio nas doses 5 e 10 Mg ha^{-1} na granulometria pó diferiram em relação aos demais tratamentos. Contudo, esse aumento no teor de fósforo deve ser observado com cautela, devido a solubilização de minerais primários pelo extrator Mehlich-1 (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998).

O potássio (Figura 7D) variou aos 30 e 95 dias, sendo inferiores nos tratamentos com aplicação do pó de rocha diabásio em relação ao controle. Já aos 180 dias, não foi observada essa tendência, e os teores diferiram, sendo maior no tratamento com aplicação da dose $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na granulometria filler, contudo, foi superior a $2,5 \text{ mg de K kg}^{-1}$, não caracterizando mudança substancial, já que para maioria dos teores de K^+ (exceto aos 30 dias) se enquadram na classe de disponibilidade muito baixa (CQFS RS/SC, 2016).

Figura 7 - Atributos químicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; P; K^+) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha diabásio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; DF = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}); DP = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}).

Conforme os dados apresentados nas figuras 6 e 7, verificou-se que a aplicação de diabásio ao Neossolo Quartzarênico não promoveu melhoria nas propriedades químicas do solo, devido à baixa solubilização desta rocha. Isso está associado ao fato desse solo apresentar pH elevado, que dificulta a solubilização do pó de rocha, além do baixo teor de matéria orgânica.

6.4.2 Produção de matéria seca das plantas de soja

Não houve diferença entre os tratamentos com pó de rocha diabásio, comparado ao sistema convencional (somente utilização de P e K, conforme citado anteriormente para o Neossolo Quartzarênico (Tabela 8). Esse resultado não era esperado, pois foi utilizada uma adubação três vezes maior de P e K no sistema convencional, e mesmo assim, não diferiu do controle e nem dos tratamentos com aplicação do pó de rocha de diabásio. Porém, esse comportamento pode estar associado à boa fertilidade deste solo, que não apresenta teores de Al^{3+} expressivos, não exercendo assim toxicidade às raízes, além disso o pH deste solo na condição natural era adequado para cultivo agrícola, conforme apresentado anteriormente.

Na comparação do sistema convencional com a aplicação de diabásio nas diferentes doses e tratamentos (2,5, 5,0 e 10 $Mg\ ha^{-1}$ em ambas granulometrias, filler ou pó), para a produção de MSR não foi verificado efeito significativo (Tabela 8). Entretanto, o tratamento de 10 $Mg\ ha^{-1}$ de diabásio, na granulometria denominada pó, apresentou produção de MST inferior ao tratamento convencional.

Ao comparar as médias do controle com as médias dos tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio nas diferentes doses e granulometrias, estes apresentaram efeito significativo na produção MSR e MST na dose 5,0 $Mg\ ha^{-1}$ da granulometria pó, que apresentou médias superiores em relação ao controle (Tabela 8). Efeito semelhante foi encontrado na produção de MSPA que apresentou média superior ao controle, entretanto não houve diferença significativa.

Tabela 8 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Neossolo Quartzarênico, em casa de vegetação.

TRATAMENTO	MSPA	MSR	MST
	----- g vaso ⁻¹ -----		
Controle	7,93	2,08	10,01
Sistema Conv.	8,21	2,40	10,62
Diab. Fil. 2,5	8,39	2,32	10,71
Diab. Fil. 5,0	8,00	2,31	10,31
Diab. Fil. 10,0	7,89	2,18	10,07
Diab. Pó 2,5	8,36	2,24	10,59
Diab. Pó 5,0	8,54	2,66	11,19
Diab. Pó 10,0	7,30	2,10	9,40
CV(%)	8,72	10,24	8,07
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais			
Sistema Conv. x Controle	0,29 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	-0,18 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	0,21 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	0,33 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	-0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	-0,32 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,58 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	0,91 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,22*
Controle x Diab. Fil. 2,5	-0,47 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,70 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	-0,07 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,30 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	0,04 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 2,5	-0,43 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,58 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 5,0	-0,61 ^{ns}	-0,58*	-1,19*
Controle x Diab. Pó 10,0	0,62 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,61 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

6.4.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja

O teor de N nas plantas de soja evidenciou que houve somente significância na comparação sistema convencional com o tratamento diabásio 5,0 Mg ha⁻¹ granulometria pó (Tabela 9). Já para o teor de P, K, Ca e Mg, quando se comparou o sistema convencional com os tratamentos com diabásio nas diferentes doses e granulometrias verificou-se diferenças, sendo superior no tratamento sistema convencional, exceto para o teor de Mg, quando comparado ao tratamento diabásio 5 Mg ha⁻¹ na granulometria pó, que não apresentou diferença.

Tabela 9 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Neossolo Quartzarênico.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Controle	1,10	0,40	0,88	0,69	0,44
Sistema Conv.	1,03	0,62	1,67	0,86	0,37
Diab. Fil. 2,5	0,95	0,32	0,79	0,77	0,42
Diab. Fil. 5,0	0,90	0,26	0,68	0,73	0,43
Diab. Fil. 10,0	1,00	0,43	0,63	0,75	0,44
Diab. Pó 2,5	1,07	0,38	0,62	0,69	0,40
Diab. Pó 5,0	1,29	0,37	0,63	0,69	0,50
Diab. Pó 10,0	1,05	0,34	0,58	0,75	0,45
CV(%)	15,77	10,61	11,03	7,68	6,04
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	-0,07 ^{ns}	0,22 ^{**}	0,79 ^{**}	0,16 ^{**}	-0,07 ^{**}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	0,07 ^{ns}	0,30 ^{**}	0,88 ^{**}	0,09 [*]	-0,05 [*]
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	0,12 ^{ns}	0,36 ^{**}	0,98 ^{**}	0,12 [*]	-0,06 ^{**}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	0,03 ^{ns}	0,19 ^{**}	1,04 ^{**}	0,10 [*]	-0,07 ^{**}
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	-0,04 ^{ns}	0,24 ^{**}	1,05 ^{**}	0,17 ^{**}	-0,02 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	-0,27 [*]	0,25 ^{**}	1,03 ^{**}	0,17 ^{**}	-0,12 ^{**}
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	-0,03 ^{ns}	0,28 ^{**}	1,08 ^{**}	0,11 [*]	-0,08 ^{**}
Controle x Diab. Fil. 2,5	0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	0,20 ^{ns}	0,15 ^{**}	0,19 [*]	-0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	0,10 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,25 ^{**}	-0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 2,5	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,26 ^{**}	0,00 ^{ns}	0,05 [*]
Controle x Diab. Pó 5,0	-0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,24 ^{**}	0,00 ^{ns}	-0,06 ^{**}
Controle x Diab. Pó 10,0	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,30 ^{**}	-0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Como visto anteriormente, a produção de MSPA, MSR e MST não foi influenciada pela adubação de P e K (Tabela 9), entretanto, o teor de P, K, Ca e Mg nas plantas de soja aumentou, isso evidenciou que a adição de fertilizantes no tratamento sistema convencional forneceu nutrientes rapidamente a solução do solo, e favoreceu a absorção de Ca e Mg pelas plantas.

Na comparação controle com os tratamentos com aplicação de diabásio, o teor de P apresentou diferença, sendo encontrado maior valor no controle, comparado ao tratamento com 5 Mg ha⁻¹ de diabásio na granulometria filler (Tabela 9). O teor de Mg foi maior com aplicação de 5 Mg ha⁻¹ de diabásio na granulometria pó, em relação ao controle.

6.4.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja

Houve diferença para o acumulado de N no tratamento diabásio na dose 5 Mg ha⁻¹ na granulometria pó, comparado com as médias do tratamento controle e/ou

sistema convencional (Tabela 10). Isso ocorreu devido à produção de MSPA ser maior no tratamento diabásio na dose 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó (Tabela 8), porém não diferiu dos demais tratamentos, entretanto, o acumulado dos macronutrientes leva em consideração o teor e a produção da MSPA, assim foi possível constatar o efeito significativo.

Comparando os tratamentos com aplicação de pó de rocha diabásio com o sistema convencional para o acumulado de P, K e Ca, verificou-se que houve diferença significativa, exceto para Ca, no tratamento diabásio na dose $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na granulometria filler (Tabela 10). O maior acumulado destes nutrientes ocorreu no sistema convencional, devido a aplicação dos fertilizantes P e K na forma solúvel, que estavam prontamente disponíveis na solução do solo, favorecendo a absorção destes nutrientes pelas plantas de soja, conforme os dados dos teores de P, K e Ca. Seguindo na mesma comparação, o acumulado de Mg apresentou somente diferença quando comparado ao tratamento diabásio na dose 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó, devido a produção de MSPA, conforme citado acima.

Com relação a comparação das médias do controle com os tratamentos com pó de rocha diabásio, na análise de contraste ortogonais verificou-se que não apresentou diferença para o Ca e que houve diferença para o acumulado de N e Mg quando comparado ao tratamento diabásio na dose 5 Mg ha^{-1} na granulometria pó, apresentando maior acúmulo em mg vaso^{-1} destes nutrientes, devido a produção de MSPA neste tratamento, conforme citado anteriormente.

O acumulado de P apresentou média superior no tratamento com dose 10 Mg ha^{-1} de diabásio na granulometria filler em relação ao controle. Na dose $2,5$ e 5 Mg ha^{-1} da granulometria filler e dose 10 Mg ha^{-1} da granulometria pó os resultados foram inferiores ao controle. As demais doses não apresentaram diferença em relação ao controle. No acúmulo de K verificou-se que o controle apresentou valores maiores em relação aos tratamentos diabásio na dose 10 Mg ha^{-1} tanto na granulometria filler, quanto na granulometria pó.

Tabela 10 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg vaso ⁻¹ -----				
Controle	87,34	31,71	69,51	54,55	35,07
Sistema Conv.	83,78	50,71	137,43	69,78	30,82
Diab. Fil. 2,5	79,98	26,81	66,34	64,69	35,41
Diab. Fil. 5,0	72,36	20,41	54,67	58,44	34,37
Diab. Fil. 10,0	78,72	33,73	49,50	59,61	34,78
Diab. Pó 2,5	90,20	31,49	51,59	57,55	33,30
Diab. Pó 5,0	110,95	31,43	54,38	58,69	42,88
Diab. Pó 10,0	77,15	24,71	42,24	54,34	32,79
CV(%)	19,54	10,01	18,72	10,86	10,88
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	-3,56 ^{ns}	19,00 ^{**}	67,92 ^{**}	15,23 [*]	-4,25 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 2,5	3,80 ^{ns}	23,89 ^{**}	71,09 ^{**}	5,09 ^{ns}	-4,59 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 5,0	11,42 ^{ns}	30,30 ^{**}	82,76 ^{**}	11,34 [*]	-3,55 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Fil. 10,0	5,06 ^{ns}	16,97 ^{**}	87,92 ^{**}	10,18 [*]	-3,96 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 2,5	-6,42 ^{ns}	19,23 ^{**}	85,83 ^{**}	12,24 [*]	-2,47 ^{ns}
Sistema Conv. x Diab. Pó 5,0	-27,17 [*]	19,28 ^{**}	83,05 ^{**}	11,09 [*]	-12,06 ^{**}
Sistema Conv. x Diab. Pó 10,0	6,63 ^{ns}	26,01 ^{**}	95,19 ^{**}	15,44 [*]	-1,97 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 2,5	7,37 ^{ns}	4,90 [*]	3,17 ^{ns}	-10,14 [*]	-0,34 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 5,0	14,98 ^{ns}	11,30 ^{**}	14,84 ^{ns}	-3,88 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Controle x Diab. Fil. 10,0	8,62 ^{ns}	-2,02 ^{ns}	20,01 [*]	-5,05 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 2,5	-2,86 ^{ns}	0,23 ^{ns}	17,92 [*]	-2,99 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Controle x Diab. Pó 5,0	-23,61 [*]	0,28 ^{ns}	15,13 ^{ns}	-4,14 ^{ns}	-7,81 [*]
Controle x Diab. Pó 10,0	10,19 ^{ns}	7,00 [*]	27,27 [*]	0,21 ^{ns}	2,28 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Diab. Fil = Diabásio filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Diab. Pó = Diabásio pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Considerando os resultados dos efeitos do pó de rocha diabásio aplicados no Neossolo quartzarenico, não apresentou eficiência agronomica, pois não foi eficiente para aumentar os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, P e K⁺ de forma satisfatória, não apresentando efeito desejado na cultura da soja. Ressaltando que este solo apresenta a particularidade de ser um solo arenoso, e com baixo teor de matéria orgânica, que dificulta a solubilização de pó de rocha.

6.5 APLICAÇÃO NEFELINA-SIENITO NO ARGISSOLO VERMELHO

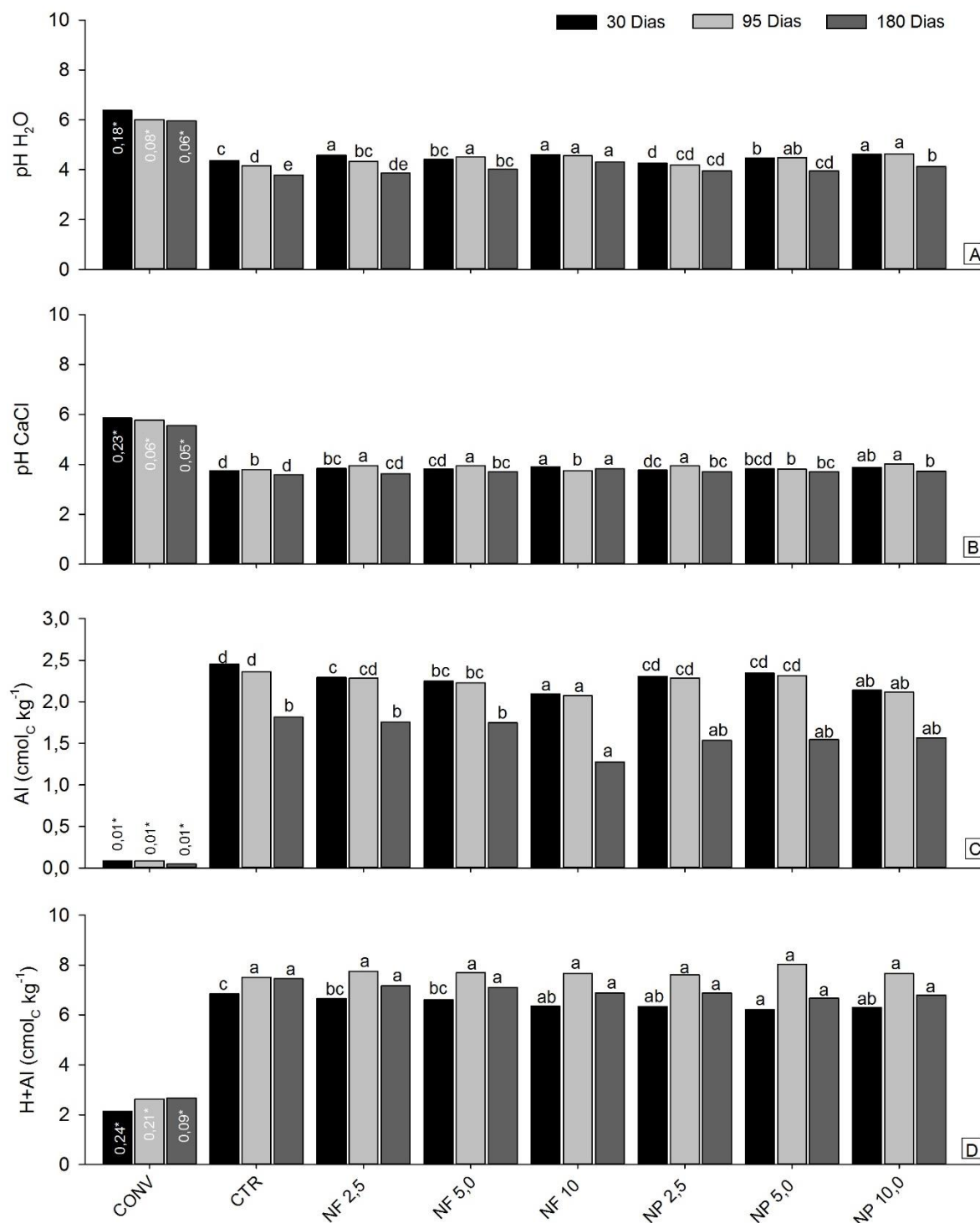
6.5.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Nefelina-sienito em diferentes tempos de incubação

Nos tratamentos submetidos à calagem e à adubação com fertilizantes solúveis, verificou-se que os valores do pH em água, pH em solução salina (Figura 8) e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^{+} aumentaram (Figuras 9) e concomitantemente diminuíram os teores de Al^{3+} trocável, em relação ao tratamento controle (Figura 8). Isso ocorreu devido à calagem elevar o pH e reduzir o Al trocável.

Além disso, verificou-se que tanto os valores de pH em água, quanto na solução salina aumentaram de acordo com as doses de pó de rocha nefelina (Figura 8 A,B). Os valores diferiram aos 30 dias, com aumento de 0,2 unidades para pH em água comparado ao controle, este aumento ocorreu nas doses 10 Mg ha^{-1} na granulometria filler e pó. Aos 95 dias e 180 dias, esse aumento ficou em torno em 0,5 unidades de pH, para as maiores doses, tanto na granulometria filler quanto pó. Com relação ao pH em solução salina, o aumento foi inferior comparado ao pH em água, mas de maneira geral foi 0,25 unidades de pH nas maiores doses em relação ao controle. Porém, o aumento nos valores de pH não foi suficiente para elevar ao patamar ideal do ponto vista agrícola (pH em torno 5,5 a 6,0), contudo, foi possível observar redução nos valores de Al^{+} (Figura 8C).

Houve redução do Al^{+} em função da aplicação do pó de nefelina à medida que aumentaram as doses. A maior redução foi nos tratamentos com dose 10 Mg ha^{-1} na granulometria filler e pó, em relação aos demais tratamentos com nefelina e o controle (Figura 8C). Observou-se que a diferença ocorreu tanto aos 30, quanto aos 95 e 180 dias. Isso mostra a eficiência do pó de rocha em reduzir a acidez do solo. Sua eficiência poderá ser aumentada se associado a adubação orgânica, que propicia aumento na solubilização dos minerais (DE SOUZA et al., 2013; MITSUHIRO et al., 2014).

Figura 8 - Atributos químicos (pH H₂O; pH CaCl; Al³⁺; H+Al) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina sienito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; NF = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); NP = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

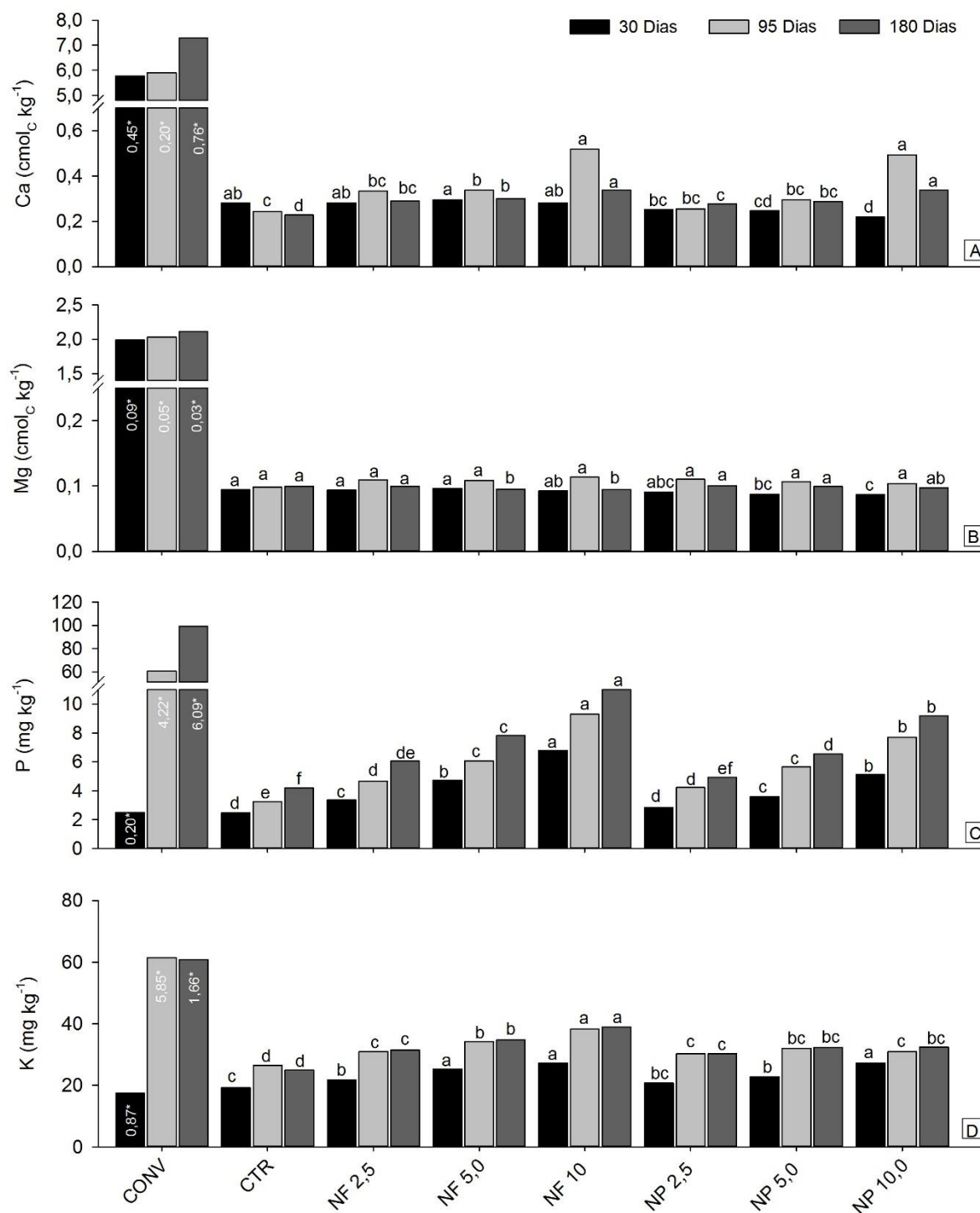
Houve uma redução a acidez potencial (H+Al) aos 30 dias nos tratamentos com a granulometria pó e aos 95 e 180 dias, os teores não diferiram entre os tratamentos com a utilização da nefelina em relação ao controle (Figura 8D).

Os teores de Ca^{2+} aos 30 dias não apresentaram nenhuma mudança substancial com aplicação de nefelina (Figura 9A). Aos 95 e 180 dias, observou-se que os teores diferiram, sendo maior no tratamento com dose 10 Mg ha^{-1} de nefelina, tanto na granulometria filler como na pó (Figura 9A). Mesmo havendo o aumento do Ca^{2+} com a utilização da nefelina nas diferentes doses e granulometrias, observou-se que eles ficaram abaixo do nível crítico ($4 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$) estabelecido na CQFS RS/SC (2016).

Os teores de Mg^{2+} não modificaram com os tratamentos contendo nefelina, isso está associado ao baixo teor elementar (1,42%) de magnésio na rocha, que não proporcionou sua solubilização e posterior liberação para a solução do solo (Figura 9B). Os teores de P (Figura 9C) diferiram nos tratamentos com nefelina, em relação ao controle. Nos tratamentos com o pó de rocha nefelina os teores de P aumentaram no decorrer do tempo, podendo ser atribuído à liberação deste elemento pela rocha, notadamente nos tratamentos onde foram aplicados o pó na granulometria filler. Este comportamento também foi observado, em menor magnitude, nos tratamentos com o pó. Contudo essa diferença pode estar associada ao extrator Mehlich-1, que pode dissolver certos minerais contendo P, como a apatita, mesmo em pequena quantidade (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998).

Destaca-se o efeito positivo da nefelina na liberação de K (Figura 9D), pois independentemente da granulometria e da dose utilizada, verificou-se que os teores desse elemento aumentaram no solo em todos os tempos (30, 95 e 180 dias). O aumento foi superior na dose 10 Mg ha^{-1} na granulometria filler, em que os teores de K aumentaram de 25 mg kg^{-1} no controle para 39 mg kg^{-1} no tratamento 10 Mg ha^{-1} de nefelina. Esse aumento foi suficiente para enquadrar no limite da classe de disponibilidade de potássio, de baixo para médio (CQFS RS/SC, 2016).

Figura 9 - Atributos químicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; P; K^+) do Argissolo Vermelho avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; NF = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}); NP = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}).

Estudos realizados por Bakken et al., 2000; Bakken; Gautneb; Myhr, 1997; Manning, 2018) evidenciaram que a solubilização de K a partir de nefelinas foi satisfatória no ponto de vista agrícola, podendo as rochas que apresentam altos conteúdos de nefelina serem utilizadas como remineralizadores, mediante estudos preliminares para atestar sua eficiência.

6.5.2 Produção de matéria seca das plantas de soja

A produção de MSPA das plantas de soja cultivado no Argissolo Vermelho não apresentou diferença quando comparado ao controle, independentemente da dose e da granulometria do pó da rocha nefelina utilizada (Tabela 11). Entretanto, ao comparar o sistema convencional (calagem + adubação de P e K solúveis) aos tratamentos com aplicação de pó de rocha de diabásio, houve diferença significativa a 1%, sendo a produção de matéria seca superior no sistema convencional.

Tabela 11 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Argissolo Vermelho distrófico sômbrico, em casa de vegetação.

TRATAMENTO	MSPA	MSR	MST
	----- g vaso ⁻¹ -----		
Controle	0,62	0,42	1,04
Sistema Conv.	8,39	2,35	10,74
Nef. Fil. 2,5	1,18	0,64	1,81
Nef. Fil. 5,0	0,96	0,43	1,39
Nef. Fil. 10,0	1,40	0,54	1,94
Nef. Pó 2,5	1,15	0,67	1,81
Nef. Pó 5,0	0,92	0,55	1,47
Nef. Pó 10,0	1,43	1,05	2,48
CV(%)	21,00	24,52	19,64
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais			
Sistema Conv. x Controle	7,77**	1,93**	9,70**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	7,21**	1,71**	8,93**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	7,43**	1,92**	9,34**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	6,98**	1,81**	8,79**
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	7,24**	1,68**	8,93**
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	7,47**	1,80**	9,27**
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	6,96**	1,30**	8,26**
Controle x Nef. Fil. 2,5	-0,56 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,77 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 5,0	-0,34 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,36 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 10,0	-0,79 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,90*
Controle x Nef. Pó 2,5	-0,53 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,77 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 5,0	-0,31 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,43 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 10,0	-0,81 ^{ns}	-0,63**	-1,44**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

A produção de MSR e MST, na comparação sistema convencional com os tratamentos com aplicação de nefelina, houve diferença, e o tratamento convencional apresentou as maiores médias de produção (Tabela 11), devido a correção da acidez e da adubação com P e K.

Na comparação da média do controle com as médias dos tratamentos com aplicação de nefelina nas diferentes doses e granulometrias, verificou-se que houve diferença significativa para a produção de MSR no tratamento nefelina 10 Mg ha⁻¹ na granulometria pó (Tabela 11), e que os demais tratamentos com nefelina apresentaram médias superiores, porém não apresentaram efeito significativo.

Na MST, nos tratamentos controle em relação aos tratamentos com aplicação de nefelina, houve diferença significativa somente no tratamento 10 Mg ha⁻¹ de nefelina, tanto na forma filler, quanto pó.

Esses resultados evidenciam que o pó da rocha nefelina-sienito é promissora como remineralizador de solos, uma vez que proporcionou melhoria tanto nas características químicas do solo, como na produção das plantas. Deve-se considerar também o efeito da liberação destes nutrientes ao longo do tempo, uma vez que em houve aumento no decorrer dos dias principalmente do P e do K⁺. Em relação aos outros nutrientes, pode-se presumir que a rocha liberou os mesmos na solução do solo e foram prontamente absorvidos pelas plantas (Tabela 12).

6.5.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja

Houve diferença para o teor de nitrogênio nas plantas de soja. Ao comparar a média do sistema convencional com a média do controle e as médias com aplicação de pó da rocha nefelina, observou-se que o tratamento controle e os tratamentos com nefelina apresentaram médias superiores em relação ao sistema convencional (Tabela 12). Neste caso, a diluição deste nutriente ocorreu nos tratamentos submetidos à calagem, visto que apresentaram maior potencial produtivo. Conforme as plantas produzem uma maior quantidade de massa, onde o N se dilui (MARTINS et al., 2017; SCHLEGEL; HAVLIN, 2017).

Os teores dos macronutrientes P, Ca e Mg no tratamento sistema convencional, comparado os tratamentos com aplicação de nefelina e ao controle, houve diferença,

onde as teores foram superiores no tratamento convencional (Tabela 10). O teor de N dos tratamentos com aplicação de nefelina 2,5 Mg ha⁻¹ na granulometria pó apresentou média inferior ao tratamento controle. Já para o teor de P tanto o tratamento convencional quanto o controle apresentaram médias superiores à aplicação de nefelina.

Tabela 12 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Argissolo Vermelho.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Controle	5,16	1,17	0,71	0,09	0,26
Sistema Conv.	2,44	1,51	0,97	0,57	0,55
Nef. Fil. 2,5	5,26	0,73	0,74	0,09	0,20
Nef. Fil. 5,0	5,70	0,76	1,00	0,10	0,24
Nef. Fil. 10,0	5,41	0,78	0,97	0,11	0,22
Nef. Pó 2,5	4,49	0,63	0,64	0,07	0,21
Nef. Pó 5,0	5,14	0,71	0,79	0,16	0,27
Nef. Pó 10,0	4,62	0,35	0,77	0,11	0,22
CV(%)	9,05	21,58	14,54	24,48	12,28
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	-2,71**	0,34*	0,26**	0,48**	0,29**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	-2,82**	0,77**	0,23*	0,48**	0,34**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	-3,25**	0,75**	-0,03ns	0,47**	0,30**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	-2,97**	0,72**	-0,01ns	0,45**	0,32**
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	-2,05**	0,88**	0,33**	0,49**	0,34**
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	-2,70**	0,79**	0,18*	0,40**	0,28**
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	-2,18**	1,15**	0,19*	0,46**	0,33**
Controle x Nef. Fil. 2,5	-0,10ns	0,43**	-0,04ns	0,00ns	0,05*
Controle x Nef. Fil. 5,0	-0,58ns	0,41**	-0,29**	-0,01ns	0,01ns
Controle x Nef. Fil. 10,0	-0,25ns	0,38**	-0,26**	-0,02ns	0,03ns
Controle x Nef. Pó 2,5	0,66*	0,54**	0,07ns	0,01ns	0,05ns
Controle x Nef. Pó 5,0	0,01ns	0,45**	-0,08ns	-0,07*	-0,01ns
Controle x Nef. Pó 10,0	0,53ns	0,81**	-0,07ns	-0,02ns	0,04ns

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

O teor de K no tecido da soja, foi maior nos tratamentos com aplicação 5 e 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler em relação ao controle (Tabela 12), os demais tratamentos apresentaram médias numericamente superiores, porém não apresentaram diferença estatística. Isso corrobora com os dados obtidos do K⁺ disponível, avaliado no solo (Figura 9D), que diferiram com a aplicação de nefelina, e tal efeito também foi observado nos teores nas plantas de soja. O teor de Ca na soja apresentou diferença no tratamento com aplicação de 5 Mg ha⁻¹ de nefelina, na

granulometria pó e o teor de Mg apresentou diferença no tratamento 2,5 ha⁻¹ de nefelina na granulometria filler, ambos foram superiores ao controle.

6.5.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja

O acumulado dos macronutrientes na parte aérea da soja foi maior no tratamento sistema convencional comparado aos tratamentos com pó de nefelina (Tabela 13). Isso ocorreu devido a correção da acidez neste solo, além da adubação com P e K no tratamento convencional.

Tabela 13 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação em Argissolo Vermelho.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg vaso ⁻¹ -----				
Controle	32,36	7,18	4,50	0,48	1,52
Sistema Conv.	204,90	127,05	81,29	47,39	46,13
Nef. Fil. 2,5	61,31	8,92	9,16	0,99	2,41
Nef. Fil. 5,0	55,36	7,60	9,54	0,94	2,35
Nef. Fil. 10,0	74,95	11,15	13,51	1,42	3,01
Nef. Pó 2,5	51,62	7,33	7,32	0,86	2,40
Nef. Pó 5,0	47,69	6,41	7,23	1,45	2,46
Nef. Pó 10,0	65,72	5,07	11,08	1,54	3,12
CV(%)	24,58	55,52	26,54	19,22	38,08
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	172,54**	119,87**	76,80**	46,91**	44,61**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	143,59**	118,13**	72,13**	46,40**	43,72**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	149,54**	119,44**	71,75**	46,44**	43,77**
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	129,95**	115,89**	67,77**	45,97**	43,12**
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	153,28**	119,72**	73,96**	46,52**	43,72**
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	157,22**	120,64**	74,06**	45,93**	43,67**
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	139,19**	121,97**	70,21**	45,84**	43,00**
Controle x Nef. Fil. 2,5	-28,95*	-1,74 ^{ns}	-4,67 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,89 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 5,0	-23,00 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-5,04 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	-0,83 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 10,0	-42,59*	-3,97 ^{ns}	-9,02 ^{ns}	-0,94 ^{ns}	-1,49 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 2,5	-19,26 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-2,83 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,88 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 5,0	-15,32 ^{ns}	0,77 ^{ns}	-2,73 ^{ns}	-0,98 ^{ns}	-0,94 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 10,0	-33,35*	2,10 ^{ns}	-6,58 ^{ns}	-1,07 ^{ns}	-1,60 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Não houve diferença para o acúmulo de P, K, Ca e Mg na PA da cultura da soja entre o tratamento controle, e os tratamentos com aplicação de nefelina. O acumulado de N foi maior nos tratamentos com nefelina 2,5 e 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler, além do tratamento com nefelina com 10 Mg ha⁻¹ na granulometria pó. Apesar de não

apresentarem diferença estatística esses tratamentos apresentaram maiores médias de produção MSPA (Tabela 13) e maior teor de N, assim, quando o acumulado foi estimado (teor do nutriente x MSPA) observou-se maiores acúmulos de N nessas doses.

6.6 APLICAÇÃO NEFELINA-SIENITO NO NEOSSOLO QUARTARÊNICO

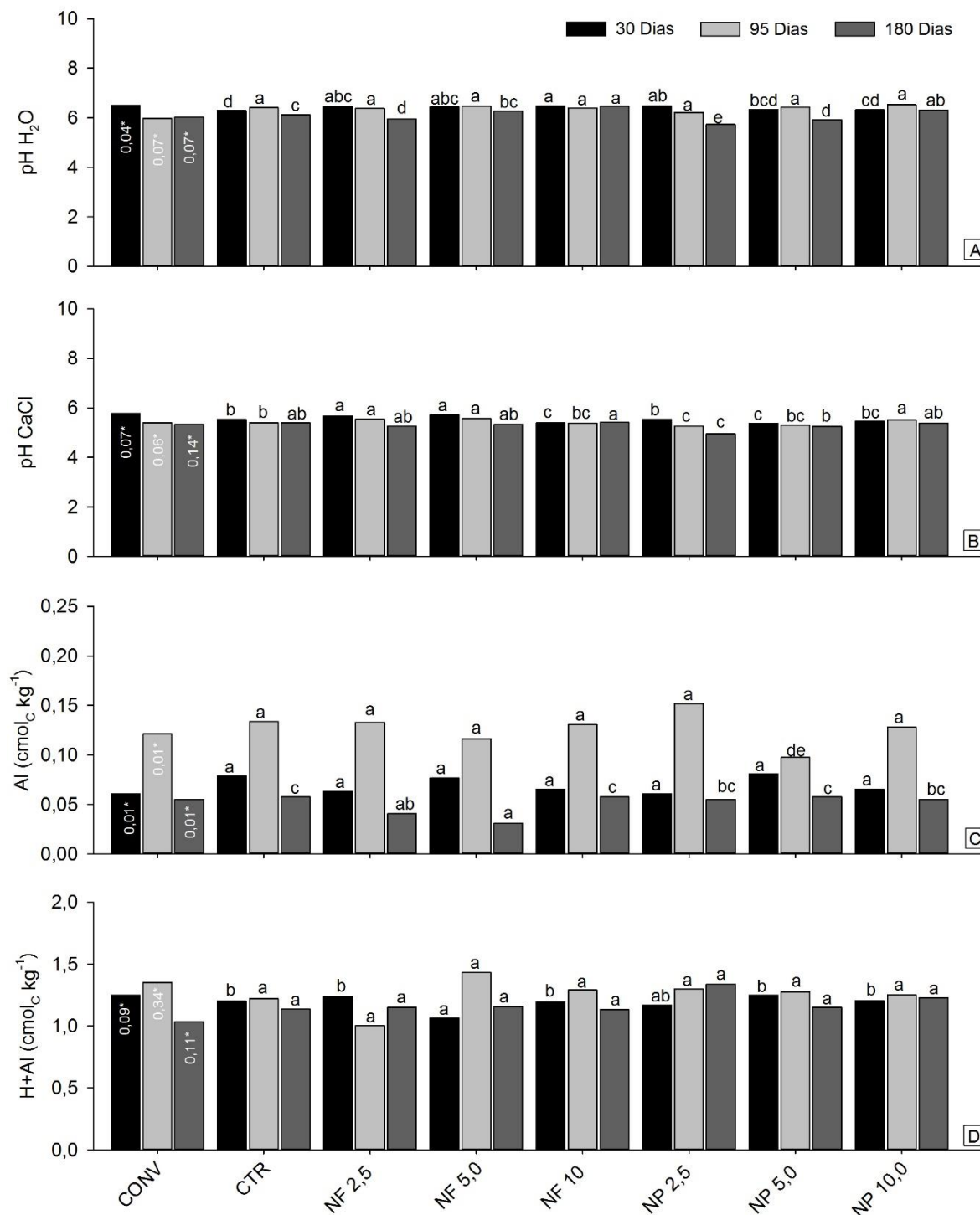
6.6.1 Características químicas dos solos submetidos aos tratamentos com o pó de rocha Nefelina-sienito em diferentes tempos de incubação

Com a utilização de fertilizantes solúveis, verificou-se que os teores de fósforo e potássio aumentaram no tratamento controle (Figura 11). Esse resultado era esperado, pois foi utilizado uma dosagem três vezes maior, conforme descrito no material e métodos. Nos tratamentos com nefelina, verificou-se diferença nos valores de pH em água, onde o maior aumento foi na dose 10 Mg ha⁻¹ de nefelina na granulometria filler aos 30 dias e 180 dias. A avaliação aos 95 dias não diferiu estatisticamente (Figura 10A). Entretanto, é importante ressaltar que, os valores de pH em água aos 180 dias foram inferiores aos de 95 dias, exceto no tratamento com nefelina na dose 10 Mg ha⁻¹ na granulometria filler (Figura 10A).

A diminuição do pH em experimentos em vasos pode ter ocorrido, segundo já mencionado, pelo aumento na concentração salina das amostras de solo, ocasionado pela adição de adubos solúveis de reação ácida, com a aplicação recente de adubos em geral e com o incremento na taxa de mineralização da MO das amostras. Tais efeitos são contornados pela determinação do pH em solução salina, onde os valores de pH nela determinados são pouco afetados pela relação solo:solução e pelo efeito salino. Além disso, a concentração do CaCl₂ utilizada não é muito diferente, em ordem de grandeza, das concentrações de solos de alta fertilidade ou bem adubados (RAIJ, 2011; ERNANI, 2016).

De maneira geral, os valores de Al³⁺ não reduziram aos 30 e 95 dias com os tratamentos de nefelina neste solo (Figura 10C). Já aos 180 dias os teores do Al³⁺ foram inferiores no tratamento com nefelina na dose 5 Mg ha⁻¹ na granulometria filler, entretanto esse efeito é considerado desprezível, pois os teores já se encontravam abaixo do que pode ser considerado tóxico para as culturas agrícolas.

Figura10- Atributos químicos (pH H₂O, pH CaCl, Al³⁺, H+Al) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

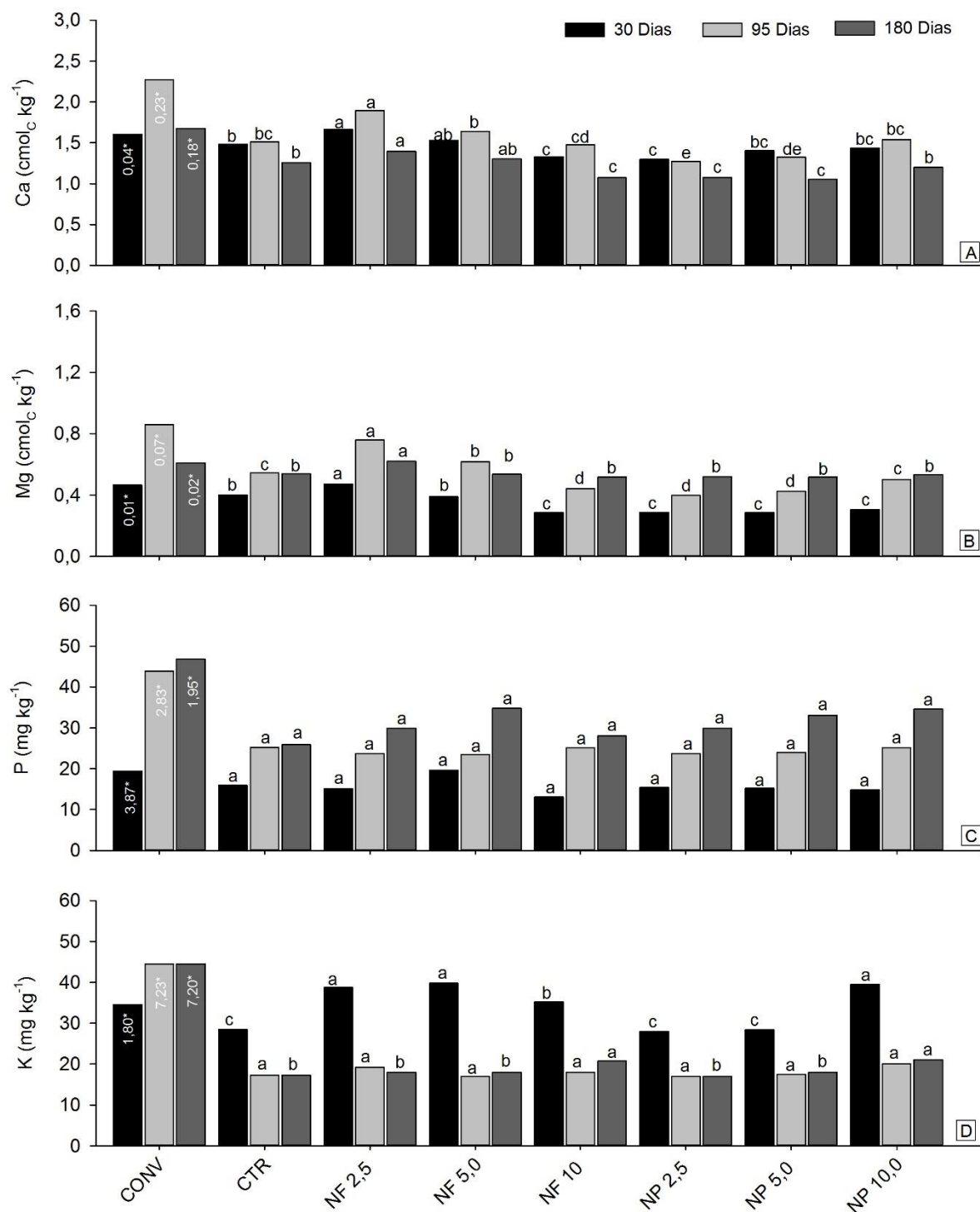
*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; NF = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); NP = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Os teores de H+Al, aos 30, 95 e 180 dias não alteraram a ponto que implique em mudanças substanciais (Figura 10D). Já aos 30 dias verificou-se que os tratamentos com nefelina na granulometria filler diferiram do controle, entretanto, essa diferença é considerada desprezível, além de não ser observada nos demais tempos de observação.

Os teores de Ca⁺ e Mg⁺ diferiram, aos 30, 95 e 180 dias. No geral, as maiores doses de nefelina apresentaram os menores teores de Ca⁺ e Mg⁺, sendo inferiores ao tratamento controle (Figura 11 A e B). O tratamento com nefelina na dose 2,5 Mg ha⁻¹ na granulometria filler foi o que apresentou os melhores resultados em todos os tempos de avaliação, em relação aos demais tratamentos.

Os teores de fósforo não diferiram nos tratamentos com nefelina em relação ao controle, não sendo observado diferença em nenhum dos tempos avaliados (Figura 11C). Os teores de potássio (Figura 11D), diferiram somente aos 30 dias, sendo superior nos tratamentos filler e na maior dose da granulometria pó.

Figura 11 - Atributos químicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; P; K^+) do Neossolo Quartzarênico avaliados no tempo 30, 95 e 180 dias de incubação com pó de rocha nefelina-sienito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Desvio Padrão. Letras Minúsculas diferem entre si nos tempos pelo Teste T a 5%. Conv - Tratamento Convencional; CTR – Controle; NF = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}); NP = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha^{-1}).

6.6.2 Produção de matéria seca das plantas de soja

Não houve diferença para a produção de MSR e MST quando comparada a média do sistema convencional com as dos tratamentos com nefelina, e o controle (Tabela 14). Na MSPA, comparando o controle com os tratamentos com aplicação nefelina, não houve diferença. Verificou-se diferença apenas no tratamento 5,0 Mg ha⁻¹ de nefelina na granulometria pó, o qual foi inferior ao sistema convencional.

Tabela 14 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca radicular (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de soja cultivadas no Neossolo Quartzarênico, em casa de vegetação.

TRATAMENTO	MSPA	MSR	MST
	----- g vaso ⁻¹ -----		
Controle	8,01	2,28	10,29
Sistema Conv.	8,88	2,17	11,05
Nef. Fil. 2,5	8,79	2,43	11,22
Nef. Fil. 5,0	8,86	2,36	11,22
Nef. Fil. 10,0	8,15	2,15	10,30
Nef. Pó 2,5	8,55	2,08	10,63
Nef. Pó 5,0	7,91	2,22	10,14
Nef. Pó 10,0	8,38	2,42	10,80
CV(%)	7,87	12,11	8,08
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais			
Sistema Conv. x Controle	0,87 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	0,09 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	0,02 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	0,73 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	0,97*	-0,06 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	0,50 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 2,5	-0,77 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,92 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 5,0	-0,85 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,93 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 10,0	-0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 2,5	-0,54 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,34 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 5,0	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 10,0	-0,37 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,51 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Para a produção de MSPA, MSR e MST não houve diferença, tanto para as doses, quanto para a granulometria das rochas (Tabela 14). Isso se deve principalmente à condição natural do solo, que apresentou baixo teor de argila, sendo classificado como arenoso.

6.6.3 Teores de macronutrientes nas plantas de soja

Ao avaliar os teores de macronutrientes na MSPA na cultura da soja, verificou-se que os teores de P e K foram superiores no sistema convencional, quando comparado aos tratamentos com nefelina e controle (Tabela 15). Isso ocorreu devido a fertilização com P e K no sistema convencional, conforme mencionado anteriormente.

Tabela 15 - Teores dos macronutrientes no tecido vegetal da parte aérea da cultura da soja, cultivada em casa de vegetação, em Argissolo Vermelho.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Controle	1,01	0,34	0,57	0,67	0,47
Sistema Conv.	1,14	0,68	1,50	0,80	0,38
Nef. Fil. 2,5	1,06	0,39	0,64	0,70	0,47
Nef. Fil. 5,0	1,01	0,35	0,67	0,83	0,46
Nef. Fil. 10,0	0,96	0,30	0,65	0,70	0,40
Nef. Pó 2,5	0,97	0,30	0,51	0,67	0,43
Nef. Pó 5,0	1,01	0,33	0,64	0,66	0,43
Nef. Pó 10,0	0,97	0,31	0,66	0,64	0,44
CV(%)	10,26	14,38	10,71	11,73	4,79
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	0,12 ^{ns}	0,33 ^{**}	0,93 ^{**}	0,13 [*]	-0,09 ^{**}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	0,08 ^{ns}	0,29 ^{**}	0,85 ^{**}	0,11 ^{ns}	-0,09 ^{**}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	0,12 ^{ns}	0,33 ^{**}	0,83 ^{**}	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{**}
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	0,17 [*]	0,38 ^{**}	0,85 ^{**}	0,10 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	0,17 [*]	0,38 ^{**}	0,99 ^{**}	0,13 [*]	-0,05 ^{**}
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	0,13 ^{ns}	0,34 ^{**}	0,85 ^{**}	0,14 [*]	-0,06 ^{**}
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	0,17 [*]	0,37 ^{**}	0,83 ^{**}	0,16 [*]	-0,06 ^{**}
Controle x Nef. Fil. 2,5	-0,04 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 5,0	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,15 [*]	0,01 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 10,0	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,07 ^{**}
Controle x Nef. Pó 2,5	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 5,0	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 [*]
Controle x Nef. Pó 10,0	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04 [*]

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

Em relação ao teor de N, seguindo a mesma comparação anterior, diferiu somente nos tratamentos com 10 Mg ha⁻¹ de nefelina, na granulometria filler, além dos tratamentos com 2,5 e 10 Mg ha⁻¹ na granulometria pó, os quais foram inferiores ao sistema convencional.

Diante da comparação das médias dos macronutrientes do tratamento sistema convencional com as médias do controle e dos tratamentos com aplicação de nefelina, verificou-se que houve diferença significativa do sistema convencional em relação ao

controle e também apresentou diferença ao analisar o sistema convencional com os tratamentos com nefelina na granulometria pó. Entretanto, não houve diferença ao comparar as médias do tratamento convencional às do tratamento com nefelina na granulometria filler.

A utilização de nefelina no neossolo aumentou o teor de Mg na parte aérea da soja, em relação ao sistema convencional, tanto com a utilização de granulometria filler, quanto pó. No entanto, o teor de Mg na soja diminuiu em relação ao controle, nas maiores doses de nefelina.

6.6.4 Acumulado de macronutrientes no tecido vegetal em plantas de soja

Os valores acumulados de P e K, foram superiores no sistema convencional (Figura 16). Esse resultado era esperado, devido a aplicação de fertilizantes P e K na forma solúvel que acabou resultando em maior teor absorvido pela planta e, conseqüentemente, maior acúmulo. Com relação ao acumulado de N e Ca na soja, o sistema convencional apresentou maior acumulado em relação com nefelina na dosagem 10 Mg ha⁻¹ granulometria filler e 5 Mg ha⁻¹ granulometria pó, os quais foram inferiores ao sistema convencional.

Não foram observadas diferença no N, P, K e Ca acumulado na soja entre os tratamentos controle e com doses de nefelina. Quando comparado a maior dose de nefelina (10 Mg ha⁻¹) com o controle, houve uma diminuição no teor de Mg independente da granulometria utilizada.

Muito provável que a lenta solubilização de ambas as rochas diabásio e nefelina-sienito no Neossolo Quartzarênico tenha se dado a pouca atividade biológica deste solo, por ser um solo com baixo teor de argila e pouca MO, que não favorece a solubilização das rochas (DE SOUZA et al., 2013; MITSUHIRO et al., 2014).

Tabela 16 - Acumulado de macronutrientes em mg vaso⁻¹ na cultura da soja, cultivada em casa de vegetação.

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg vaso ⁻¹ -----				
Controle	95,42	27,35	53,17	63,18	37,37
Sistema Conv.	101,57	60,09	132,13	70,91	31,13
Nef. Fil. 2,5	93,10	34,30	56,68	61,17	39,69
Nef. Fil. 5,0	89,69	30,78	58,88	73,82	36,61
Nef. Fil. 10,0	78,48	24,21	52,82	57,30	31,95
Nef. Pó 2,5	82,94	25,47	43,27	57,41	36,09
Nef. Pó 5,0	79,66	26,32	50,72	52,36	37,03
Nef. Pó 10,0	81,30	25,96	55,55	53,64	31,69
CV(%)	15,26	17,43	12,40	14,62	10,39
Teste F - Estimativa Contrastes Ortogonais					
Sistema Conv. x Controle	6,15 ^{ns}	32,74 ^{**}	78,95 ^{**}	7,73 ^{ns}	-6,23 [*]
Sistema Conv. x Nef. Fil. 2,5	8,48 ^{ns}	25,79 ^{**}	75,45 ^{**}	9,74 ^{ns}	-8,55 [*]
Sistema Conv. x Nef. Fil. 5,0	11,88 ^{ns}	29,32 ^{**}	73,25 ^{**}	-2,91 ^{ns}	-5,47 [*]
Sistema Conv. x Nef. Fil. 10,0	23,10 [*]	35,88 ^{**}	79,30 ^{**}	13,61 [*]	-0,82 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 2,5	18,64 ^{ns}	34,62 ^{**}	88,86 ^{**}	13,50 [*]	-4,95 ^{ns}
Sistema Conv. x Nef. Pó 5,0	21,91 [*]	33,77 ^{**}	81,41 ^{**}	18,54 [*]	-5,89 [*]
Sistema Conv. x Nef. Pó 10,0	20,28 [*]	34,13 ^{**}	76,58 ^{**}	17,27 [*]	-0,56 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 2,5	2,32 ^{ns}	-6,95 ^{ns}	-3,51 ^{ns}	2,00 ^{ns}	-2,32 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 5,0	5,73 ^{ns}	-3,43 ^{ns}	-5,71 ^{ns}	-10,65 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Controle x Nef. Fil. 10,0	16,94 ^{ns}	3,13 ^{ns}	0,35 ^{ns}	5,88 ^{ns}	5,41 [*]
Controle x Nef. Pó 2,5	12,48 ^{ns}	1,88 ^{ns}	9,91 ^{ns}	5,77 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 5,0	15,75 ^{ns}	1,03 ^{ns}	2,46 ^{ns}	10,81 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Controle x Nef. Pó 10,0	14,11 ^{ns}	1,39 ^{ns}	-2,38 ^{ns}	9,54 ^{ns}	5,67 [*]

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Significativo a 1%; *Significativo a 5%; ns Não Significativo. Nef. Fil. = Nefelina filler (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹); Nef. Pó = Nefelina pó (2,5, 5,0 e 10 Mg ha⁻¹).

7. CONCLUSÕES

A utilização de pó de rocha diabásio não promove modificações substanciais nas propriedades químicas dos solos utilizados, entretanto, altera os teores de Ca^{2+} no Argissolo na maior dose, em ambas as granulometrias.

Na dose 10 Mg ha^{-1} de pó de rocha diabásio na granulometria filler há aumentos de K^+ no Argissolo.

O pó de rocha diabásio proporciona maior produção de MST de soja na dose 10 Mg ha^{-1} apenas no Argissolo,.

Os teores de macronutrientes na PA da soja, bem como no acumulado, não alteram com a aplicação de pó de rocha diabásio em ambos os solos.

A utilização de pó de rocha nefelina-sienito altera positivamente as propriedades químicas do Argissolo. A dose 10 Mg ha^{-1} , na granulometria filler, eleva o pH em água, o pH em CaCl e os teores de Ca^{2+} e K^+ , além de reduzir o Al^{3+} trocável. No Neossolo não promove alterações substanciais.

A aplicação de pó de rocha nefelina-sienito aumenta a produção de MST e os teores de K no tecido vegetal da soja no Argissolo, nas maiores doses, em ambas as granulometrias.

O pó da rocha nefelina-sienito, notadamente na granulometria filler, atende a maior parte dos requisitos para enquadramento como remineralizador de solos, no período de condução dos experimentos, enquanto o mesmo não é observado para o pó do diabásio. Isto não descarta a possibilidade do seu uso, necessitando-se avaliar os efeitos de sua aplicação à médio e longo prazo.

Considerando que a maioria das rochas silicáticas apresentam baixa solubilidade nos ambientes naturais, sugere-se a continuidade de estudos associando-se ao uso de pós de rochas, práticas que visem acelerar a decomposição dos seus minerais.

8. REFERÊNCIAS

AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 20, p. 10-12, 2003.

AZEVEDO, A.C. **Avaliação de um remineralizador de diabásio**. Piracicaba. 93p.(Tese de Livre Docência); 2014.

BAKKEN, A. K. et al. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 53–57, 2000.

BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; MYHR, K. The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping with Italian ryegrass in different soil types Anne Kjersti Bakken 1 , H vard Gautneb 2 & Kristen Myhr 1. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p. 41–48, 1997.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Aplicação De Rochas Silicáticas Como Fontes Alternativas De Potássio Para a Cultura Do Arroz De Terras Altas. **Espaço & Geografia**, v. 9, p. 63–84, 2006.

BECERRA-CASTRO, C. et al. Bacterially induced weathering of ultramafic rock and its implications for phytoextraction. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 17, p. 5094–5103, 2013.

BURGHELEA, C. et al. Mineral nutrient mobilization by plants from rock: influence of rock type and arbuscular mycorrhiza. **Biogeochemistry**, v. 124, n. 1–3, p. 187–203, 4 maio 2015.

CAIRES, E. F. et al. Soil Acidity, Liming and Soybean Performance Under No-Till Acidez Do Solo, Calagem E Comportamento Da Soja Cultivada Em Plantio Direto. **Sci. Agric. (Piracicaba)**, v. 65, n. 5, p. 532–540, 2008.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, v. 195–196, p. 234–242, 1 mar. 2013.

CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055–1064, dez. 2002.

CIPRIANO, R.; ELIAS, M.; AZEVEDO, A. C. DE. Chemical attributes of a remineralized Oxisol. p. 1–10, 2017.

DA SILVA, A. D. A. S. et al. **Modeling controlled potassium release from phlogopite in solution: Exploring the viability of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in Brazilian soil** *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2013.

DAKORA, F. D.; PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments Legume-Rhizobium Symbiosis View project Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Plant and Soil**, v. 245, p. 35–47, 2002.

DE SOUZA, M. E. P. et al. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 56–60, 2013.

DUARTE, W. M. et al. Potencial de olivina melilitito , granito e sienito na disponibilização de potássio em. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 1, p. 68–77, 2013.

ERNANI, P. R. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 393–401, abr. 2007.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 11–20, mar. 1998.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 715–720, dez. 2006.

GUELFILVA, D. R. et al. Yield, nutrient uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 4, p. 455–464, 2014.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11–36, 2000.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. .; MELAMED, R. .; FIGUEIREDO NETO, J. Agroindústria & Sustentabilidade. p. 880, 2008.

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

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 3–9, 2000.

MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14–17, 2015.

MANNING, D. A. C. Innovation in Resourcing Geological Materials as Crop Nutrients. **Natural Resources Research**, v. 27, n. 2, 2018.

MANNING, D. A. C.; MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition . A review To cite this version : Mineral sources of potassium for plant nutrition . A review. v. 30, p. 281–294, 2010.

MARTINS, E. D. S. et al. Agrominerais–Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para a Agricultura. **Rochas e Minerais Industriais**, p. 205–223, 2008.

MARTINS, K. V. et al. Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 1, p. 705–716, 2017.

MITSUHIRO, O. et al. Effect of rock powder and vinasse on two types os soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1547–1557, 2014.

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

REIS, D. N. DOS et al. Extractant efficiency in the solubilization of alternative sources of potassium. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 3, p. 397, 2016.

RESENDE, Á. V. DE et al. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, p. 19–42, 2006.

RIEDEL, W. E. Mineral-nutrient synergism and dilution responses to nitrogen fertilizer in field-grown maize. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 6, p. 869–874, 2010.

SCHLEGEL, A. J.; HAVLIN, J. L. Corn yield and grain nutrient uptake from 50 years of nitrogen and phosphorus fertilization. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 335–342, 2017.

SILVA, D. R. G. et al. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 951–962, 2012.

SOUZA, T. R. DE et al. Nutrientes no solo e na solução do solo na citricultura fertirrigada por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 484–493, jun. 2015.

SOUZA, F. N. DA S. et al. Efeitos Condicionador E Nutricional De Um Remineralizador De Solos Obtido De Resíduos De Mineração. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, 2017.

STAMFORD, N. . et al. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 11, n. 4, p. 79–88, 2011.

THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. DE. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agricultura**, v. 10, n. 1, p. 22–28, 2013.

van STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: Challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 78, n. 4, p. 731–747, 2006.

van STRAATEN, P. **Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa**. ICRAF, Nairobi, Kenya, 2002. 338 p.