

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO - PPGCS**

GREGORY KRUKER

**ADUBAÇÃO COM PÓ DE ROCHA E PLANTAS DE COBERTURA EM
SUCESSÃO SOJA (*Glycine max*) E TRIGO (*Triticum aestivum*)**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

Co-orientador: Dr. Jaime Antonio Almeida

**LAGES - SC
2019**

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

KRUKER, GREGORY

Adubação com pó de rocha e plantas de cobertura em sucessão
soja (*Glycine max*) e trigo (*Triticum aestivum*) / GREGORY
KRUKER. -- 2019.

120 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Coorientador: Jaime Antonio Almeida

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

1. Rochagem. 2. Produção orgânica. 3. Fertilizantes minerais. 4.
Manejo do solo. 5. Bio-intervenção. I. Luiz Mafra, Álvaro. II.
Antonio Almeida, Jaime. III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

GREGORY KRUKER

**ADUBAÇÃO COM PÓ DE ROCHA E PLANTAS DE COBERTURA EM
SUCESSÃO SOJA (*Glycine max*) E TRIGO (*Triticum aestivum*)**

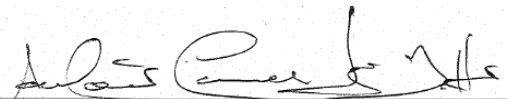
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC - Lages, SC

Membro:



Prof. Dr. Antonio Lunardi Neto
UFSC – Curitibanos, SC

Membro:



Profª. Dra. Jaqueline Dalla Rosa
UFSB – Ilhéus, BA

“Nunca se sinta só ou desamparado, pois a mesma força que guia as estrelas, guia-nos também” (Srhi Srhi Anandamuti Bábá).

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova” (Mahatma Gandhi).

“A nossa mais elevada tarefa deve ser a de formar seres humanos livres que sejam capazes de, por si mesmos, encontrar propósito e direção para suas vidas” (Rudolf Steiner).

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial e à Mãe Divina, que tudo sabem e tudo permeiam, gratidão pela oportunidade de expressar a Vontade na forma de manifestação física, e ao Sagrado Anjo Guardião por toda a proteção!

Aos familiares, que sempre estiveram ao lado, dando suporte para que toda essa obra fosse concretizada, pai Gilmar, mãe Giovana, Vovó Zélia e Vô Célio, Tia Vanessa, Tio Éder, Prima Glenda, Dona Cila, Madrinha M. João, Padrinho Oscar.

A quem tenho o privilégio em compartilhar as aventuras nessa caminhada, minha companheira e namorada Giulliana Momm, e a toda sua família, Geane, Felícia, Dinda Ju, Joel, por todo carinho e zelo que sempre expressaram por mim.

Aos Mestres, que sempre estiveram assistindo aos passos, prof. Álvaro Luiz Mafra, prof^a. Sueli Mafra, prof. Jaime Antonio Almeida, prof. Jackson Adriano Albuquerque, prof. Jean Alberto Sampietro, prof. Pedro Boff, Irmã Anair, Adriano Tortato, Prof. Alfredo Balduino, Prof^a Vera Marques, Prof. Lunardi, Profa. Jaqueline, Prof. Bertol, Prof Júlio, Profa. Mari Campos e Profa. Letícia por sempre clariarem os propósitos com vossos ideais.

Aos inestimáveis irmãos, irmãs e famílias da vida Leonardo Faedo e Fabi Beppler, André Eduardo, Lucas e Vitor Figueira França, Letícia Peixer, Joaquim e Clara Peixer França, Lucas Pellizzaro e Paola Cristine, Ruy Faedo, Ju Beal e Antonella, Marcelo Bonazza, Alessandra Berri e Gabriela, por sempre estarem radiando energias de amor e união!!

Aos excepcionais laboratoristas Éderson Padilha e Matheus Rodrigues por todo auxílio no trabalho químico, na organização das atividades e principalmente, pela amizade.

Aos companheiros Felipe De Carli, Gustao Marx, Gucho, Chicão, Ivan, Gui Provesi, Bruno Rech, Gili, Fábio, Rovier, Lucas e Guilherme Parisotto, Juliano Podicre, Xixof, Dildinha, Matheus, Júlia Perin, Gabriel Teles, Pablo Vacaria, Gleison, Paulinho, Londrina, Gui Ricardo, Rafa Jabora, Ramiro, Maça, Gabriel CBD, Decão, Tuba.

Aos colegas de Laboratório e Pós Graduação Genicelli, Gabriel, Diou, Diego, Gustavo, Ana, Gustavão, Fernando, Cleiton, Ágata, Jadiel, Bruna, Bel, Gilmar, Douglas, Andrei, Ben-Hur, Marcão, Maicon, Freedy, Walquíria, Fagner e Segala.

RESUMO

KRUKER, Gregory. **Adubação com pó de rocha e plantas de cobertura em sucessão soja (*Glycine max*) e trigo (*Triticum aestivum*)**. 2019. 121 p. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

Práticas agrícolas como a utilização de plantas de cobertura e pó de rocha, podem ser estratégias para disponibilizar nutrientes às plantas a curto, médio e longo prazo, além de configurarem alternativa à dependência externa de fertilizantes. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de liberação de nutrientes, provenientes da biomassa das plantas de cobertura (PC) em associação com pó de rocha (PDR) de olivina melilito (OM) e fonolito (FN), como alternativa à adubação mineral em um sistema de cultivo em sucessão soja (*Glycine max*) e trigo (*Triticum aestivum*). O experimento foi conduzido em vasos com 7 kg de solo (base seca), utilizando amostras do horizonte superficial (0-20 cm) de um Latossolo Bruno Distrófico típico, secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 4 mm, em casa de vegetação (cv). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), composto por doze tratamentos e três repetições. Foram utilizadas três composições de PC, coletadas à campo, sendo elas aveia (*Avena sativa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) (Av/Erv), aveia e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) (Av/Nf) e aveia e centeio (*Secale cereale*) (Av/Cent). As rochas OM e FN foram moídas, peneiradas (granulometria filler), e posteriormente misturadas, para formar o pó de rocha (PDR). Para efeito de comparação, foi avaliado um tratamento controle (ausência do fator PC), controle + adubação mineral (AM) solúvel e controle + PDR. Foram realizadas análises químicas do solo (pH em água, pH CaCl₂, Ca, Mg, K, P, Al e H+Al) antes da semeadura, e nos tempos 133 dias após o início da incubação (DAII) e 223 DAII. A quantidade de matéria seca aplicada foi equivalente à produção dos consórcios a campo e correções de P, com fosfato natural (fosforita), foram efetuadas nos tratamentos sem AM. As doses utilizadas de PDR foram equivalentes a 2,5 Mg ha⁻¹, composto de 1,25 Mg ha⁻¹ de OM e 1,25 Mg ha⁻¹ de FN. As rochas foram submetidas à análise elementar total, difratometria e fluorescência de raio-x e petrografia. Foi coletado o terceiro trifólio das plantas de soja 53 dias após a semeadura (DAS), e as folhas bandeiras do trigo no início do florescimento 40 DAS para avaliação nutricional do tecido foliar. Após o cultivo, foram determinados os componentes do rendimento, e logo semeado trigo. As rochas estudadas se enquadram nos requisitos exigidos pela legislação brasileira, para serem utilizadas como matéria-prima para a produção de remineralizadores multinutrientes. A associação de PC + PDR contribuíram de maneira significativa na elevação do pH do solo apenas aos 223 DAII, evidenciado no tratamento Av/Erv + PDR. A liberação de P foi maior nos tratamentos com AM nos dois tempos de amostragem. Os teores de K foram similares entre os tratamentos de PC + PDR e adubação mineral no tempo 133 DAII. Em relação à soja, a produção de grãos, quantidade de vagens e matéria seca da parte aérea (MSPA) foram maiores quando

aplicado adubação mineral. Já a matéria seca total (MST) e matéria seca de raízes (MSR) o uso de PDR + PC foi equivalente à AM. A produção de MSPA e MST do trigo foi maior com aplicação de adubação mineral em relação aos tratamentos com PDR, não diferindo entre os tratamentos em relação à produção de grãos. Os teores de K e Mg no tecido foliar da soja e acumulados, foram maiores quando aplicado PDR + PC. A aplicação da biomassa vegetal aumentou o conteúdo foliar de P e Ca em relação ao PDR e AM. O teor de P no tecido foliar do trigo foi maior quando aplicado PDR + PC, porém o teor acumulado foi maior quando utilizado AM. Os teores de Ca e Mg no tecido foliar e acumulado foram maiores nos tratamentos com PDR. A liberação de Ca e Mg para a solução do solo aos 223 DAI foi maior nos tratamentos com PDR + PC em relação à AM e equivalente na liberação de K.

Palavras-chave: Rochagem, Produção orgânica, Fertilizantes minerais, Manejo do solo, Bio-intervenção.

ABSTRACT

KRUKER, Gregory. **Fertilization with rock dust and cover crops in soybean (*Glycine max*) and wheat (*Triticum aestivum*) succession.** 2019. 121 p. Master's Dissertation in Soil Science. University of the State of Santa Catarina - Agronomic Sciences Center, Lages, 2019.

The use of agricultural practices such as fertilization, cover crops and the application of rock powders can be strategies to supply nutrients to the plants in the short, medium and long term, besides being an alternative to reduce the external dependence of fertilizers. Thus, the objective of this work was to evaluate the potential of nutrient release from the biomass of cover crops (PC) in association with olivinemelilite (OM) and phonolite (FN) rock powders, as alternative to mineral fertilization in soybean (*Glycine max*) and wheat (*Triticum aestivum*) succession system. The experiment was carried out in pots with 7 kg of soil (dry basis) using samples of the surface horizon (0-20 cm) of a typical Dystrophic Bruno Latossolo, air-dried, grounded and sieved in 4 mm mesh, in a greenhouse (gh). The experimental design was the completely randomized (DIC), composed of twelve treatments, with three replicates. Three PC compositions were collected in the field, being oats (*Avena sativa*) and vetch (*Vicia sativa*), oat and fodder radish (*Raphanus sativus*) and oats and rye (*Secale cereale*). The OM and FN rocks were ground, sieved (filler granulometry), and later mixed, to form rock dust (PDR). For comparison, a control (absence of PC factor), control + soluble mineral fertilization and control + PDR treatment was evaluated. Soil chemical analyzes (pH in water, pH CaCl₂, Ca, Mg, K, P, Al and H + Al) were carried out before sowing and at 133 days after incipium of incubation (DAII) and 223 (DAII). The amount of dry matter applied was equivalent to the production of field consortia and corrections of P with natural phosphate (phosphorite), were carried out in the treatments without AM. The used doses of PDR were equivalent to 2.5 Mg ha⁻¹, composed of 1.25 Mg ha⁻¹ of OM and 1.25 Mg ha⁻¹ of FN. The rocks were submitted to total element analysis, diffraction and x-ray fluorescence and petrography. The third trifolium of the soybean plants was collected 53 days after sowing (DAS), and the wheat leaf leaves at the beginning of flowering 40 DAS for the chemical determination of macronutrients. After the cultivation, the components of the yield were determined, and soon sown wheat. The results were submitted to the Kolmogorov-Smirnov normality test, the analysis of variance, and the means of the treatments, compared by the t test (5%), using Statgraphics® software. The compendium of the chemical and mineralogical analyzes of the rocks studied indicated that both materials meet the requirements of Brazilian legislation to be used as raw material for the production of multinutrient remineralizers. The association of PC + PDR contributed significantly to soil pH increase only at 223 DAII, evidenced by Av / Erv + PDR treatment. The release of P was higher in the treatments with AM at the two sampling times. The effects on K + contents were similar between the application of PC + PDR and mineral fertilization in time 133 DAII. Regarding soybean, grain yield, amount of pods and MSPA was higher when applied mineral fertilization. Already the MST and MSR interaction between the PDR + PC were equivalent to AM. The production of MSPA and

MST of wheat was higher with NPK application in relation to PDR treatments, and did not differ between treatments in relation to grain production. The contents of K and Mg in soybean leaf tissue and accumulated were higher when applied PDR + PC. The application of plant biomass increased the leaf content of de P and Ca in relation to PDR and AM. The P content in wheat foliar tissue was higher when PDR + PC was applied, but the accumulated content was higher when AM was used. The contents of Ca and Mg in leaf and accumulated tissue were higher in PDR treatments. The release of Ca and Mg to the soil solution at 223 DAI was higher in treatments with PDR + PC compared to AM and equivalent in the release of K.

Key words: Stonemeal, Organic production, Mineral fertilizers, Soil management. Bio-intervention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estabilidade dos minerais em relação ao intemperismo.	38
Figura 2 - Difratoograma de raios-x do pó da rocha fonolito.....	65
Figura 3 - Difratoograma de raios-x do pó da rocha olivina melilitito.....	66
Figura 4 - Índice de eficiência agronômica de N, P, K, para a soja.	92
Figura 5 - Índice de eficiência agronômica de N, P, K, para trigo.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química média das plantas de cobertura.	53
Tabela 2 - Percentual médio das granulometrias das rochas.	61
Tabela 3 - Composição química elementar das rochas - ALS (peru).	61
Tabela 4 - Valores dos elementos tóxicos e limite permitido nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS.....	62
Tabela 5 - Composição elementar das rochas por Fluorescência de Raios-X (FRX) – Laboratório CAV/UEDESC.....	63
Tabela 6 - Composição mineral das rochas segundo análises de petrografia.	64
Tabela 7 - Valores de pH H ₂ O - relação 1:10, e pH CaCl ₂ 0,01M.	68
Tabela 8 - Teores de cálcio (Ca ⁺²) e magnésio (Mg ⁺²) em cmol _c dm ⁻³	70
Tabela 9 - Teores de fósforo (P) e potássio (K ⁺) extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RTI).....	72
Tabela 10 - Teores de alumínio trocável (Al ⁺³) e H + Al (acidez potencial) em cmol _c dm ⁻³	76
Tabela 11 - Valores de soma de bases (SB), CTC pH 7 e CTC efetiva em cmol _c kg ⁻¹ , saturação por bases (v%), saturação por alumínio (m%) e relação Ca/Mg.	77
Tabela 12 - Número de vagens por planta e vaso, número de grãos, produção de matéria seca e massa de mil sementes das plantas de soja, cultivadas em casa de vegetação.	80
Tabela 13 - Número de perfilhos e espigas, MSPA, MSR, MST, número de grãos e MMS das plantas de trigo, cultivadas em casa de vegetação.	82
Tabela 14 - Composição química da parte aérea das plantas de soja, teor de N, P, K, Ca e Mg em g kg ⁻¹ e seus respectivos acúmulos em mg.	85
Tabela 15 - Composição química da parte aérea das plantas de trigo, teor de N, P, K, Ca e Mg em g kg ⁻¹ e seus respectivos acúmulos em mg	87
Tabela 16 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na solução do solo, em mg L ⁻¹ , nos períodos de avaliação 133 DAI e 223 DAI.	90
Tabela 17 - Teores de alumínio (Al) e ferro (Fe) em mg L ⁻¹ nos períodos de avaliação 133 DAI e 223 DAI.	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	22
1.1 OBJETIVOS.....	28
1.1.1 Objetivo Geral.....	28
1.1.2 Objetivos Específicos.....	28
1.2 HIPÓTESES.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 AGROMINERAIS E REMINERALIZADORES DE SOLOS.....	34
2.2 A EFICIÊNCIA DA ROCHAGEM: FATORES ENVOLVIDOS NOS PROCESSOS.....	37
2.3 PROCESSOS PARA OTIMIZAR A SOLUBILIZAÇÃO E A EFICÁCIA DOS AGROMINERAIS.....	39
2.4 RESULTADOS NA APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA.....	43
2.5 ADUBAÇÃO DE SISTEMAS COM PLANTAS DE COBERTURA.....	46
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1 Caracterização das rochas estudadas.....	49
3.1.1 Análises Granulométricas das Rochas.....	50
3.1.2 Análises Petrográficas.....	50
3.1.3 Análises de Fluorescência de Raio-X (FRX) das Rochas.....	50
3.1.4 Análises Químicas Elementares das Rochas.....	51
3.1.5 Análises Mineralógicas da Rocha.....	52
3.2 Seleção e Coleta de Solo e Plantas de Cobertura.....	52
3.3 Processamento das amostras e análises químicas antes da semeadura.....	54
3.4 Incubação dos Solos.....	54
3.5 Delineamento Experimental para produção de Soja.....	55
3.5.1 Variedade utilizada para cultivo da Soja (<i>Glycine max</i>).....	55
3.5.2 Tratamentos e Implantação do Experimento com soja em Casa de Vegetação.....	56
3.6 Delineamento Experimental para produção de Trigo.....	57
3.6.1 Variedade utilizada para cultivo do Trigo (<i>Triticum aestivum</i>).....	57
3.7 Coleta de folhas e análises químicas do tecido vegetal das plantas.....	58
3.8 Coleta dos experimentos.....	58
3.9 Análises químicas do solo.....	59
3.10 Análise estatística.....	60

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 Análise granulométrica das rochas	60
4.2 Análises Químicas Elementares das rochas	--
4.3 Análises por Fluorescência de Raios-X (FRX) das rochas.....	
4.4 Análises Petrográficas	63
4.5 Análises Mineralógicas das rochas por DRX.....	65
4.6 Atributos químicos do solo – Fertilidade do solo no pós colheita de soja e trigo.....	67
4.7 Produção de grãos e matéria seca das plantas de soja e trigo.....	79
4.8 Teor de nutrientes na parte aérea e acumulados nas plantas de soja e trigo.....	84
4.9 Análises químicas da solução do solo	89
4.10 Índice de Eficiência Agronômica	91
5 CONCLUSÕES	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1 INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica de um agroecossistema, onde diversos organismos coabitam e estabelecem relações antagônicas e sinérgicas, onde cada grupo exerce distintas funções para o meio, pode auxiliar na escolha dos métodos de manejo e práticas agrícolas que potencializem os processos naturais e maximizem os efeitos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (GLIESSMAN, 2000; ALTIERI, 2018).

O Brasil é um dos países que mais contribui na produção de grãos a nível mundial, devido as características climáticas favoráveis à produção. Em contrapartida, devido a ação do intemperismo, a maioria dos solos brasileiros são ácidos, desmineralizados e com baixos teores de nutrientes, destacando-se as deficiências de fósforo (P) e potássio (K). Portanto, visando a manutenção da capacidade produtiva dos solos e a nutrição adequada das plantas, se faz necessário investimentos em fertilizantes e corretivos, os quais são responsáveis por cerca de 40% dos custos variáveis na produção de grãos (ERNANI, 2008; OLIVEIRA, 2011; PEREIRA FILHO et al., 2015).

Para suprir tal necessidade, o acesso e uso dos fertilizantes no Brasil fez parte de uma estratégia implantada nas décadas de 1970/1980, a qual seguiu os moldes da Revolução Verde e foi amparada por incentivos e crédito, de modo a facilitar a aquisição de insumos e tecnologias (ALMEIDA et. al, 2009; THEODORO; ALMEIDA, 2013). A criação de cultivares altamente produtivas, o desenvolvimento de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solos quanto à adubação e calagem, utilizando fertilizantes minerais solúveis como a uréia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), manejo de pragas, doenças e plantas daninhas baseado em aplicações de agrotóxicos, e introdução de monoculturas foram os fatores promotores desse avanço, e são elas as práticas que compõem o sistema de produção convencional de base industrial (RICARDO; CAMPANILI, 2008; VENCATO, 2010).

Neste contexto, é evidenciado o crescimento no consumo e na importação de fertilizantes ou matérias-primas no Brasil nos últimos anos, atingindo em 2010 cerca de 25 milhões de toneladas (BRASIL, 2011), e chegando em 2017 ao consumo de 35 milhões de toneladas, sendo que 26 milhões foram importados, o que preocupa quanto ao equilíbrio da balança comercial nacional, onde 76 % da demanda brasileira foi atendida por importações (ANDA, 2018).

Os dados do Ministério de Minas e Energia expõem que o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, sendo superado somente pela China, Índia e Estados

Unidos. Todavia, contribuí com apenas 2% da produção mundial, tornando o país extremamente dependente dos preços estabelecidos pelos países exportadores de fertilizantes e/ou de matéria prima (THEODORO; ALMEIDA, 2013). Em 2017, o mercado brasileiro recebeu cerca de 35 milhões de toneladas de fertilizantes minerais solúveis, e de acordo com Rodrigues (2010), o Brasil importa 92% do K, 75% do nitrogênio (N) e 48% do P utilizados como fertilizantes. Os países que provem tais insumos são de origem europeia e norte-americana, tendo como destaque os fertilizantes potássicos oriundos da Sibéria (Bielorrússia), Canadá, Rússia e Alemanha, e os fertilizantes fosfatados oriundos do Marrocos, E.U.A, China e Rússia (MARTINS et al., 2008; IFA, 2012).

Em decorrência da intensificação e artificialização do uso do solo, foi relatado por diversos autores (CAMARA; KLEIN, 2005; SUZUKI, 2005; DAMS, 2006; TOLEDO; BARRERA-BASSOLS, 2015), os problemas gerados pelos excessos na aplicação de insumos agrícolas, tais como uso de agrotóxicos: fungicidas, inseticidas e herbicidas, que geram desequilíbrios ambientais e inibem a atividade de microrganismos benéficos ao meio, além de contaminarem o solo, água e alimentos, representando riscos à saúde de consumidores e trabalhadores rurais (REGANOLD; WACHTER, 2016; REN et al., 2017). Não obstante, para o funcionamento do sistema, o tráfego intenso de máquinas e animais, operações mecanizadas de revolvimento dos horizontes do solo, desestruturam e o compactam, o que é evidenciado pela grande parcela das áreas agricultáveis a nível mundial, se encontrarem com o solo em algum estágio de degradação (KLEIN, 2006).

Ainda, a aplicação de fertilizantes minerais solúveis, que são facilmente lixiviados, com potencial de salinização da área, contaminação do lençol freático, podem causar também efeitos indesejáveis nas plantas, por ocasionarem distúrbios metabólicos, como a desregulação da proteólise e proteossíntese, levando ao excesso de substâncias simples solúveis e livres na seiva e no suco celular, como esteróis, açúcares, aminoácidos e vitaminas, o que torna a planta alvo de pragas e doenças (MINGUETTI, 2012; KNABBEN, 2016).

Fundamentada a discussão, é necessário questionar sobre a viabilidade de como manter os patamares de produção, levando em conta a dependência externa dos principais insumos de sustentação do modelo, bem como a forma que o modelo produtivo deverá ser mantido, tendo ciência do crescente número de habitantes do planeta, estimado em 9,5 bilhões até 2050 (GODFRAY, 2010).

Neste viés, atentos ao processo e buscando possibilidades para o problemático cenário convencional, formas de produção com orientações mais sustentáveis, alicerçadas

em estudos e tratamentos de ecossistemas produtivos, preservadores de recursos naturais, socialmente, ambientalmente e economicamente viáveis, autônomas e justas, são de interesse comum (SAMBUICHI et al., 2017). O consumidor mundial segue a tendência de melhorar seus hábitos alimentares e buscar produtos menos industrializados, com rastreabilidade, menos aditivos e conservantes (BAVEC e BAVEC, 2015).

Outro ponto a ser destacado é o aumento na demanda por grãos orgânicos no mercado brasileiro, como matéria prima na cadeia de produção de rações orgânicas e para alimentação humana (STOLZE, M.; LAMPKIN, N, 2009; REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M, 2016). E conforme Instrução Normativa nº46, artigo 103, que regulamenta a utilização de fertilizantes e corretivos, em sistemas agroecológicos, somente é permitido o uso dos mesmos quando sua constituição é formada por substâncias autorizadas no anexo V do Regulamento técnico, tais como pós de rocha e compostos orgânicos de origem vegetal e animal (MAPA, 2011).

Quando atendem as exigências mínimas da legislação brasileira, os pós de rocha são denominados remineralizadores (RM), ou seja, o produto deve conter pelo menos uma soma dos óxidos totais de cálcio, magnésio e potássio (soma de bases) superior a 9%, teores de sílica livre inferior a 25% e teores máximos de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo dentro de limites estabelecidos. Os RM, conforme Lei nº 12.890/2013, são definidos como categoria de insumo destinado à agricultura, sendo materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como, melhorem as propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo (BRASIL, 2016).

Dessarte, os modelos de produção agroecológica, agricultura orgânica, permacultural e biodinâmica, baseadas em processos ecológicos, aumento da biodiversidade, adaptação dos cultivos aos ciclos biogeoquímicos e condições locais, através do entendimento do solo como um sistema vivo e dinâmico, vêm ganhando destaque mundial. Segundo a International Federation of Organic Movements (IFOAM), atualmente 76,840 milhões de hectares em escala global são dedicados à produção orgânica de alimentos, gerando faturamento anual bruto de US\$ 80 bilhões de dólares, com crescimento atual do setor em 10 a 15%. O Brasil contribui no montante de áreas destinadas a produção orgânica com 940 mil ha, representando 1,2 % do total, com faturamento anual chegando próximo de R\$ 4 bilhões, e crescimento do setor em 30% (BOYD et al., 2017; WILLER, LERNOUD, 2017).

Nesse sentido, atender a demanda por alimentos produzidos sem o uso de fertilizantes solúveis, e manter a produção em larga escala de grãos, hortaliças e frutas economicamente viável, além de apontar alternativas complementares para a adubação das culturas é uma necessidade. Desta forma, a técnica conhecida como rochagem, a qual consiste na adição de rochas moídas ao solo (pó de rocha), com finalidade de fertilizar, corrigir ou condicionar o solo, se mostra promissora para a produção agrícola, principalmente para cultivos agroecológicos, destacando-se pela diversidade de matérias-primas com potencial de uso para adubação (MEERT et al., 2009; THEODORO; ALMEIDA, 2013).

Os estudos científicos envolvendo a utilização de pós de rocha como fertilizantes, foram inicialmente destacados por autores europeus, sendo os primeiros a descreverem essa atividade de forma técnica Missoux (1853) e Julius Hensel (1880), este último em seu livro *Panes de piedra* no século XIX (van STRAATEN, 2006). Com incentivo e dedicação, os estudos envolvendo pós de rocha avançaram, e se intensificaram no início das décadas de 1970 e 1980. Cabe destacar as contribuições advindas de autores estrangeiros como FYFE et al., (1987, 2000 e 2006), van STRAATEN (1987, 2002, 2006), SANZSCOVINO; ROWELL (1988), WEERASURIYA et al. (1993), YAO et al. (2003), ABDEL-MOUTY; EL-GREADLY (2008), BASAK; BISWAS (2010, 2012 2017) MANNING (2010), STAMFORD et al., (2011), SILVA et al., (2013) MOHAMMED et al., (2014).

Os estudos a nível nacional tiveram início na década de 1950, com D. Guimarães e Vladimir Ilchenko, e foram alavancados pelo professor Othon Leonardos (UNB), o qual é considerado o precursor da rochagem no Brasil (COELHO, 2005). Tais contribuições já sugeriam o uso das rochas para remineralizar os solos agrícolas. De sorte, as pesquisas avaliando o potencial desses materiais têm recebido enfoque maior nas últimas décadas tanto a nível mundial como no Brasil. Entre os autores nacionais, destacam-se LEONARDOS et al., (1976, 1987, 2000), BARRETO (1998), AMPARO (2003), RESENDE et al., (2006), THEODORO; LEONARDOS (2006), MARTINS et al., (2008), SILVA et al., (2012), RAMOS (2014, 2016), AZEVEDO (2014), SOUZA et al., (2013, 2017), THEODORO; ALMEIDA (2013), GUELFY-SILVA (2016), KORCHAGIN et al., (2016) REIS et al., (2016), RIBEIRO (2018), entre outros.

É evidenciado ao longo do território brasileiro a ocorrência de vários tipos de rochas, tais como basaltos, melilitos, sienitos, carbonatitos, fonolitos, serpentinitos, xistos, filitos, margas, granitos e gnaisses, com potencial promissor para a produção de pós

de rocha em todas as regiões do país (TÁVORA, 1982; NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). Isso significa que existem fontes alternativas para suprir a demanda agrícola por potássio, fósforo, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e vários micronutrientes.

Como detentor de abundante geodiversidade, o Brasil possui as ferramentas necessárias para solucionar os problemas relacionados ao solo, o que depende de estudos e abordagens sistêmicas interdisciplinares quanto ao uso e reconhecimento dessas rochas, processos geológicos envolvidos, e posicionamento técnico (van SRAATEN, 2006).

Cabe ressaltar que a intervenção com pós de rocha no manejo de agroecossistemas, deve fazer parte de uma estratégia integral para assegurar o uso sustentável do solo e recursos naturais, onde a eficiência agrônômica das rochas que possuem nutrientes como K, Ca e Mg é diretamente correlacionada por sua composição química e mineralógica, presença de microrganismos, espécies de plantas cultivadas, atividade da rizosfera e o tipo de solo (BOLLAND; BAKER, 2000; GUELFILVA et al., 2014).

Portanto, o uso de pós de rocha em combinação com modificações biológicas naturais, pode ser uma alternativa para disponibilizar nutrientes as plantas (HARLEY; GILKES, 2000; WANG et al., 2000; MOHAMMED et al., 2014). Tal proposta converge com o conceito de bio-intervenção de minerais silicatados (BISWAS; BASAK, 2013, 2014), o qual disserta sobre a necessidade de acelerar a taxa de liberação de nutrientes, através de processos fermentativos como a compostagem e a inoculação de microrganismos eficientes (EM) (KHATOUNIAN, 2001; HOYOS, 2009). Estudos sobre microbiologia em sistemas orgânicos mostram a possibilidade destes organismos como agentes modificadores nos agroecossistemas (BARETTA et al., 2005).

A dissolução dos minerais e consequente liberação de nutrientes para o solo é influenciada por diversos fatores, tais como a atividade microbiana, a qual mobiliza e solubiliza nutrientes diretamente da estrutura dos minerais, bem como da reserva não-trocável, pelo desequilíbrio químico entre solução do solo e a superfície dos minerais e pela remoção de íons pelos processos de lixiviação e absorção de nutrientes.

Processos na rizosfera e a atividade biológica geram exsudatos radiculares e ácidos orgânicos, e podem aumentar a dissolução dos minerais pela liberação de íons H^+ e de compostos orgânicos complexantes, que contribuem para acelerar as reações nas superfícies dos minerais (BENNETT et al., 1998; ZHU et al., 2013). A construção da fertilidade do perfil do solo é parte fundamental do manejo sustentável do solo, entendendo que com a adição de materiais de solubilidade mais lenta, quando comparada com fontes

solúveis, a planta terá uma reserva de nutrientes ao longo do tempo, que poderá ser requerida quando for necessária para seu desenvolvimento.

Potencializar o uso da adubação com pós de rocha com a associação de técnicas como a adubação verde e plantas de cobertura, mostra-se como uma estratégia promissora para melhorar a qualidade do solo, onde o manejo da biomassa vegetal (palhada, cobertura morta) auxilia na solubilização dos nutrientes contidos nos minerais das rochas, possibilitando aumento na fertilidade do solo, do teor de nutrientes e da matéria orgânica (MO), podendo dessa forma aumentar a eficiência de absorção dos nutrientes pelas culturas em sistemas agroecológicos de produção (KOCHANN; SELLES, 1991; NICHOLS et al., 2015). Ainda, a utilização de adubos verdes e plantas de cobertura, somada a métodos conservacionistas de preparo do solo apresentam destacada importância na melhoria da estrutura do solo, infiltração de água, liberação de nutrientes e fornecimento de resíduos vegetais ao solo (FLOSS, 2000; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Associar ambas técnicas de adubação descritas pode proporcionar resultados positivos quanto à redução de custos e da dependência externa de insumos para adubação e manutenção da capacidade produtiva do solo, promoção da soberania e da segurança alimentar e nutricional, conservação dos ecossistemas e recursos naturais, além de contribuir no fortalecimento da produção agroecológica e orgânica.

E tratando especificamente da região de Lages – Santa Catarina, local onde a pesquisa foi conduzida, existe ampla variedade de rochas ricas em nutrientes como os fonolitos, sienitos, traquitos, tefritos, olivinas, entre outras, as quais ocorrem na forma de intrusões de rochas alcalinas e ultrabásicas, constituindo o chamado Domo, ou Complexo Alcalino de Lages (SCHEIBE, 1996). Grande parte destas rochas são ricas em feldspatóides e feldspatos potássicos, contendo cálcio, magnésio e potássio, além de micronutrientes, o que as tornam passíveis de serem adotadas como fontes alternativas de nutrientes para as plantas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar aspectos qualitativos, quantitativos e eficiência agronômica da combinação dos pós de rochas de olivina melilitio e fonolito em associação com a biomassa vegetal, derivada de consórcios de plantas de cobertura, como alternativas para fertilização de sistemas agrícolas. É esperado que este estudo contribua no entendimento sobre a fertilidade dos agroecossistemas, permitindo a ampliação e a difusão de tecnologias que fortaleçam a busca por padrões de produção mais sustentáveis, em acordo com os pressupostos agroecológicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o efeito dos consórcios de plantas de cobertura e dos pós de rocha, na liberação de nutrientes;
- b) Avaliar a liberação temporal de nutrientes para a solução do solo, provenientes da biomassa vegetal e em associação com os pós de rocha;
- c) Avaliar a viabilidade agronômica da utilização da biomassa vegetal, formada a partir da palhada de Fabacea, Poacea e Brassicaceae em associação com pós de rocha, comparativamente aos fertilizantes minerais solúveis, para a adubação de soja e trigo;
- d) Determinar e correlacionar os teores e o acúmulo dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal da soja e trigo, com os diferentes sistemas de adubação;
- e) Quantificar e comparar os componentes do rendimento da soja e do trigo nos diferentes sistemas de adubação;
- f) Caracterizar de modo físico, químico e mineralógico, dois pós de rochas como possíveis materiais a serem utilizados como remineralizadores de solos.

1.2 HIPÓTESES

- a) A liberação de nutrientes proveniente da biomassa vegetal e dos pós de rocha, proporciona adequada nutrição à soja, e contribui com efeito residual para o cultivo subsequente;

- b) A decomposição da biomassa vegetal intensifica a solubilização dos nutrientes contidos nos minerais das rochas;
- c) A associação das técnicas de rochagem e plantas de cobertura serve como alternativa para substituir parte das fontes convencionais de nutrientes, no cultivo de culturas com valor agrônômico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é um dos países que mais contribuí na produção de grãos a nível mundial, sendo estimada área plantada na safra 2018-2019 de 62,8 milhões de hectares, com produção de 236,7 milhões de toneladas, números tais que expõe um crescimento de 4% ou 9 milhões de toneladas acima da safra anterior. As espécies vegetais que ocupam a maioria das áreas de produção são a soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e arroz (*Oryza sativa*). A soja é a oleaginosa mais produzida no país, e também a nível global, pois trata-se de uma espécie com dupla aptidão, servindo como fonte de proteína (aprox. 40%) e de óleo (20%), contendo teores adequados de aminoácidos, sais minerais, e vitaminas como a tiamina e riboflavina (MEENA; BISWAS, 2013; CONAB, 2019).

A introdução da soja no país ocorreu em 1882 no estado da Bahia, mas os objetivos de produção comercial fracassaram, devido a inaptidão das cultivares existentes em relação ao clima tropical encontrado no estado, pois as mesmas eram adaptadas a climas temperados ou subtropicais do seu local de origem, o leste asiático. O avanço teve êxito quando atingiu o estado do Rio Grande do Sul (RS), no início da década de 1940, pois o clima vigente era semelhante com as condições originais da cultura. No início, ela era utilizada principalmente para produção de biomassa, mas essa tendência diminuiu rapidamente até meados dos anos 1960, quando a produção de grãos cresceu de forma exponencial nas américas e no globo (DALL'AGNOL, 2017).

No início dos anos 1960, o Brasil cultivava próximo de 171 mil hectares de soja, e já no final dessa década a área cresceu 5,3 vezes, atingindo 906 mil hectares. A expansão da cultura da soja no país esteve sempre associada aos avanços científicos, a disponibilização de tecnologias e incentivos fiscais ao setor produtivo. Dessa forma, houve ampliação de 26 vezes na área cultivada com soja, onde a cultura passou a ocupar cerca de 35,8 milhões de hectares destinadas ao cultivo, área esta, 1,9% maior em relação à safra 2017-2018, com produção estimada de 114,3 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

Estes números podem ser explicados pelo fato da soja ser uma commodity, ou seja, um produto com forte liquidez, e valor de mercado. Assim, é formado um quadro de suporte dos preços no âmbito interno, o que reforça a aposta anual dos produtores no incremento de áreas destinadas ao produto. Em relação à produção total, espera-se redução de 4,2% em comparação com a safra 2017/18, pois a mesma foi a maior série histórica de produção de soja já registrada.

O destino da produção brasileira de soja possui três propósitos, onde 44% é exportada de forma in natura como grão, 49% ao processamento interno e cerca de 7% é armazenada em estoque. Do processamento do grão, 80% é para fabricação de farelo de soja, o qual é constituinte de rações destinadas ao consumo animal. O farelo produzido no país, 52% é exportado e o restante serve a ração animal. Ainda, 21% da industrialização do grão gera óleo de soja para alimentação doméstica e biodiesel. O somatório das exportações de grão in natura, farelo e óleo geraram U\$S 28 bilhões para a economia nacional (AGROSTAT, 2016).

Embora as regiões Centro-Oeste e Sul representem mais de 78% dessa produção, há produção de soja em praticamente em todos os estados brasileiros. A fim de aumentar os índices produtivos, o agricultor tem incrementado o uso de tecnologia para melhorar sua rentabilidade. Assim, a produtividade da soja aumentou de 2.823 Mg ha⁻¹ na safra 2006/07, para 3.193 Mg ha⁻¹ na safra 2018/19, um incremento de 13,1%. Na região Sul, é estimada produção de grãos próximo a 78.047,6 milhões de toneladas, e SC contribuí com 6.585,3 milhões de toneladas. Já a área destinada a soja na região sul está próxima de 11,8 milhões de hectares, totalizando 37.822,4 milhões de toneladas. Especificamente em Santa Catarina, tem-se uma área plantada de 664,6 mil hectares, com produtividade média de 3.585 Mg ha⁻¹ (11% maior que a média nacional) e produção de 2.382,6 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

De acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea-MT) o atual custo de produção para a safra de soja 2019/2020 no estado de Mato Grosso, referente a abril de 2019, foi de R\$ 3.150,27 por hectare com custos variáveis (CV) e R\$ 3.497,33 por hectare em custos operacionais (CO). Ainda salienta a cotação média de R\$ 63,85 a saca de 60 kg, preço pago ao produtor. Tais cifras levantam um alerta sobre a viabilidade dos modelos de produção do grão, num cenário onde os custos de produção e dos insumos agrícolas como fertilizantes solúveis e agrotóxicos aumentaram significativamente nos últimos anos em todo o mundo (IMEA, 2019; CONAB, 2019).

Com isso, a adoção do sistema de plantio direto, o qual diminui o processo de degradação do solo e promove manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos, propiciou à produção de grãos uma alternativa para se manter competitiva economicamente e ainda reduzir os danos causados ao meio ambiente. Os princípios que gerem tal sistema são condizentes as necessidades para o desenvolvimento da soja e são aplicados em praticamente todas as regiões produtoras do país (BARNECHE, 2014).

No sentido de sistematização para implementação da cultura, o Zoneamento Agroclimático de Risco (ZARC) para soja apresenta seis períodos favoráveis de semeadura no Estado de Santa Catarina, períodos estes variando de 11 de outubro a 20 de dezembro (BERLATO, 1981; MAPA 2018).

As temperaturas satisfatórias para a produção de soja estão na faixa entre 20°C e 30°C são, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento próximo aos 30°C. Sua necessidade hídrica durante o ciclo é de 450 a 800 mm de água. A correção do solo através da calagem é uma prática essencial na cultura, para amenizar os efeitos nocivos do alumínio e manganês, disponibilizar nutrientes, propiciar o desenvolvimento do sistema radicular e estabelecer a relação de simbiose entre a bactéria *Bradyrhizobium* e a planta, visando a fixação biológica de nitrogênio (FBN). O pH indicado para soja situa-se entre 5,5 a 6,0 (BARNECHE, 2014; NUNES, 2015).

Considerando a necessidade de 83 kg de nitrogênio para produzir uma tonelada de grão, a quantidade de fertilizante a ser aplicado para suprir essa necessidade seria alta, e aumentaria os custos de produção. Entretanto, o processo de simbiose estabelecido entre bactérias do gênero *Rhizobium sp.* e o fornecimento de micronutrientes como molibdênio e cobalto suprem aproximadamente 95% da necessidade de nitrogênio da planta. Assim, a inoculação é uma prática essencial para a sustentabilidade da produção de soja e é amplamente difundida (COTRISOJA, 2016).

Em relação à adubação potássica e fosfatada, a quantidade de fertilizantes a aplicar varia com o teor disponível de K e P do solo, estes determinados com a análise de solo, a finalidade do cultivo, e a expectativa de produção. Os resultados da análise do solo são interpretados de acordo com as classes ou faixas de disponibilidade às plantas (SALVADORI, 2016). A cultura da soja necessita aproximadamente 38 kg de K₂O por tonelada de grão (JUNIOR et al., 2013). Em solos com teores de potássio acima do nível crítico, é indicada reposição do nutriente que será exportado pelos grãos, em torno de 20 kg por hectare de K₂O por tonelada de grão produzido, levando em consideração a expectativa de produção (OLIVEIRA, 2013). O fósforo é o nutriente mais limitante da

produtividade de soja, devido sua escassez e dinâmica nos solos de regiões tropicais. Assim a recomendação é de 20 quilos por hectare de P_2O_5 por tonelada de grão a ser produzida, e a aplicação em totalidade no sulco de plantio (LANTMANN, 2003).

O trigo (*Triticum aestivum*) é a principal cultura de inverno no Sul do Brasil, e matéria-prima indispensável para a alimentação humana. A espécie possui características de produção de grãos e biomassa vegetal, dessa forma, serve como alternativa para compor o sistema de rotação de culturas no período do inverno, o que a torna relevante em termos econômicos. O trigo sofre grande influência de fatores climáticos, tanto no seu desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e durante a colheita. A ocorrência de baixas temperaturas e geadas afetam a planta, principalmente, no período de floração, e o excesso de chuvas na floração e na colheita. Portanto, a escolha da época mais adequada para implantação da cultura deve considerar o Zoneamento de risco agroclimático, o qual recomenda a semeadura de trigo no município de Lages entre os dias 11 de junho e 20 de agosto, pelo fato de estar situado em uma região serrana e apresentar risco de geadas durante a primavera, deste modo, recomenda-se evitar semeaduras precoces (MAPA, 2015).

O tipo de solo, sistema de produção e as tecnologias adotadas, assim como aspectos socioeconômicos relacionados à região de cultivo, interferem na tomada de decisão quanto aos manejos a serem realizados. Além disso, buscar sincronizar a época mais adequada para o desenvolvimento da cultura, com os períodos de menor risco a intempéries climáticas, aumenta a chance de sucesso do cultivo (CUNHA et al., 2011).

Na safra de inverno 2019, estima-se a produção das culturas de inverno (aveia, canola, centeio, cevada, trigo e triticale) em cerca de 0,6% superior à obtida em 2018. A expectativa é que a produção nacional seja de 6,7 milhões de toneladas, em uma área plantada de 2,5 milhões de hectares. Especificamente a cultura do trigo possui área plantada no Brasil de 1,9 milhões de hectares, com produção de 5,4 milhões de toneladas e produtividade média de 2.768 Mg ha⁻¹. A região Sul é a que mais contribui no montante da produção, com 1,7 milhões de hectares, produtividade média de 2.737 Mg ha⁻¹ e produção de 4,8 milhões de toneladas. O estado do Paraná (PR) é o maior produtor de trigo do Brasil, com cultivo de cerca de 1,02 milhões de ha, e produtividade média de 2.729 kg ha⁻¹, o que totaliza 2,8 milhões de toneladas produzidas. E o cenário em SC demonstra 58,1 mil hectares, produtividade média 2.643 Mg ha⁻¹ e produção de 153,6 mil toneladas (CONAB, 2019).

Em relação ao mercado interno, ele permanece com cenário de baixa liquidez, pois o país importa uma maior quantidade (próximo de 7,2 milhões de toneladas em 2017) do que produz. Deste modo as indústrias direcionam os esforços otimizando seus estoques, pois a oferta nacional se encontra bastante limitada. As aquisições do produto importado, principalmente da Argentina, seguem de forma gradual, com a indústria atenta à variação cambial e às oscilações de preço no mercado internacional. A média de preço, registrada em abril do trigo pão, Tipo 1, PH 78, foi de R\$ 46,89 a saca de 60 quilos no Paraná. Para suprir à demanda interna de mercado, somente em abril de 2019 o Brasil importou 618,8 mil toneladas de trigo, sendo 81,77% de produto argentino, 5,72% do Paraguai, 4,24% do Canadá, 4,16% dos Estados Unidos, 4,08% do Uruguai e 0,3% restante, de outros países. No mesmo período foi exportado um volume equivalente a 1,75 milhões de toneladas para a Indonésia e Paraguai. Essa diminuição se deve ao receio dos produtores quanto a problemas enfrentados na safra passada, em relação à produtividade do trigo (CONAB, 2019.)

Para alcançar altas produtividades e viabilizar a exploração da cultura do trigo, a fertilização do solo e a adequada nutrição da planta são indispensáveis. O nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e o mais exportado pelas plantas de trigo. Além disto, exerce forte influência na definição da produtividade desta cultura. A dose de N é recomendada em função da cultura anterior, a quantidade de matéria orgânica, a expectativa de rendimento e a resistência varietal ao acamamento. Doses menores de N limitam a produtividade, enquanto doses maiores podem favorecer o acamamento de plantas, dificultando a colheita e reduzindo a produtividade (ZAGONEL et al., 2002; TRINDADE et al., 2006; TEIXEIRA FILHO et al., 2007). As quantidades recomendadas para aplicação de fertilizantes contendo P e K variam em função dos teores desses nutrientes no solo, a classe textural do solo, e o posicionamento da cultura no sistema de rotação de culturas.

O trabalho a ser executado com culturas produtoras de grãos se mostra cada vez mais complexo e desafiador, pois a interrelação entre os diversos fatores que afetam o rendimento das culturas está ocorrendo de maneira simplificada, através de monocultivos. A expressão do potencial produtivo está diretamente relacionada ao aprimoramento das práticas agrícolas, tais como a revitalização periódica do solo, pelo aporte de matéria orgânica, adição de remineralizadores e biofertilizantes, e consequente manutenção de sua microbiologia.

Assim, por constituir objetivo de desenvolvimento, elucidar embasamentos que permitam a transição para sistemas ecológicos, que contemplem aspectos técnicos e

agronômicos, éticos, políticos e culturais tornam-se metas de ação dos envolvidos na cadeia de produção de alimentos, além de contribuir para elaboração de políticas de desenvolvimento sustentável (BILLAUD; ABREU, 1999; BALOTA, 2018).

2.1 AGROMINERAIS E REMINERALIZADORES DE SOLOS

Os solos brasileiros, na sua maioria, são ácidos e empobrecidos quimicamente pela ação dos agentes do intemperismo, os quais promovem a lixiviação de nutrientes como K, Ca e Mg. Em função das condições de nossos solos tropicais e da aptidão do território brasileiro em realizar agricultura de maneira intensiva, para alcançar produções agrícolas elevadas, principalmente no setor de grãos é necessário em alguns casos o uso de grandes quantidades de fertilizantes. Assim, o Brasil desponta como um dos maiores consumidores de fertilizantes, o que implica em custos mais elevados na produção (PEREIRA FILHO et al., 2015; MACHADO, 2016).

Quando sua fonte deriva de sais solúveis, parte é absorvida pelas plantas e a outra permanece no solo. Com isso, é relatada certa limitação em sua eficiência devido às perdas de nutrientes por lixiviação, pelo escoamento superficial, emissão de gases e fixação pelo solo (como no caso do fósforo), associado aos altos custos das matérias-primas no mercado internacional (BALIGAR, 2001; MANNING, 2010). Assim, o uso indiscriminado de fertilizantes minerais solúveis ocasiona consequências ao sistema solo-planta, e além dos fatores citados acima o excesso de sais prejudica o crescimento das raízes por duas razões, pela toxicidade e pela salinidade, ou seja, pela elevada pressão osmótica desenvolvida no solo (MALAVOLTA; ROMERO, 1975; PRIMAVESI, 2010).

Nesse sentido, para que o desenvolvimento agrícola no território seja sustentável, torna-se relevante o conhecimento mais aprofundado sobre o solo, e suas interações com o meio ambiente. Como alternativa para o fornecimento de macro e micronutrientes ao solo, minimizar a importação de fertilizantes, e servir como técnica para sistemas agroecológicos e/ou orgânicos, a rochagem vem ganhando aceitação junto a agricultores e instituições de pesquisa, a qual consiste na adição de rochas in natura, que foram submetidas a processos de diminuição do tamanho de partículas, como a moagem, ao solo, promovendo assim a reposição de minerais, formação de novas fases minerais estáveis, elevação da área superficial específica (ASE) e capacidade de troca de cátions (CTC), e posterior disponibilização de nutrientes (SILVA et al., 2012; SOUZA et al., 2017).

Na literatura são encontrados termos similares para descrever a rochagem, como pó de rocha, petrofertilizantes, mineralizador ou remineralizador (RM) (STRAATEN, 2002), e agrominerais, este último é utilizado para descrever as matérias-primas de origem mineral, tais como rochas, resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, passíveis de serem utilizados na agropecuária com efeitos benéficos na fertilização, na correção e ou no condicionamento do solo (MEERT et al., 2009; CASTILHOS; BEZERRA, 2010; LOURENÇO, 2011). A utilização de agrominerais pode ser in natura, ou a partir de processos químicos, como exposição a fontes solubilizantes como ácidos orgânicos (DALMORA et al., 2015; GABOS et al., 2016) e microrganismos eficientes (BASAK et al., 2017), térmicos (termofertilizantes) ou biológicos, com sua incorporação na preparação de biofertilizantes como bokashi, super-magro e compostos orgânicos.

Os conceitos que fundamentam a rochagem, ou a remineralização de solos são descritos como agrogeologia: estudo dos processos geoquímicos envolvidos na formação dos solos, na manutenção dos agroecossistemas, e na utilização de rochas no manejo da fertilidade dos solos e como fonte de nutrientes para as plantas (van STRAATEN, 1987, 2002; RIBEIRO, 2018). O uso do calcário agrícola e fosfato natural são exemplos de técnicas já usuais de rochagem. Os RM podem vir a suprir as necessidades do solo por nutrientes minerais, pois possuem características de serem multi-nutrientes, porém de forma mais lenta que os adubos químicos solúveis. As reações naturais de intemperismo solubilizam os nutrientes contidos em rochas silicáticas ou minerais silicatados, permitindo que os mesmos sejam liberados em taxa equilibrada para serem utilizados em tempo hábil durante o ciclo produtivo das culturas. Os macronutrientes fornecidos pelas rochas, de modo geral são K, P, Ca, Mg e enxofre, além de micronutrientes ou elementos traços (CORONEOS, 1996; MANNING, 2010; SOUZA et al., 2017).

Entre os agrominerais estudados pela pesquisa, e com potencial uso na agricultura, para fins de remineralização estão as rochas silicatadas, as quais possuem distribuição ampla e variável no território nacional (MARTINS et al., 2008; NICHELE, 2006). De todos os minerais do solo, os silicatos formam o grupo mais importante, visto que constituem cerca de 80% das rochas magmáticas e metamórficas (ALMEIDA, 2000). As rochas magmáticas alcalinas utilizadas, por exemplo, são a carbonatita, fonolitos, flogopitos, olivinas e kimberlitos. Já entre as metassedimentares cálcio-silicáticas e produtos de metassomatismo potássico, destacam-se os micaxistos, biotita xisto, flogopita xisto e o biotitito (ANDRADE; MARTINS; MENDES, 2002; CASTRO et al., 2006; MARTINS, 2008; MIEKELEY, 2007; RESENDE et al., 2006; UBIANA et al., 2011).

Os aluminossilicatos e silicatos ferromagnesianos constituem a maioria dos minerais formadores das rochas silicatadas, os quais variam em suas formas estruturais e composição elementar, e podem ser fontes primárias de vários nutrientes requeridos para o crescimento das plantas. Minerais que provem de rochas magmáticas (ígneas) e metamórficas contêm a maior parte dos nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento de plantas superiores. Contudo, há interesse nos silicatos que possuem minerais do tipo, flogopita, biotita ou feldspatóides, porque contêm K em sua composição, além de Ca e micronutrientes, Cu e Zn e por apresentarem maior solubilidade (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; MARTINS et al., 2008; THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010).

Para a utilização racional desses materiais na agricultura, é necessário possuir conhecimentos básicos quanto à composição elementar, bem como dos minerais constituintes. Análises da composição elementar das rochas permitem inferir sobre a capacidade potencial de cada rocha de fornecer nutrientes essenciais, tais como o cálcio, magnésio, potássio, fósforo e alguns micronutrientes; já a identificação dos constituintes minerais permite inferir sobre sua maior ou menor resistência à dissolução pelos processos de intemperismo após a adição aos solos (RIBEIRO, 2018).

Em decorrência da deficiência dos solos brasileiros em P e K, estudos com rochas para o fornecimento desses nutrientes, de modo geral, tiveram o direcionamento para estes dois elementos, mas não menosprezando a importância dos demais no sistema solo-planta-atmosfera (COELHO, 2005).

Neste contexto, muitos pesquisadores têm buscado novas alternativas de insumos agrícolas visando reduzir os custos e potencializar as reações naturais, na fertilização de solos. Cabe ressaltar as importantes contribuições para essa linha de pesquisa, com a criação da rede interdisciplinar de pesquisa Rede Agrirocha em 2003, a qual foi articulada para organizar e desenvolver atividades de avaliação e experimentação com rochas de várias regiões geográficas do país (RESENDE, 2006), e a realização do primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem em 2009, no qual foram apresentados mais de sessenta trabalhos científicos e contou com a participação de profissionais de diversas áreas de interesse (PÁDUA, 2012). Ressaltamos ainda as contribuições do Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo (UDESC-CAV), coordenados pelo professor Jaime Antônio Almeida, e do laboratório de Física e Manejo do Solo (UDESC-CAV), coordenado pelos professores Álvaro Luiz Mafra e Jackson Albuquerque para o avanço da rochagem no Brasil.

2.2 A EFICIÊNCIA DA ROCHAGEM: FATORES ENVOLVIDOS NOS PROCESSOS

Aprimorar e definir procedimentos analíticos para caracterizar a composição química e mineralógica das rochas, se torna tarefa imprescindível para a avaliação do potencial agrônomo, sabendo da natureza complexa dos minerais. A separação dos efeitos da rochagem de forma individualizada não é simples, no que se refere à resposta das culturas, pois a interação de fatores e efeitos conjugados decorrentes de sua utilização envolve características mineralógicas, químicas, granulométricas, solubilidade do material de origem, e do tratamento prévio aplicado, bem como de fatores associados a características e propriedades do solo como pH, textura, conteúdo de matéria orgânica, presença de microrganismos, umidade, tempo de incubação no solo, e características das espécies cultivadas, dentre outros fatores ambientais e de manejo, estão relacionados quanto a eficiência de disponibilizar nutrientes dos agrominerais (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; RESENDE et al., 2006; PÁDUA, 2012; GUELFY-SILVA et al., 2014).

Análises como a difratometria de raios-x, fluorescência e petrografia permitem a semi-quantificação mineral, elementar e geoquímica das rochas, o que auxilia na escolha de materiais que possuam maior efeito como fonte de nutrientes. Os autores Harley & Gilkes (2000) e Martins et al., (2008) destacam a composição elementar e geoquímica das rochas como formas de embasar as respostas obtidas nos ensaios de avaliações agrônomicas. Devido a ocorrência de uma ampla agrogeologia no território nacional, Straaten (2006), Martins et al., (2008) e Lapido-Loureiro & Melamed (2009) exaltam a importância da realização de estudos sistemáticos para identificação e inventariação de possíveis fontes agrominerais, caracterização geoquímica, avaliação agrônoma e econômica de rochas com potencial de fornecer macro e micronutrientes para fertilizar o solo. A mineralogia pode ser utilizada como indicadora do potencial de solubilidade dos minerais e da capacidade de liberação dos nutrientes, dentre eles K, Ca e Mg, pois é sabido que cada mineral possui natureza específica, e apresenta diferenças quanto à susceptibilidade e resistência ao intemperismo (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; MANNING, 2010).

O intemperismo pode ser descrito como sendo o conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que causam a desintegração e a decomposição das rochas e de seus minerais constituintes, resultando na formação de um saprólito ou mesmo de um solo. De forma geral a taxa de intemperismo é condicionada pelo arranjo estrutural do mineral, pelo

tamanho das partículas e condições ambientais e biológicas. O tempo de exposição do material de origem aos agentes do intemperismo como clima, relevo e organismos biológicos determina a taxa de sua transformação (MELO et al., 2009). A série de estabilidade dos minerais de Goldich (GOLDICH, 1938) é uma das ferramentas utilizadas para prever a capacidade de dissolução/solubilização dos diferentes minerais, quando os mesmos estão entre 2 e 0,002 mm de diâmetro, frações que compreendem a faixa da areia e silte. Entre os fatores que devem ser considerados em relação à dissolução mineral e a velocidade de intemperismo, estão o efeito da solução extratora na taxa de dissolução (soluções ácidas, ácidos orgânicos), processos de hidrólise ou ácido-complexólise (WHITE, 2008; FONTES, 2012), pH e força iônica da solução, concentrações de elementos individuais, temperatura, umidade e área superficial reativa (LASAGA et al., 1994; OELKERS et al., 2008). A sequência de alteração mineral está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Estabilidade dos minerais em relação ao intemperismo.

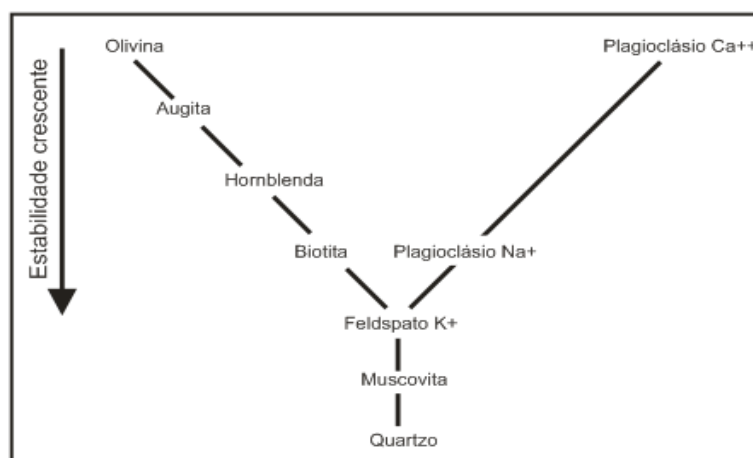


Fig. 3.1 - Sequência de alteração mineral (Goldich, 1938).

Fonte: adaptado de Goldich, 1938.

Entre as problemáticas enfrentadas no uso de pó de rocha se encontram os custos com frete, devido ao custo do combustível, distância da fonte até o destino onde o material seria aplicado e/ou a possibilidade das rochas conterem algum contaminante. Por isso, se recomenda utilizar materiais que possuam jazidas/afloramentos próximos as áreas de cultivo. Ainda, há oposições, baseadas em preocupações ambientais, que argumentam que o fortalecimento da atividade mineral pode gerar impactos negativos, sabendo que o processo de exploração mineral gera um volume considerável de subprodutos, que muitas

vezes não recebem o destino correto. Porém, tais subprodutos da atividade mineral podem ter um uso mais nobre e se transformarem em soluções, se forem aproveitados na atividade agrícola, o que ainda é mais facilitado porque, na maioria dos casos, já se encontram moídos, e ainda poderá favorecer um novo arranjo de integração entre dois setores estratégicos para o desenvolvimento nacional (ALMEIDA et al., 2009).

Autores como Zhou & Huang (2007) e Balland et al., (2010) alertam sobre a real eficiência quanto ao fornecimento dos nutrientes, em quantidades e no tempo adequados a cada cultura, relacionando isso à baixa solubilidade da maioria dos pós de rochas silicatadas, e explicam que geralmente esse se constitui como principal fator limitante ao uso do pó de rocha. Somado a isso, as rochas brasileiras que possuem potencial para a rochagem, geralmente apresentam baixa concentração de nutrientes, necessitando serem aplicadas em grandes quantidades (CORONEOS; HINSINGER; GILKES, 1996).

Porém, outros autores, salientam que essa aparente desvantagem, na realidade é uma vantagem tecnológica da rochagem, pois as plantas requerem e assimilam somente o necessário durante seu desenvolvimento, e o que não foi utilizado permanece no solo, interagindo com microrganismos, ácidos orgânicos, enzimas e processos rizosféricos (ALMEIDA 2000; LEONARDOS et al., 2000; STRAATEN 2007). Ainda, a baixa solubilidade das rochas, é uma alternativa para ambientes com salinidade, pois, auxilia na redução dos problemas com adubação, e em locais de alta precipitação, evita que os nutrientes sejam rapidamente lixiviados. Dessa forma, possibilitada tais interações, o sistema é enriquecido em quantidade, qualidade e diversidade de nutrientes, os quais poderão ser utilizados pelas plantas em safras subsequentes.

2.3 PROCESSOS PARA OTIMIZAR A SOLUBILIZAÇÃO E A EFICÁCIA DOS AGROMINERAIS

A aplicação de pós de rocha in natura ao solo pode ser uma alternativa à utilização de fertilizantes minerais solúveis. Devido a isso, os estudos que propõem a recuperação da fertilidade de solos intemperizados a partir da adição de pó de rocha, sugerem que em muitos casos é necessário interferir de alguma maneira na velocidade do intemperismo, visando acelerar a liberação de nutrientes contidos nos minerais, por processos que aumentem a solubilidade e a eficiência das rochas na liberação de nutrientes (LEONARDOS et al., 2000; LOPES-ASSAD et al., 2010; SILVA et al., 2012).

Para que ocorra a liberação dos elementos que compõem as rochas, elas precisam ser submetidas a alterações físicas, químicas ou biológicas. O intemperismo físico corresponde à desintegração ou desestruturação das rochas e minerais, sem haver mudança na composição química. Entre os processos naturais envolvidos destacam-se o alívio de pressão, efeito térmico da radiação solar e ação mecânica da água, em ciclos contínuos de expansão e contração, baseados no coeficiente de dilatação térmica de cada mineral; efeitos mecânicos de raízes; abrasão por desgaste pelo vento e água líquida e a cristalização de sais e óxidos em poros ou fendas das rochas. Como intervenção antrópica, tem-se como processo chave a moagem, a qual ocasiona fragmentação física, que aumenta a área superficial específica (ASE), e acelera o intemperismo químico, pois a dissolução estrutural dos minerais ocorre em imperfeições ou fraturas em suas superfícies (LUCHESE et al., 2002; BAERE; FRANÇOIS; MAYER, 2015).

Já o intemperismo químico, pode ser descrito como sendo o conjunto de processos químicos que causam a decomposição/dissolução das rochas e de seus minerais constituintes, originando novos minerais, em que água, oxigênio, ácidos orgânicos e inorgânicos são os agentes dessa transformação. Entre os processos envolvidos temos a dissolução, o qual tem efeito mais pronunciado quando os minerais se encontram na forma de sais solúveis em água (halita, gesso agrícola, entre outros), a acidificação da água, que ocorre quando o gás carbônico é dissolvido em meio aquoso ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$), onde essa mesma reação libera íons H^+ ao solo, os quais executam ataques protônicos as ligações que mantem unidos os elementos constituintes da estrutura mineral, ocasionando a reação conhecida como hidrólise (BRAY et al., 2015).

A hidrólise é um dos principais processos de dissolução química de minerais, e é influenciada pelo pH do meio, disponibilidade e renovação da água, temperatura e fluxo lixiviante. Quando o pH é menor que 5, o que é típico de regiões úmidas e com baixas temperaturas, há decomposição incompleta da MOS e formação de ácidos orgânicos, e dissolução parcial e até mesmo total dos minerais primários, processo conhecido como acidólise (KUWAHARA, 2008; BRAY et al., 2015).

Ainda, os processos de oxidação, redução e hidratação completam os processos de intemperismo químico. Especificamente, há pesquisas que demonstram resultados satisfatórios quanto à solubilização de rochas silicatadas, quando são submetidas a tratamentos prévios, como exposição térmica e acidificação, tendo como exemplo a produção de termo fertilizantes (RESENDE et al., 2006; STRAATEN, 2006).

Nos solos, a taxa de dissolução dos minerais é regida pelo desequilíbrio entre a solução do solo e a superfície dos minerais expostos, por meio da remoção de íons por processos como absorção de nutrientes pelas plantas e lixiviação. Elucidando melhor tal conceito, Stumm et al., (1985) e Stumm (1992) explicam que um dos principais mecanismos relacionados à dissolução de minerais, envolve a formação de complexos entre prótons e/ou ligantes na superfície das partículas minerais, possibilitando assim a transição de elementos para a solução solo. A interferência da rizosfera, a atuação dos microrganismos do solo, como fungos e bactérias e outras atividades biológicas podem aumentar a dissolução de minerais por meio da liberação de íons H^+ e da complexação realizada por compostos e ácidos orgânicos que reagem com as superfícies dos minerais (KÄMPF; CURI; MARQUES, 2009).

No entanto, para utilizar de modo eficiente os agrominerais silicáticos os solos precisam apresentar condições biológicas favoráveis e diversas (MARTINS, 2009). A microbiologia do solo se constitui como fator determinante da fertilidade do solo, pois os mesmos tornam os nutrientes minerais biodisponíveis as plantas. É consenso na pesquisa sobre remineralizadores a importância dos processos microbiológicos quanto à eficiência destes, pois o provisionamento dos elementos contidos em suas estruturas dependerá da existência e atuação microbiana. A ação da macro, meso e microfauna do solo são alvo de pesquisa, pois estes organismos estão envolvidos em processos de solubilização das rochas e liberação de nutrientes. Estudos conduzidos por Dalcin (2008), Lopes-Assad et al. (2006, 2010) e Ubiana et al. (2011) ressaltam a importância da biota do solo como agentes biológicos ativos nos processos envolvendo a disponibilidade de nutrientes. As interações sinérgicas proporcionadas por microrganismos com as plantas e nos ciclos de substâncias minerais, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizada por bactérias, ou na micorrização feita por fungos, acabam sendo essenciais para aquisição de nutrientes (WALLANDER; WICKMAN, 1999; BASAK; BISWAS, 2008, 2017).

A maioria das plantas possui relações com fungos micorrízicos e bactérias. Tais microrganismos decompõem tecidos e extraem elementos minerais através da ação catalítica de suas enzimas e exsudação de ácidos orgânicos como o oxálico, cítrico e salicílico. Dessa forma, é facilitada a liberação de nutrientes da rede cristalina dos minerais, e ainda auxiliam na mobilização de nutrientes pelas raízes (THEODORO et al., 2010). As espécies da família Fabaceae (leguminosas) estabelecem relações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Rhizobium sp.* (PRIMAVESI, 2010). A presença de fungos micorrízicos arbusculares no sistema promove o aumento do

P disponível em análises de solo, pois eles possuem a capacidade de solubilizar fósforo, mediante ação de enzimas específicas (HARLEY; GILKES, 2000; CARVALHO, 2012; SMITH; SMITH, 2012; KEUSKAMP et al., 2015).

São muitos os estudos que comprovam a relação de sinergia entre microrganismos e matéria mineral. Primavesi (2010) menciona a *Aerobacter sp.*, *Bacillus sp.* e *Pseudomonas sp.* como sendo capazes de oxidar o silício e mobilizar fósforo na rizosfera. Amostras de feldspatos potássicos em diferentes condições de solo, uma com mais de dois séculos e outra com 10 anos fazendo parte de um solo, apresentaram evidências de intemperismo microbiológico, reveladas por microscópio eletrônico de varredura, por colônias de microrganismos como bactérias e fungos (MANNING; BAPTISTA, 2017).

Autores como Barker et al., (1998) e Basak et al., (2017) explicam que a capacidade de liberação de cátions como K, Mg e Fe é influenciada pela diminuição do pH da solução, devido à associação de prótons com moléculas de ácido orgânico. Contudo, a respiração microbiana, a desintegração de partículas minerais, e o carbono orgânico dissolvido em água podem elevar a concentração de ácido carbônico na superfície dos minerais, em solos e em águas subterrâneas, o que pode aumentar as taxas de intemperismo mineral, por esse mecanismo de dissolução protonada (CALVARUSO et al., 2006).

Outro aspecto importante refere-se à possibilidade de maximizar a liberação de nutrientes das rochas silicáticas mediante processos de biossolubilização ou biointervenção. Nesse sentido, a revisão elaborada por Basak et al., (2017) organiza uma série de estudos desenvolvidos até o momento, e demonstra a existência de microrganismos capazes de solubilizar essas rochas e descreve os mecanismos de mobilização de nutrientes como a dissolução por ácidos orgânicos, a produção de complexos metálicos e ligantes, e a formação de biofilmes na superfície dos minerais. Badr (2006) estudou a inoculação de bactérias do gênero *Bacillus sp.* em processo de compostagem e utilizou o mineral feldspato para avaliar a capacidade de mobilização de K, e constataram efeitos significativos desta prática. Já Sugumaran; Janarthnam (2007) e Grigis et al. (2008), conduziram estudos em laboratório com os minerais muscovita, mica, microclina e ortoclásio, e também concluíram que houve maior liberação de K, e incremento deste mineral na forma solúvel, nos diferentes minerais. Rosa-Magri et al., (2012) utilizando o pó de rocha de origem alcalina e ultramáfica em associação com a fungo *Torulaspora globosa* discutem que houve incremento de 38% da liberação de K do pó de rocha ao inocular esta estirpe.

Autores como Ferrari et al., (2005a) e Tosta et al., (2005) apontam que o caminho para a geração de tecnologias de produção de fertilizantes diferenciados perpassa a biointervenção, pela ação de grupos funcionais específicos e adaptados aos ecossistemas tropicais, podendo contribuir para o suprimento de nutrientes às plantas, com baixo custo econômico e ambiental e, conseqüentemente, consolidar a competitividade da agropecuária nacional. Lopes et al. (2000) e Trindade et al. (2001) verificaram que a colonização micorrízica em mamoeiro, realizada por fungos simbióticos em raízes no solo, aumenta sistematicamente a absorção de K. Nesse contexto, pesquisas combinando microrganismos solubilizadores e fungos micorrízicos poderão ampliar as oportunidades de uso das rochas nos sistemas agrícolas e na produção de mudas.

2.4 RESULTADOS DO USO DE PÓ DE ROCHA

A adição de rochas trituradas ao solo com finalidades agrícolas tem proporcionado resultados satisfatórios para algumas culturas de interesse econômico (KNAPIK; ANGELO, 2007). Como exemplo, a rocha magmática conhecida como fonolito, vem sendo utilizada em experimentos agrícolas. Ela ocorre em jazidas no estado de Minas Gerais e em Lages (SC). Possui aproximadamente 8% de K_2O , 1,5% de CaO , 3,4% de Fe_2O_3 e 7% de NaO , portanto apresenta caráter alcalino. No que se refere à acidez, a qual é relacionada com os teores de SiO_2 , é classificada como intermediária (52-65%). Pesquisas conduzidas por Cortes et al., (2010) e Luz et al., (2010) apresentaram resultados positivos da aplicação agrônômica, e recentemente o pó de fonolito foi licenciado como um novo fertilizante, passível de ser comercializado. Quanto sua forma de obtenção em jazidas, normalmente é gerada como subproduto na mineração de bauxita. Essa rocha apresenta minerais como feldspato potássico e feldspatóides, atuando como fontes de K e Ca.

O relatório técnico escrito por Crusciol (2008) em Poços de Caldas, MG, demonstrou que experimentos a campo com fonolito proporcionaram efeitos semelhantes ao KCl no fornecimento de K e na produtividade de grãos, para as culturas do arroz, feijão, milho e soja, evidenciando esse material como potencial remineralizador de K. Ainda ressalta que para o fornecimento de nutrientes a curto prazo, a granulometria mais fina passa a ser o fator preponderante na eficiência da rocha. Já Wilpert; Lukes (2003) e Teixeira et al., (2015) relataram que os conteúdos foliares de K foram praticamente os mesmos da testemunha, ao aplicar o fonolito ao solo, revelando baixa eficiência do pó desta rocha na liberação do potássio. Contudo, esse comportamento pode ter ocorrido em

função do pouco tempo decorrido entre a incubação com o pó da rocha até a coleta da parte aérea.

Rochas que contenham minerais do tipo flogopita, biotita ou feldspatóides vêm ganhando visibilidade nas pesquisas, pois contêm K, Ca, cobre (Cu) e zinco (Zn) em suas composições, e por apresentam maior solubilidade do que outros minerais (NASCIMENTO; LAPIDO- LOUREIRO, 2004). Estes autores ainda sugerem que a mineralogia pode ser utilizada como indicadora do potencial de solubilidade dos minerais e da capacidade de liberação de nutrientes, entre eles o K. Algumas rochas podem ter efeito na correção da acidez do solo (PRIYONO; GILKES 2008; THEODORO et al., 2010), como constatado o aumento de até uma unidade de pH na aplicação de fonolito ao solo, atribuindo esse fato a presença feldspatóides do tipo nefelina (Na,K) $AlSiO_4$ e leucita: (Na,K) $AlSi_2O_6$ e outros feldspatos alcalinos na sua mineralogia (WILPERT; LUKES, 2003). O uso de rochas brecha piroclástica e flogopito em um Latossolo Amarelo distrófico pobre em K, proporcionou liberação de K e aumento do pH do solo, o que reflete o potencial corretivo desse material e ainda como solubilizador de P (RIBEIRO et al., 2010).

O uso de remineralizadores traz vantagens ao solo, pois aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) por ocorrer à formação de neominerais de argila à medida que ocorre o processo de intemperismo da rocha (MELAMED et al., 2007). A adição de uma tonelada de remineralizador por hectare/ano que contenha K, Ca e/ou P pode devolver a qualidade na fertilidade de solos frágeis, como é o caso dos solos do Cerrado brasileiro (FYFE et al. 1983). As micas, dentre os minerais silicatados, constituem o grande potencial para a extração de K, devido ao seu considerável teor de K_2O e ocorrência abundante.

O ensaio agrônomo realizado por Duarte et al., (2013) com três rochas fontes de potássio (olivina melilitito, sienito e granito) aplicadas a dois solos, demonstrou que a olivina melilitito proporcionou maiores quantidades de potássio nos dois solos testados, apesar da menor quantidade de K_2O no material, e não diferiu do tratamento com KCl em relação à absorção de potássio no cultivo em sucessão de feijão, trigo e trigo mourisco e na disponibilização deste elemento aos solos. Já a aplicação de rochas que contém micas como illita, muscovita e/ou biotita em associação com a inoculação com estirpes de bactérias eficientes (*Bacillus pasteurii*, *B. cereus* e *B. mucilaginosus*) aumentaram significativamente a absorção de K e a produção das culturas do trigo, pimenta, amendoim em experimentos a campo (MIKHAILOUSKAYA; TCHERNYSH, 2005; BADR, 2006; SUPANJANI et al., 2006; YOUSSEF et al., 2010).

Por outro lado, Carvalho (2012) constatou efeitos significativos no aumento do pH, na CTC pH 7 e no fósforo remanescente, 50 dias após o período de incubação de pó de gnaïsse, e 450 dias após a aplicação dos tratamentos, o pó de gnaïsse ainda resultou em incrementos significativos no pH (3%). Ainda, com a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares aos tratamentos com gnaïsse e charnockito, aumentaram a disponibilidade de Ca, Mg e K no solo. Já Wolschick et al. (2016) relatam que o pó puro do basalto, mistura desse pó de rocha com substratos (cama de aviários ou outro tipo de esterco curtido) associados ou não com fertilizantes solúveis, além de melhorar as características químicas dos solos, pode potencializar os efeitos benéficos das rochas, proporcionando o aumento da produtividade das plantas.

Apesar dos basaltos possuírem baixas quantidades totais de potássio, alguns trabalhos têm demonstrado efeitos positivos na absorção de potássio pelas plantas (NICHELE, 2006). Kudla et al. (1996) estudaram o efeito do pó de basalto aplicado sobre um Cambissolo Álico e o crescimento de trigo, com doses variando de 0 a 225 Mg ha⁻¹, obtiveram efeito positivo desse material sobre a produção de grãos, porém com tendência a decrescer com o aumento da dose utilizada. A aplicação isolada de pó de basalto e em associação com esterco bovino proporcionou produtividade satisfatória quando comparadas ao controle no cultivo de morangueiro (KOPANSKI et al., 2012).

Porém, Sékula (2011) avaliando cultivos orgânicos no município de Guarapuava (PR), em área de Latossolo, utilizou o pó de basalto combinado com biofertilizantes como técnicas alternativas de adubação. Nos tratamentos foram utilizadas aplicações foliares de biofertilizantes, ureia líquida e supermagro, respectivamente. Foram avaliadas as culturas de verão como milho, girassol, feijão, soja e de inverno aveia preta, azevém, ervilha e cevada. O estudo concluiu que não alteração na fertilidade do solo, nem no rendimento das culturas entre os tratamentos. Em relação ao NPK, o pó de basalto com ureia líquida e supermagro alcançou resultados inferiores.

A rochagem gera benefícios quanto ao aumento da retenção de água no solo, melhorias no desenvolvimento radicular e na resistência das plantas a intempéries climáticas como veranicos/seca (ANDRADE et al., 2002; BARBOSA FILHO et al., 2000; MACHADO et al., 2005). Ainda, quando sua aplicação é associada ao uso de biocompostos e a outras técnicas de manejo como adubação verde, os efeitos se intensificam, podendo aumentar a mineralização de carbono (C) e N, o que beneficia a ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, contribuindo para a saúde vegetal dos sistemas (MERSI, 1992; MARTINS, 2009).

Outro ponto a ser levado em consideração, é verificar a presença de elementos-traços, tóxicos/contaminantes ou metais pesados nos agrominerais, a fim de evitar possíveis problemas como contaminações ou desequilíbrios nutricionais no sistema solo-planta (MOREIRA et al., 2006). Com isso, atentar sobre os níveis de toxidez de certos metais no solo ao utilizar os pós de rocha, se constitui como ferramenta importante de monitoramento de risco ambiental. De sorte, Resende et al., (2006), Muniz et al (2007) e Martins et al., (2008) citam que não há registros nas pesquisas brasileiras sobre problemas relacionados à contaminação ou à toxidez causados pela aplicação de agrominerais.

Portanto, se as fontes agrominerais possuírem viabilidade agrônômica e econômica, podem ser opção de fertilizantes para os agricultores, o que reduziria os impactos gerados pela grande importação de fertilizantes minerais (THEODORO; LEONARDOS, 2006). A fim de evitar resultados negativos com o uso da rochagem, como na recuperação de solos degradados e/ou intemperizados, é de interesse o conhecimento da mineralogia e conteúdo elementar das rochas, a manutenção da microbiologia do solo, e associar a práticas complementares de fertilização como o uso de plantas de cobertura, esterco, biofermentados e EM, tendo em vista a sua contribuição para os processos de liberação de nutrientes (MARTINS, 2009; BASAK et al., 2017).

2.5 ADUBAÇÃO DE SISTEMAS COM PLANTAS DE COBERTURA

O manejo da biomassa vegetal, utilizando espécies para proporcionar cobertura do solo, manutenção dos teores de matéria orgânica e nutrientes é conhecida como adubação verde, ou plantas de cobertura, e se mostra como uma estratégia fundamental para aumentar a qualidade do solo em sistemas convencionais e orgânicos de produção, além de ser uma prática conservacionista (BUZINARO et al., 2009). Nesse sentido, a utilização de adubos verdes e plantas de cobertura, associada a métodos conservacionistas de preparo do solo pode melhorar a estrutura do solo, infiltração de água, liberação de nutrientes e fornecer resíduos vegetais ao solo (FLOSS, 2000; CLARK, 2012).

Os adubos verdes incorporam substâncias orgânicas ao solo, como exudatos de raízes, biomassa radicular e foliar, ácidos orgânicos e diversas substâncias elaboradas, como aminoácidos e fitormônios (DELARMELINDA et al., 2010). Como efeito dessa prática, pode-se aumentar a matéria orgânica nos horizontes superfícies e a biota do solo, que são fatores fundamentais para equilibrar o sistema, devido o papel dos microrganismos nas reações de decomposição e ciclagem de nutrientes (DORAN; PARKIN, 1994; LAL,

2006). A cobertura morta é um dos pontos-chave do sistema de semeadura direta, que se reflete na fertilidade do solo e na eficiência de absorção dos nutrientes pelas culturas e na redução da erosão (KOCHANN; SELLES, 1991; GARCIA-FRANCO et al., 2015).

Para isso, planejar o sistema de rotação de culturas é fundamental para o funcionamento do sistema de plantio direto, necessitando manter o solo coberto com plantas que se adaptem as condições edafo-climáticas da região (COLBACH, 2014). Alcântara et al. (2000) indicam que o cultivo de adubos verdes antes da safra de verão é uma alternativa para viabilizar a produção de grãos de uma forma mais sustentável, e também estudaram a influência de adubos verdes (guandu, crotalária e pastagem) na recuperação da fertilidade de um solo degradado, e verificaram que as leguminosas contribuíram expressivamente para o aumento da fertilidade. Segundo Oliveira et al. (2000), as principais características na escolha de plantas de cobertura e adubos verdes são a produção de fitomassa e a capacidade de reciclar nutrientes. A associação de pó de rocha e adubos verdes para maximizar a disponibilidade de nutrientes no solo e diminuir os custos de produção, é uma possível solução de adubação em sistemas agrícolas.

Autores como Peregrina et al., (2010) e Ruiz-Colmonero et al., (2013) investigaram o efeito de plantas de cobertura na MOS e concluíram que houve aumento dos teores de carbono orgânico no solo ao adotar essa prática de manejo. Álvarez et al., (1995) atribuíram esse incremento aos aportes de biomassa vegetal e a redução da mineralização ocasionada pelos sistemas conservacionistas, e Boix-Fayos et al. (2009) acrescentam ainda que a redução das perdas de solo por erosão favorece a manutenção dos teores de carbono orgânico no solo.

A utilização de plantas de cobertura do solo possibilita a manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica no solo em sistemas de manejo conservacionista como a semeadura direta ou cultivo mínimo, resultando em menores taxas de perdas de N e maiores taxas de adição de MO no sistema solo (COOPER et al., 2016). De acordo com os mesmos autores a disponibilidade de N para o desenvolvimento das culturas é muito importante, principalmente em solo com baixos teores e degradados. Assim, é necessária a inclusão de leguminosas em sistemas de cultivo para a recuperação dos estoques de C e N do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

O uso de leguminosas como plantas de cobertura constitui importante fonte de N ao solo, devido à associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, capazes de transformar o N₂ atmosférico em NH₃ adicionando C e N ao sistema (DÖBEREINER, 1966; FARIA et al., 2004). Além da adição de C e N, os adubos verdes utilizados como cobertura vegetal

controlam as perdas de solo, aumentam a quantidade de matéria orgânica e diminuem a lixiviação de nitratos para o subsolo (RUFATO et al., 2007). Ervilhaca (*Vicia sativa*), tremoço (*Lupinus albus*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) são exemplos de plantas da família Fabaceae utilizadas como plantas de cobertura.

O uso de ervilhaca evidencia que, além de proporcionar cobertura do solo, dissipar a energia cinética das gotas de chuva e proteger o solo da erosão hídrica, a fornece N para a cultura sucessora, podendo substituir parcial ou totalmente a adubação mineral nitrogenada (AITA; GIACOMINI, 2003). O consórcio de espécies também tem se mostrado vantajoso em relação à produção de biomassa. O consórcio de nabo forrageiro com aveia preta aumentou a produção de fitomassa aportada ao solo quando comparado ao cultivo da aveia preta solteira (SILVA et al. 2006). Assim, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) vem sendo utilizado para adubação verde de inverno e como planta de cobertura do solo, principalmente em sistemas de manejo conservacionista como semeadura direta e cultivo mínimo (CALEGARI, 1990). Outro benefício da introdução do nabo forrageiro é a sua capacidade biológica de descompactação do solo, devido à raiz ser pivotante, bem desenvolvida e agressiva, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002; CALONEGO et al., 2011).

Outra opção de espécie vegetal para cobertura de solo no inverno é a aveia branca (*Avena sativa*), destacando-se como sendo a mais cultivada na região Sul do Brasil, conforme Fontaneli et al. (2009). Estes autores descrevem ainda o seu potencial de produção de biomassa, podendo produzir até 7,0 Mg MS ha⁻¹, sendo ela passível de consórcio com outras espécies, tais como ervilhaca, trevo-branco e azevém (*Lolium multiflorum*).

Os estudos de Rosolem et al. (2003) observaram o potencial da adubação verde, quanto à liberação de K contido na palha como fonte do nutriente em sistemas de rotação de culturas, quando restos vegetais de aveia preta, milho, sorgo, crotalária juncea, braquiária e triticale foram submetidos à simulação de chuva. Foram observadas concentrações de K consideráveis na água percolada, com valores que variaram de 7 a 24 kg ha⁻¹ de K lixiviado de uma cobertura equivalente a 8 Mg ha⁻¹ de matéria seca de palha, com lâminas d'água acumuladas da ordem de 70 mm, sem que houvesse, aparentemente, decomposição do material vegetal.

Quando a prioridade do cultivo de plantas de cobertura for o fornecimento de N à cultura sucessora, a escolha deve recair sobre as fabáceas ou consórcios com

predominância de dessas. Se o objetivo principal for a proteção do solo, o aumento na proporção de poáceas no consórcio deve ser a estratégia escolhida. Neste caso, haverá necessidade de suplementação de N via adubação mineral, cuja dose será tanto mais elevada quanto maior for a proporção de poáceas no consórcio (HEINRICHS et al., 2001).

O emprego de práticas agrícolas como adubação verde e rochagem pode diminuir os custos de produção e propiciar um ambiente com condições propícias para o desenvolvimento das plantas (STRAATEN, 2006). Estudos sobre nutrição de plantas, com finalidade de produção de grãos, utilizando técnicas orgânicas de adubação são necessárias para diminuir a dependência de fertilizantes minerais solúveis. Dessa forma, associar as práticas de manejo conservacionista com a adubação de pó de rocha e adubos verdes pode disponibilizar nutrientes no solo e diminuir os custos de produção (PITTELKOW et al., 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), área situada nas coordenadas geográficas 50° 18' 10,80" O 27° 47' 31,82" S, com altitude geométrica de 920 metros (SIRGAS 2000), no município de Lages, Santa Catarina, durante o período de agosto de 2017 a julho de 2019, sob condições de casa de vegetação (CV) e em laboratório.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS ESTUDAS

Foram selecionadas duas rochas para o estudo, ambas coletadas em Santa Catarina. As rochas foram o fonolito (FN), coletada em Lages -SC, nas coordenadas geográficas 27°38'37''S 50°9'18''O, e a olivina melilitito (OM), coletada no município de Palmeira - SC, nas coordenadas geográficas 27°38'57,33''S 50° 07'51,02''O. Os materiais foram coletados em blocos irregulares das rochas, as quais foram posteriormente britadas e moídas em moinho de grelhas no CAV/UDESC, sendo realizado o quarteamento das amostras, as quais foram peneiradas para caracterização granulométrica.

3.1.1 Análises Granulométricas das Rochas

As amostras foram secas em estufa a 65°C e após foram submetidas ao peneiramento mecânico com peneiras de diferentes malhas, e as frações maiores do que 2 mm foram descartadas. Foi determinada a granulometria da fração inferior a 2 mm de cada rocha a partir de 200g de amostras de material seco, com quatro repetições, no Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo. Foi utilizado um jogo de peneiras de 1,0; 0,5; 0,250; 0,125; 0,053 e <0,053mm com auxílio de um agitador eletromecânico modelo Solotest por 15 minutos, em potência nominal de 8 em uma escala de 1 a 15. Foi escolhida essa configuração por meio de testes empíricos de laboratório, conforme recomenda o fabricante. Ao término de cada bateria quantificou-se em balança analítica a porcentagem de material retido em cada peneira.

3.1.2 Análises Petrográficas

As análises petrográficas foram conduzidas no laboratório LAMIR (Laboratório de Análises de Minerais e Rochas) da Universidade Federal do Paraná, setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia. Após confecção das lâminas, a porcentagem de cada mineral foi obtida por estimativa visual, utilizando microscópio petrográfico Carl Zeiss, modelo AXIO Imager A2m, com sistema de captura e tratamento de imagem AXIO Vision.

3.1.3 Análises de Fluorescência de Raios-X (FRX) das Rochas

As amostras dos pós de rochas foram moídas em almofariz de ágata e posteriormente peneiradas, até atingirem granulometria inferior a 0,053 mm, para então serem por avaliadas por fluorescência de raios X (FRX) como pó não prensado. Foram utilizadas 2g de amostras moídas e acondicionadas em porta amostras padrão com fundo revestido com filme poliéster “mylar” de 3,6 µm.

O equipamento utilizado para análise foi um espectrômetro compacto de energia dispersível de raios-X (EDX), modelo Epsilon 3 da Panalytical, com gerador de potência máxima em alta tensão de 9000 mW, voltagem de 4 a 30 kV e intensidade da corrente de 1 a 1000 µA, com tubos de raios-X de material anodo de ródio (Rh), janela de berílio com 50 µm de espessura e detector diodo Si-PIN com processamento dos dados através de um

analisador multi-canal (MCA). O sistema é alimentado com gás hélio pressurizado e refrigeração eletrônica a ar termoelétrica (Peltier).

A quantificação dos elementos foi feita por um programa denominado OMNIAN, que acompanha o pacote do programa Epsilon, o qual é calibrado a partir de amostras padrões de pastilhas fundidas. Este método foi utilizado na análise de um total de 24 elementos, proporcionando precisão satisfatória, quando comparado aos resultados das análises químicas das rochas.

3.1.4 Análises Químicas Elementares das Rochas

As análises dos elementos maiores e menores das rochas foram feitas por métodos químicos no laboratório com certificação internacional ALS Global, com sede na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. As análises foram realizadas na sede da empresa localizada no Peru, utilizando vários protocolos com quantificação dos elementos por ICP (Inductived Coupled Plasma), totalizando 13 elementos maiores, na forma de óxidos (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cr, Ti, P, Sr, Ba) e 52 elementos menores, foram quantificados (Quadro 1).

Quadro 1 - Procedimentos analíticos utilizados para a determinação dos elementos nas rochas estudadas.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS		
ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-ICP06	Whole Rock Packpage – ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (Leco)	LECO
S-IR08	Total Sulfhur (Leco)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-MS81	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
AO-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	ICP-AES
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018).

3.1.5 Análises Mineralógicas da Rocha

A análise mineralógica das rochas foi realizada no Laboratório de Gênese e Mineralogia dos Solos do CAV/UEDESC, por meio da técnica de difratometria de raios-X (DRX), pelo método de análise do pó. O equipamento utilizado foi um difratômetro Philips, modelo PW 3710, dotado de tubo de cobre, goniômetro vertical, filtro de níquel e monocromador de grafite, ângulo de compensação $\theta/2\theta$, com variação angular de $3,2$ a $42^\circ 2\theta$. A velocidade angular foi de $0,02^\circ 2\theta/s$, em modo por passos (step), com tempo de 1 (um) segundo de leitura por passo.

Os difratogramas foram confeccionados no programa X Pert Highscore Plus, versão 3.0. Os critérios empregados para a interpretação dos difratogramas e para a identificação dos minerais constituintes dos pós das rochas fonolito e olivina melilitio foram baseados no espaçamento interplanar (d) e no comportamento dos reflexos de difração conforme descrição por Jackson (1965), Brindley & Brown (1980), Whittig & Allardice (1986). As tabelas completas contendo os picos de vários minerais consta no endereço: ruff.geo.arizona.edu/ref/Minerals_main.html, que disponibiliza publicamente dados de espectroscopia Raman, difratometria de raios-X, infravermelho e dados químicos de cada mineral.

3.2 SELEÇÃO E COLETA DE SOLO E PLANTAS DE COBERTURA

O estudo foi conduzido com amostras do horizonte superficial (0-20 cm) de um solo classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico, coletado em Vacaria -RS, coordenadas geográficas -28,5956230, -51,0393820. A decisão sobre o solo a ser utilizado no experimento, teve origem entre a parceria entre o Laboratório de Física e Manejo do Solo (CAV-UEDESC) com a Agrícola Capão Alto (BR 116, km 54, Vacaria – RS), local onde são desenvolvidas pesquisas em Agroecologia, Permacultura e Agricultura Orgânica.

No ano de 2016 o agricultor havia adquirido um pó de rocha derivado de basalto e implementado como fertilizante em suas áreas, e o mesmo não apresentou efeitos satisfatórios em relação à produção de grãos. Nisso, foi reunido uma equipe técnica, formada por mestrandos e doutorandos em Ciência do Solo, coordenada pelo prof. Álvaro Luiz Mafra, para discutir os laudos referentes as análises químicas da rocha e os possíveis motivos de não estar apresentando a resposta pretendida. Assim, foi concluído que o

material era ácido ($\text{SiO}_2 > 65\%$) e com baixa soma de bases, o que possivelmente resultou no insucesso da rochagem. Por consequência, o agricultor optou por não mais utilizar esse material, mas o interesse em buscar outras fontes agrominerais continuou. Isso motivou o grupo de pesquisa a persistir sobre a utilização de agrominerais regionais para fertilização de cultivos. Dessa forma, foram identificados os materiais olivina melilitito e fonolito, ambos com ocorrência em Lages -SC, e a ideia de desenvolver um experimento, utilizando o mesmo solo no qual a resposta à rochagem foi insatisfatória ganhou corpo. Assim, as amostras foram coletadas em uma área que ainda não havia recebido rochagem, mas provinda de histórico de cultivo, já agricultada há cinco anos, com uso de calcário apenas no início de utilização da área. Todavia, havia sido cultivado com plantas de cobertura para o inverno e verão como aveia, centeio, nabo e milho ao longo deste tempo.

As plantas de cobertura também foram coletas na Agrícola Capão Alto, em três áreas de produção de biomassa distintas, correspondendo as espécies aveia (*Avena sativa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Todas as espécies estavam sendo cultivadas em forma de consórcio, sistematizadas em aveia + centeio, aveia + ervilhaca e aveia + nabo, e no momento da coleta as plantas estavam nos estádios fenológicos correspondentes ao início de floração.

Foi determinada a produção de massa seca (MS) a campo, com o auxílio de um quadro, com medida de $0,2 \text{ m}^2$, o qual foi arremessado quatro (4) vezes, de forma aleatória nas áreas, e onde ele recaiu, foi ajustado e recolhido a biomassa correspondente a área do quadro, por meio do corte com facão na altura do colo das plantas. Posteriormente, as amostras foram levadas para estufa com circulação forçada a 65°C e secas até atingirem massa constante. Posteriormente foram pesadas em balança analítica, tornando possível o cálculo e extrapolação da produção de MS para cada consórcio: aveia + centeio = $8,01 \text{ Mg ha}^{-1}$, aveia + ervilhaca = $5,42 \text{ Mg ha}^{-1}$, aveia + nabo forrageiro = $5,83 \text{ Mg ha}^{-1}$. A produção de MS por hectare foi utilizada como base para calcular a quantidade de MS para cada vaso de 7 kg de solo, do experimento.

Tabela 1- Composição química média das plantas de cobertura.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg
Aveia	20-30	2,0-5,0	15-30	2,5-5,0	1,5-5,0
Centeio	25-35	2,0-5,0	19-23	2,5-6,0	1,5-6,0
Nabo forrageiro	15-30	1,7-3,0	25-40	15-21,5	7,5-9,5
Ervilhaca	15-25	2,0-5,0	15-20	9,0-12,0	3,0-5,0

Fonte: Adaptado de Calegari (1990; 1998); Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (2009).

3.3 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES QUÍMICAS ANTES DA SEMEADURA

As amostras de solo foram secadas ao ar, em casa de vegetação, destorroadas, moídas e peneiradas com malha de 4 mm. Para as análises químicas, utilizaram-se amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) 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 na relação solo:solução de 1:1, para o cálculo da necessidade de calcário dos solos nos tratamentos correspondentes segundo Tedesco et al. (1995). O P e o K foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RTI) e quantificados, respectivamente, por colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e por fotometria de chama. O teor de argila do solo foi determinado pelo método da pipeta, descrito por Gee & Bauder (1986). A capacidade de campo (CC) foi determinada após a obtenção da massa úmida dos solos com a adição de água destilada e da massa seca após a secagem dos mesmos ao ar, segundo Casaroli e Lier (2008).

Os resultados referente à 0-20 cm de solo foram: pH em água (5,5), pH em KCl (4,61), pH SMP (6,67), cálcio (5,31 cmol/dm³), magnésio (4,56 cmol/dm³), alumínio (0,22 cmol/dm³), H+Al (5,50 cmol/dm³), fósforo em RTI (7,49 mg dm⁻³), potássio em RTI (70 mg dm⁻³) e argila (590 gkg⁻¹).

Todas as análises químicas foram realizadas nos Laboratórios de Física e Manejo do solo e no de Gênese e Mineralogia do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC.

3.4 INCUBAÇÃO DOS SOLO

Conforme o protocolo de avaliação de remineralizadores (EMBRAPA, 2012), os tratamentos com os agrominerais passaram por período de incubação de 15 dias antes da semeadura da soja, período escolhido, devido à necessidade de implantar o experimento na época de plantio ideal, e por não haver tempo hábil para condução desse, a longo prazo. No período que antecedeu a incubação das amostras, o qual foi de 10 dias, ocorreu a aplicação de calcário na dose de 1,1 Mg ha⁻¹, o que equivaleu a 132 g para 240 kg de solo (base seca). Esta dose foi recomendada para elevar o pH a 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016). Os tratamentos com remineralizadores consistiram da aplicação ao solo do pó das rochas

fonolito e olivina melilitito de forma misturada, em granulometria < 0,250mm e posterior homogeneização dos tratamentos com a massa de solo. Totalizando doze tratamentos com presença de remineralizadores em vasos contendo 7 kg de solo em base seca, onde cada tratamento foi realizado com três repetições. Em seguida, foi aplicada água destilada para elevar a umidade até 80% da CC. Assim, os tratamentos ficaram acondicionados nos vasos, com sacos plásticos cobrindo a da abertura dos mesmos, durante o período de incubação.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE SOJA

Para a condução do experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, consistindo em um fatorial 3 x 2, com 12 tratamentos e três repetições. Foram avaliados quatro níveis de coberturas vegetais: 1) aveia + centeio, 2) aveia + ervilhaca, 3) aveia + nabo forrageiro e 4) ausência de cobertura vegetal, combinados com três níveis de adubação: 1) mistura de dois pós de rocha (PDR): olivina melilitito + fonolito, 2) adubação mineral com P, na forma de superfosfato triplo (SFT) e K na forma de cloreto de potássio (KCl) e 3) ausência de adubação. O experimento foi conduzido em CV, em dois ciclos de produção, soja seguido de trigo. Foram utilizados vasos de plástico, com sete (7) kg de solo, em base seca, cultivando 3 plantas de soja, e posterior 4 plantas de trigo.

Disposição dos tratamentos: 1: aveia + nabo-forrageiro (Av/nabo); 2: aveia + nabo-forrageiro + PDR (Av/nabo + PDR); 3: aveia + centeio (Av/Cent); 4: aveia + centeio + PDR (Av/Cent + PDR); 5: ervilhaca + aveia(Av/Erv); 6: ervilhaca + aveia + PDR (Av/Erv + PDR); 7: controle + PDR; T8: controle (sem adubação verde e sem PDR); 9: SFT + KCl + aveia + nabo(Av/Nabo + PK); 10: SFT +KCL + aveia + centeio (Av/Cent + PK); 11: SFT + KCl + aveia + ervilhaca (Av/Erv + PK); 12: SFT + KCl sem adubação verde (controle + PK).

3.5.1 Variedade utilizada para cultivo da Soja (*Glycine max*)

Foi utilizada uma variedade convencional de soja, denominada Monsoy, produzida e disponibilizada pela Agrícola Capão Alto. Trata-se de uma cultivar com adaptação a região sul, com ciclo precoce e indeterminado, duração média de 110 a 120 dias. Apresenta certa tolerância a patógenos de solo e a estresses abióticos.

3.5.2 Tratamentos e Implantação do Experimento com soja em Casa de Vegetação

Para aplicação e incubação dos tratamentos, utilizaram-se as frações granulométricas passantes na peneira de 0, 250mm (filler). As rochas usadas como pós de rocha foram fonolito e olivina melilitio, onde a quantidade total aplicada de pó de rocha foi o equivalente a 2,5 Mg ha⁻¹, onde 1,25 Mg ha⁻¹ foi de Fonolito e 1,25 Mg ha⁻¹ de olivina melilitio.

Após o período de incubação, as amostras de cada tratamento foram homogeneizadas. Foi realizada correção de P₂O₅ com fosforita (24% P₂O₅) nos tratamentos sem adubação mineral com o equivalente a 400 kg ha⁻¹. Os tratamentos com adubação mineral solúvel (convencional), receberam soluções diluídas de superfostato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCL), conforme recomendação preconizada 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, com 240 kg ha⁻¹ de SFT (100 kg P₂O₅ ha⁻¹), e 133 kg ha⁻¹ de KCl (80 kg K₂O ha⁻¹). As sementes de soja foram inoculadas com produto comercial a base de bactérias do gênero *Bradyrhizobium sp.* no momento da semeadura. Foi considerado no cálculo a existência de 2.000.000 kg de solo por hectare da camada arável. A adubação (NPK) para a soja foi feita visando produtividade de 3 Mg ha⁻¹ de grãos. As fontes de NPK foram aplicadas e misturadas no solo após o período de incubação dos mesmos.

O experimento foi conduzido em CV, durante o período 2017 e 2018, em vasos de 8 litros com 7 kg de solo em cada (base seca). Foram semeadas, sem pré-germinação, 10 sementes de soja por vaso. O raleio das plantas de soja foi realizado em apenas uma etapa, após 15 dias da emergência (DAE) das plantas, deixando 3 plantas por vasos até o final do ciclo.

A disposição dos vasos nas bancadas da CV foi aleatorizada a cada 10 dias para que as plantas tivessem as mesmas condições de temperatura, sombreamento e de incidência solar. Durante a condução do experimento, os solos foram mantidos com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo, com pesagens diárias dos vasos e reposição da água evaporada.

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE TRIGO

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, utilizando-se os mesmos tratamentos da cultura anterior, cultivando-se trigo (*Triticum aestivum*), em safra subsequente a da soja, avaliando o efeito residual dos fertilizantes utilizados na cultura anterior, utilizando a mesma unidade experimental, porém com 6 kg de solo em base seca. Foram semeadas 12 sementes por vaso, e o raleio das plantas foi realizado ao 20º dia após emergência (DAE), permanecendo 4 plantas por vaso. Foram reaplicados nos tratamentos com adubação mineral o equivalente a 110 kg ha⁻¹ de SFT, 90 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N) e 50 kg ha⁻¹ de KCl, para expectativa de produção de 3.000 Mg ha⁻¹. Já para os tratamentos com adubação verde, e pó de rocha, somente foi aplicado fosfato natural, o equivalente a 190 kg ha⁻¹. A biomassa vegetal da soja foi triturada em moinho e acondicionada sobre o solo, o equivalente a 1333 kg de MS ha⁻¹, com contribuição média de nitrogênio de 30 g de N por kg de biomassa, considerando a base de necessidade de N em 40 kg ha⁻¹, e perda por decomposição de 10 g de MS por vaso.

A disposição dos vasos nas bancadas da CV foi aleatorizada a cada 10 dias para que as plantas tivessem as mesmas condições de temperatura, sombreamento e de incidência solar. Durante a condução do experimento, os solos foram mantidos com umidade próxima a 80% da capacidade de campo, através de pesagens constantes dos vasos e reposição da umidade com água.

3.6.1 Variedade utilizada para cultivo do Trigo (*Triticum aestivum*)

Foi utilizada a variedade de trigo denominada Mestre, produzida e disponibilizada pelo prof. Clovis Arruda de Souza (Lab. Plantas de Lavoura, CAV-UDESC). Trata-se de uma cultivar com adaptação à região sul, classificada industrialmente como trigo pão/melhorador, com duração de ciclo e maturação média, e possui características de unir qualidade industrial com alto rendimento, e dispensa o manejo de N em pré-espigamento, pois as aplicações iniciais de N costumam ser suficientes para entregar elevado percentual de proteína e força de glúten (W) adequado.

3.7 COLETA DE FOLHAS E ANÁLISES QUÍMICAS DO TECIDO VEGETAL DAS PLANTAS

Foi coletado o terceiro trifólio das plantas soja, no florescimento pleno (estádio R2), 53 dias após a semeadura (DAS) e as folhas bandeiras do trigo no início do florescimento, 40 DAS, conforme descrito pelo manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, EMBRAPA, (2009), para determinação dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg do tecido foliar. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada, a 65 °C, até atingirem massa constante.

O tecido vegetal de ambas as plantas foi moído e posteriormente foi realizada a digestão das amostras, conforme o método de digestão ácida descrito em Tedesco et al. (1995). As concentrações de Ca e Mg no tecido das plantas foram quantificadas em espectrômetro óptico de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Optima® 8300, Perkin Elmer, USA). O P e o K foram determinados por colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e por fotometria de chama, respectivamente. A concentração de N foi determinada por meio de arraste de vapores, em equipamento semimicro Kjeldahl e posterior titulação com H₂SO₄ 0,025M.

Ainda, de posse dos valores de matéria seca total (MST) e dos teores de N, P, K, Ca e Mg foram calculados os teores acumulados (LAVIOLA e DIAS, 2008) no tecido vegetal das plantas avaliadas de acordo com a equação 1.

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

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

3.8 COLETA DOS EXPERIMENTOS

O experimento foi conduzido até a produção de grãos das culturas, onde as plantas de soja foram coletadas no estágio fenológico correspondente a R8, 95% das vagens com coloração madura, 108 DAS, e as plantas de trigo no estágio 92 da escala ZCK, maturidade de colheita/ palhada seca, 90 DAS. A parte aérea (PA) das plantas foi cortada rente ao solo e acondicionada em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada, a 65°C, até massa constante, quando, após pesagem, foi obtida a massa seca da parte aérea (MSPA). As raízes foram separadas manualmente, lavadas em água corrente e secas da mesma forma que a parte aérea. Após o período de secagem na estufa, as raízes foram pesadas

para obtenção da massa seca da raiz (MSR). Com a soma da MSPA e MSR foi obtido a massa seca total (MST) produzida pelas plantas. A quantidade de vagens, panículas e perfilhos foram determinadas no momento da colheita. A produtividade das culturas foi determinada após secagem ao sol, seguida da separação manual dos grãos e ajuste para umidade de 13%.

3.9 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Foram realizados dois períodos de amostragem após o início da condução do experimento, onde a primeira amostragem foi aos 133 dias após o início da incubação (DAII) e a segunda aos 223 DAII. Após a 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 pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (relação solo:solução 1:1) e, conforme Tedesco et al. (1995), os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis do solo e acidez potencial (H+Al). O P e o K^+ e foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RTI). O P foi quantificado por colorimetria (Murphy e Riley, 1962), e o K^+ por fotometria de chama. Como foi utilizado o método da RTI, o qual é submetido à saturação com bicarbonato de sódio (NaHCO_3), não foi possível a obtenção dos valores de Na^+ .

Para simular a extração da solução do solo, foi utilizado o método da pasta saturada, no qual foi pesado 20 g de TFSA em tubos de polietileno (Falcon) de 50 mL, adicionando 20 mL de água ultrapura em cada tubo. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por 15 min, a 150 RPM, e deixadas em repouso por uma hora. Em seguida, foram agitadas por mais cinco minutos e centrifugadas a 2000 RPM por 20 minutos. Após agitação e centrifugação, foram medidos imediatamente na solução o pH e a condutividade elétrica. Após isso, foi pipetado aproximadamente 10 mL dos extratos, a fim de estimar a concentração de íons solúveis. Nas amostras referentes ao cultivo do trigo, foram adicionadas 4 gotas de Superfloc 0,2% para auxiliar na floculação das partículas na pasta saturada. As amostras foram acidificadas com uma gota de ácido clorídrico concentrado.

Os extratos para a determinação dos íons foram passados em filtros de seringa de acetato de celulose de 0,45 micras, com auxílio de bomba a vácuo e balão kitasato. O produto final da filtragem dos extratos foi armazenado em tubos de polietileno com

capacidade de 15 mL e resfriados a 4°C, para posterior análise dos atributos químicos da solução. A concentração dos íons Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, e micronutrientes foi quantificada por ICP-OES. Já o K⁺, foi quantificado por fotometria de chama. Todas as determinações foram realizadas com três repetições.

A partir dos dados de absorção de N, P e K, produção de matéria seca, e teores acumulados nutrientes no tecido foliar, conforme descrito em Moll et al. (1982), foi determinado o índice de eficiência agrônômica (IEA) conforme equação 2

$$IEA = 100 * (\text{Abs. Fonte} - \text{Abs. controle}) / (\text{Abs. Controle} + \text{PK} - \text{Abs. controle})$$

Eq. (2)

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados referentes à produção de MST, produtividade de grãos, os atributos químicos e teor de nutrientes no solo e acumulados no tecido vegetal das plantas de soja e trigo foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, e quando atendido os pressupostos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa estatístico STATGRAPHICS, e as médias comparadas pelo teste t para contrastes, a um nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS ROCHAS

Os resultados expressos na Tabela 2 indicam que o fonolito (FN) apresenta maior percentual de partículas de tamanho grosseiro em relação à olivina melilitito (OLM), com percentual de partículas < 1mm 47,3% a 33,2%, de 1 a 0,5mm 25,8 % a 16,5%, e de 0,5 a 0,25mm 15,4 % a 11,9 %, para FN e OLM respectivamente. Desta forma, é possível indicar que o FN possui composição granulométrica próximo de 88,5% de partículas grosseiras, o que sugere que a rocha pode apresentaram maior resistência à quebra de seus minerais no moinho de grelhas.

Tabela 2 - Percentual médio das granulometrias das rochas.

Rochas	Diâmetro da malha das peneiras (mm)					
	1	0,5	0,25	0,125	0,053	<0,053
	----- % -----					
Fonolito	47,3	25,8	15,4	7,3	3,2	1,0
Olivina melilitito	33,2	16,5	11,9	13,1	19,9	5,4

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

Todavia, no somatório das frações com diâmetro inferior a 0,5 mm a OLM apresentou 38,4 % de sua composição, com 13,1% em relação à 7,3% do FN nas frações entre 0,25 a 0,125mm, 19,9% a 3,2% nas frações entre 0,125 e 0,053mm e 5,4% a 1,0% nas frações menores que 0,053mm. Tal informação pode predizer o comportamento da rocha em relação sua solubilização/intemperização de seus minerais se dá de uma forma mais rápida que o FN.

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES DAS ROCHAS

Na Tabela 3 há os resultados da composição química elementar das rochas, na qual os elementos com maiores concentrações foram determinados e expressos na forma de óxidos (SiO₂) e os microelementos na forma elementar (ppm). Foram demonstrados apenas os conteúdos elementares mais expressivos.

Tabela 3 - Composição química elementar das rochas - ALS (Peru).

Rocha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Cu	Zn
	----- % -----										ppm
Fonolito	53,6	22	3,96	0,88	0,11	9,63	5,71	0,17	0,02	15	146
Olivina Melilitio	38,2	8,84	11,25	13,55	15,05	2,98	2,84	0,19	1,18	101	107

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O valor de SiO₂ para o FN resultou em 53,6%, enquadrando-a como rocha intermediária em relação à acidez. Já a OLM apresentou 38,2% de SiO₂, e foi classificada como ultrabásica. Em relação ao conteúdo de óxidos de Ca, Mg, Na₂O e K₂O do FN foram 0,88%, 0,11%, 9,63% e 5,71% respectivamente, apresentando conteúdo expressivo de óxido de K e óxido de Na. A soma desses teores resulta em 6,7 % e refe-se a soma de bases (Σ CaO+MgO+K₂O). Já a OLM teve soma de bases (SB) de 31,44 % devido o elevado teor

de óxidos de Ca e Mg, 13,55% e 15,05% respectivamente, e ainda pela presença de teores significativos de K₂O e P₂O₅, o que a torna uma possível fonte de Ca, Mg, K e P. Estes resultados conferem com os obtidos por CORTES et al., (2010) e LUZ et al. (2010).

Como o estabelecido pelo artigo 4º da IN 05-06 de 2016, sobre as garantias mínimas dos remineralizadores, a SB do material deve ser maior ou igual a 9% em peso/peso e o teor de K₂O igual ou superior à 1%, assim apenas a rocha OM se enquadra na conformidade no que se refere as especificações químicas elementares. Porém se incluirmos o teor de Na₂O à SB, a rocha FN pode se adequar as conformidades. Se analisarmos as rochas de maneira conjunta, numa estratégia multinutriente, elas podem servir como fontes de Ca, Mg, K e P. Ainda, ambas as rochas apresentaram conteúdos expressivos de cobre (Cu) e zinco (Zn), micronutrientes importantes para as plantas (KERBAUY, 2004). Estas rochas ao serem aplicadas ao solo podem fornecer os macronutrientes Ca²⁺ Mg²⁺, K⁺, P, Mn²⁺ e Fe³⁺, e micronutrientes ou elementos traços como Cu²⁺ e Zn²⁺ (LAPIDO; RIBEIRO, 2009). Desta forma, a utilização conjunta das rochas FN e OLV como fertilizante multinutriente pode aumentar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas.

Em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes nos materiais, os valores obtidos para ambas as rochas se situaram abaixo dos limites máximos preconizados pela IN 05-06 de 2016 (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores dos elementos tóxicos real observado e limite permitido (*) nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS.

Rocha	Arsênio (As)		Cádmio (Cd)		Mercúrio (Hg)		Chumbo (Pb)	
	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite
----- ppm -----								
Fonolito	4,7	15	<0,5	10	0,034	0,1	37	200
Olivina melilitito	2,8	15	<0,5	10	0,038	0,1	16	200

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

4.3 ANÁLISES POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX) DAS ROCHAS

Da mesma forma que a apresentação dos resultados nas análises químicas elementares, os resultados obtidos pela técnica de fluorescência de raios-X (FRX), expostos na Tabela 5, os elementos com maiores concentrações foram determinados e expressos na forma de óxidos e os microelementos na forma de ppm.

Tabela 5 - Composição elementar das rochas por fluorescência de raios x (FRX) – Laboratório CAV/UEDESC.

Rocha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	----- % -----				ppm	
			CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	CuO	ZnO
Fonolito	58,14	23,62	1,37	0,09	6,58	0,37	0,001	0,19
Olivina melilitito	37,75	10,37	15,27	14,91	3,58	1,54	0,014	0,12

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

Os resultados das análises elementares por FRX corroboram com os resultados das análises químicas elementares das rochas por fusão total (ICP), descritas anteriormente (Tabela 3). O teor de SiO₂ por FRX para o FN foi de 58,14%, 4,54% maior em relação ao ICP, e os teores de CaO, K₂O e P₂O₅ foram 0,49%, 0,87% e 0,35% superiores ao ICP respectivamente. Somente o teor de MgO o ICP apresentou maior conteúdo 0,11% em relação a 0,09 % no FRX. Já a OLM apresentou maior concentração de SiO₂ por ICP, 0,7% a mais do que em relação a FRX (37,75%), e de óxidos de Mg, cerca de 0,14% a mais. Os teores de K₂O e P₂O₅ por FRX foram 3,58% e 1,54% respectivamente, e também se mostraram maiores do que em relação ao ICP, 0,74% e 0,44%. Contudo a diferença entre os valores é muito próxima, indicando que ambos os materiais podem contribuir para a liberação de quantidades satisfatórias de nutrientes para as plantas durante o processo de dissolução da rocha.

4.4 ANÁLISES PETROGRÁFICAS

Os resultados da composição mineralógica das rochas estão apresentados na Tabela 6. Sobre o exame mesoscópico do FN, discrimina-o como uma rocha ígnea, não alterada, de cor cinza escura, com granulação muito fina a fina, possuindo granulometria da matriz menor que 0,1 mm e microfenocristais com até 0,1 mm, estrutura de fluxo e textura

microporfirítica muito fina a fina. Ao exame microscópico, apresenta textura microporfirítica muito fina a fina, estrutura de fluxo e alteração incipiente.

Tabela 6 - Composição mineral das rochas segundo análise petrográfica.

Composição Mineral		Fonolito	Olivina melilitito
		-----	% -----
Clinopiroxênio	Aegerina	15	
	Diopsídio		15
Feldspato	Alcalinomatriz - Sanidina	45	
Feldspatóide	Matriz – Nefelina	35	
	Microfenocristais (Nefelina)	5	
Flogopita			30
Melilita			40
Minerais opacos			5
Olivina			10

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

Já a petrografia do FN revelou presença de feldspatos alcalinos do tipo sanidina, totalizando uma semi-quantificação de 45% da constituição do FN por esse mineral, seguida de 40% de nefelinae 15% de clinopiroxênios do tipo aegirina e diopsídio.

Ao exame mesoscópico, a OLM é descrita como rocha ígnea, não alterada, de cor cinza escura, com granulação muito fina a média, possuindo granulometria menor que 1,0 mm a 5,0 mm, estrutura maciça e textura fanerítica inequigranular muito fina a média. Ao exame microscópico apresenta textura fanerítica inequigranular muito fina a média, com estrutura maciça e alteração moderadamente alterada.

A petrografia indicou para a OLM uma semi-quantificação mineral com predomínio de melilitas, próximo de 40% de sua constituição, seguida de flogopitas (30%), clinopiroxênios (15%), 10% olivinas e 5% de minerais opacos. Essington (2015) aponta que é pouco comum a ocorrência de minerais do grupo dos sorossilicatos, tais como akermanita e gehlenita, e do grupo das melilitas, em solos mais intemperizados, uma vez que tais minerais apresentam baixa resistência ao intemperismo. Porém são minerais frequentes na constituição da rocha olivina melilititos.

4.5 ANÁLISES MINERALÓGICAS DAS ROCHAS POR DRX

O difratograma do pó da rocha do FN (figura 2), revela constituição mineral muito semelhante àquela indicada pela análise petrográfica, tendo sido identificados os reflexos característicos dos minerais nefelina $\text{Na}_3\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$, grupo dos feldspatóides (tectossilicatos) nos picos de primeira e segunda ordem 4,21 Å (angstrom) e 2,58 Å respectivamente, o mineral do grupo das zeólitas analcima $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot (\text{H}_2\text{O})$, através dos picos de primeira e segunda ordem 5,61 Å e 3,44 Å, sodalita $\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al})_3 \cdot (\text{O}_{12}\text{Cl})$, grupo dos feldspatos, nos reflexos 6,27 Å e 3,6 Å, e do feldspato alcalinoalbita $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, com reflexos de primeira ordem de 4,85 Å e 3,18 Å e reflexos de menor intensidade nos picos de 2,32 Å, 2,12 Å, 1,85 Å e 1,79 Å. Ainda a difratometria captou a presença de outros minerais do grupo dos feldspatos, por meio do reflexo em 6,39/6,51 Å.

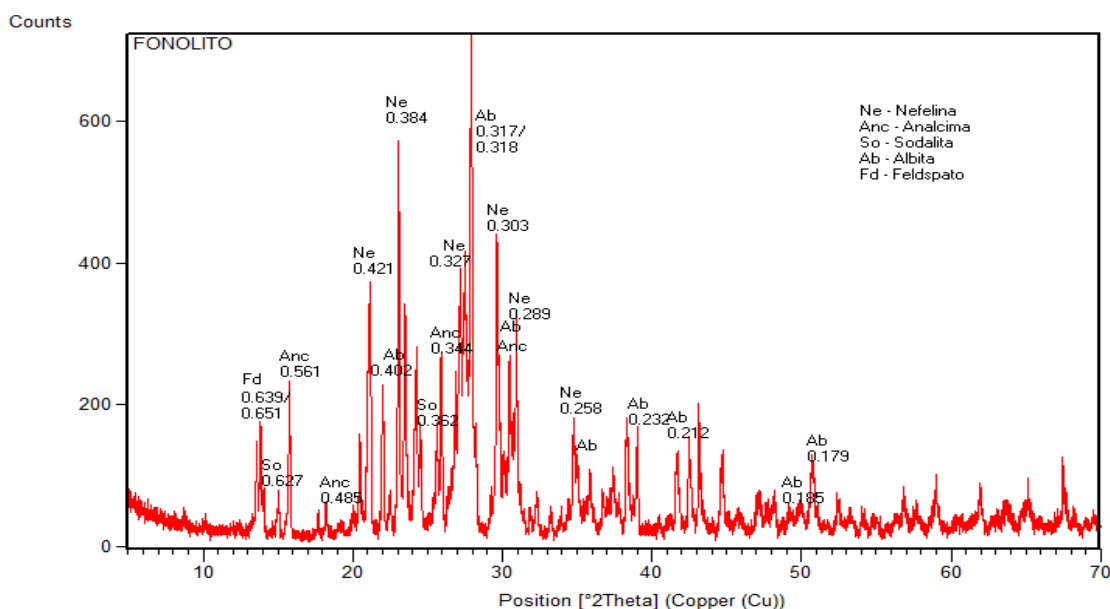


Figura 2 - Difratograma de raios-X do pó da rocha fonolito. Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

A mineralogia indicada pela DRX difere dos resultados da análise petrográfica (Tabela 6), pois o DRX indicou picos de correspondência com a analcima, sodalita e albita, que não foram constatados pela petrografia, em detrimento ao clinopiroxênio aegerina e ao feldspato alcalino sanidina. Ambas as técnicas indicam presença de minerais do tipo nefelina. Assim, é possível concluir que há a presença de elementos como o Na e K na composição mineral da rocha FN, o que pode ser evidenciado pelos elevados teores de NaO e K_2O na análise elementar da rocha.

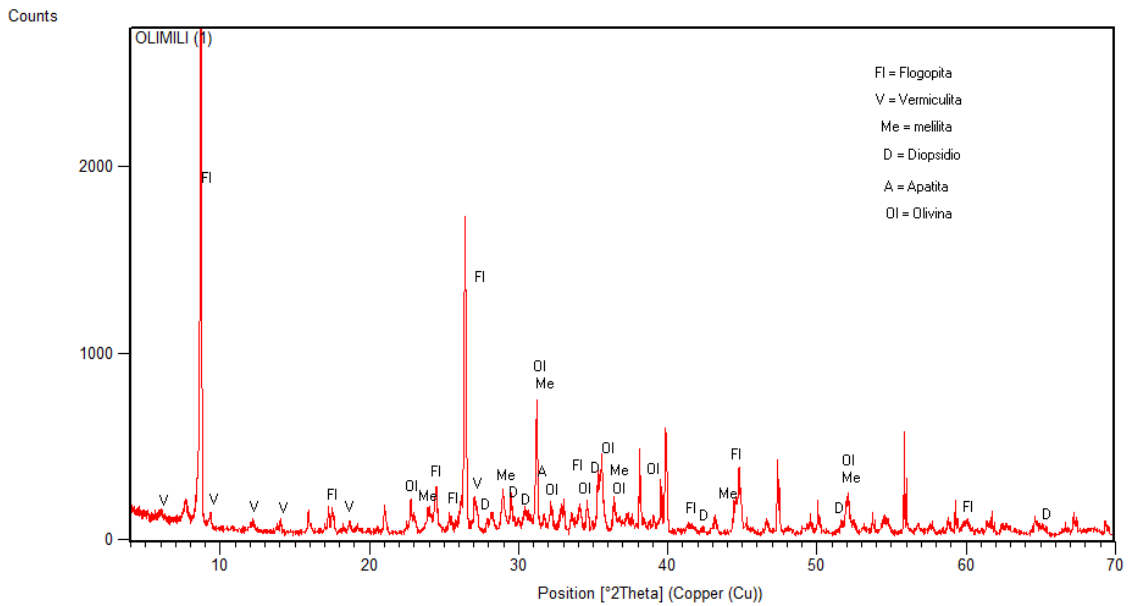


Figura 3 - Difratoograma de raios-X do pó da rocha olivina melilitito. Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2019.

Os minerais identificados por DRX na rocha OLM (Figura 3) foram a flogopita - $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$, do grupo das micas (filossilicato), a vermiculita $Mg_{0.7}(Mg, Fe, Al)_6(Si, Al)_8O_{20}(OH)_{4.8}H_2O$, minerais do grupo das olivinas (fayalita - (Fe_2SiO_4) /forsterita (Mg_2SiO_4), o piroxênio (sorossilicato) diopsídio ($CaMgSi_2O_6$), a melilita (akermanite - $Ca_2MgSi_2O_7$)/gehlenita - $Ca_2Al(SiAl)(O_7)$ e a apatita (hidroxiapatita - $Ca_5(PO_4)_3(OH)$). As análises de DRX indicaram estreita semelhança dos minerais presentes com a petrografia, com acréscimo representado pela detecção da presença de apatitas e vermiculitas, o que é um possível indicativo da transformação das flogopitas no estado sólido, para vermiculitas, o que é coerente com os resultados da análise petrográfica, que indicou pequena quantidade de argilominerais nas fraturas submilimétricas da rocha.

A presença de pequena quantidade de apatitas na rocha, com o reflexo de baixa intensidade em torno de 2,81 Å, indica também compatível com os teores relativamente altos de fósforo confirmados pelas análises elementares, próximo de 1,2% de P_2O_5 . Os reflexos de maior intensidade no difratograma foram do mineral flogopita, o que poderia ser um indicativo de que este seria o mineral dominante na amostra, entretanto, os dados químicos elementares e a análise petrográfica indicaram, respectivamente, baixas quantidades de potássio e semi-quantificação de flogopita menor que a melilita. Portanto, deve ter ocorrido segregação e, ou orientação das partículas do mineral flogopita na porção superficial do porta-amostra durante a análise do pó. De qualquer modo, a presença de quantidades relativamente altas de flogopitas e de apatitas são características pouco

comuns em olivinas melilitos descritas em outros ambientes (SCHEIBE, 1986; DUNWORTH; WILSON, 1998).

Considerando os resultados mineralógicos da petrografia e da difratometria de raios X em conjunto, as rochas FN e OLM apresentaram composição de minerais essenciais e acessórios com relativa facilidade de solubilização, qualificando-as como potenciais multinutrientes, de liberação de Ca, Mg, K e P quando aplicadas aos solos na forma de pó de rocha.

4.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO – FERTILIDADE DO SOLO NO PÓS COLHEITA DE SOJA E TRIGO

As condições químicas iniciais do Latossolo Bruno, referentes às amostras de solo (0-20 cm) constatavam níveis altos de Ca e Mg, de 5,31 e 4,56 cmolc dm³ respectivamente, alto teor de P em RTI, de 32,21 mg dm⁻³ e 4,0 mg dm⁻³ (baixo) em Mehlich-1, teor alto de K, de 65 mg dm⁻³ (0,166 cmolc dm⁻³) e 120 mg dm⁻³ (0,306 cmolc dm⁻³), determinado respectivamente em RTI e Mehlich-1. Ainda apresentava valor médio de pH em água (pH H₂O), igual a 5,5 e pH SMP de 6,67, saturação por alumínio (m%) baixa, de 2,2% e saturação de bases (V%) média de 64,90%. Tais resultados apresentam limitações para a produção de grãos no que se refere à disponibilidade de P às plantas, devido sua baixa concentração no solo, e ainda pelo fato de o solo possuir alto teor de argila (590 g kg⁻¹). Após a aplicação do equivalente a 1,1 Mg ha⁻¹ de calcário no solo antes de sua incubação, houve incremento no valor médio de pH H₂O.

Em relação aos valores de pH H₂O e pH em CaCl₂ foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos nos dois tempos, tanto para o pH H₂O quanto para o pH CaCl₂. Os valores de pH H₂O variaram de 6,16 a 6,48 aos 133 DAII, e os tratamentos controle e Av/Erv + PK apresentaram valores significativamente menores que os demais. Souza et al. (2015) explicam que a diminuição do pH H₂O se deve ao aumento da concentração salina no solo, ocasionado pela adição de adubos solúveis de reação ácida, e somado a esse fato, há incremento na taxa de mineralização da MO das amostras.

No tratamento Av/Cent o pH H₂O (6,48) aos 133 DAII, foi superior aos outros tratamentos, sendo o restante igual entre si. Tal situação contraria a hipótese de que a decomposição da MOS acidificaria o solo. No primeiro momento de avaliação não foi evidenciado efeitos expressivos na alteração do pH pelos remineralizadores.

Tabela 7 - Valores de pH H₂O (relação 1:10) e pH CaCl₂ (0,01M) aos 133 e 223 dias após início da incubação (DAII)

Tratamentos	pH H ₂ O		pH CaCl ₂	
	133 DAII	223 DAII	133 DAII	223 DAII
	Pós soja	Pós Trigo	Pós Soja	Pós Trigo
Aveia + Centeio	6,48 a	7,12 abc	5,99 ab	6,31 abc
Aveia + Ervilhaca	6,29 ab	7,07 abcd	5,89 ab	6,25 abcde
Aveia + Nabo	6,35 ab	7,20 a	5,93 ab	6,35 ab
Controle	6,16 b	6,89 e	5,80 b	6,17 cd
Aveia + Centeio + PDR	6,36 ab	7,02 bcde	6,03 a	6,26 abcde
Aveia+ Ervilhaca + PDR	6,26 ab	7,18 ab	5,97ab	6,38 a
Aveia + Nabo + PDR	6,33 ab	7,01 bcde	5,92 ab	6,30 abcd
Controle + PDR	6,35 ab	7,04 abcde	5,95 ab	6,24 abcde
Aveia + Centeio + PK	6,39 ab	7,03 abcde	6,00 ab	6,28 abcde
Aveia + Ervilhaca + PK	6,16 b	6,95 de	5,82 b	6,15 e
Aveia + Nabo + PK	6,33 ab	6,92 de	5,92 ab	6,19 bcd
Controle + PK	6,35 ab	7,00 cde	5,87 ab	6,22 bcde
Média Geral	6,32	7,04	5,92	6,26
CV (%)	18	4	12	9

Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

Aos 223 DAII, os valores de pH H₂O se situaram entre 6,89 a 7,20, com maiores valores observados no tratamento Av/Nabo (7,20), 0,31 unidades a mais que o tratamento controle (6,89). O tratamento Av/Erv + PDR demonstrou pH H₂O 7,18, o qual só foi inferior ao tratamento Av/Nabo, o que evidencia o efeito residual dos remineralizadores na elevação do pH. Ainda, os tratamentos Av/Nabo + PK e Av/Erv + PK foram iguais entre si, e somente foram superiores ao controle o que evidencia a acidificação no solo decorrente da reaplicação de fertilizantes solúveis e decomposição da MO. Embora apresente diferenças estatísticas entre os demais tratamentos, os valores obtidos foram muito próximos. Ainda é importante salientar, que os valores de pH H₂O aos 223 DAII foram maiores que ao 133 DAII, tal aumento pode ser atribuído também ao balanço na absorção de nutrientes, pois o trigo possui preferência na absorção de N na forma de nitrato (NO₃⁻). Föse et al., (1991) explicam que quando o trigo absorve mais ânions, ocorre liberação de hidroxilas no solo, ocasionando aumento do pH do solo, e também pode ser indicio de liberação de HCO₃⁻ na rizosfera (ERNANI, 2016), ou ainda pela presença de compostos orgânicos, que se formam na decomposição dos resíduos vegetais, favorecendo a adsorção de íons H⁺ (LOURENZI et al., 2016). Os exsudatos radiculares podem estimular a atividade biológica, e assim potencializar os processos de solubilização das rochas.

Os estudos de Lopes-Assad et al, (2006) com a solubilização de dois pós de rocha, pela ação do fungo *Aspergillus niger*, verificaram redução do pH nos primeiros sete dias de incubação nos tratamentos com ultramáfica alcalina e flogopitito, no entanto, na ultramáfica os valores voltaram a aumentar a partir desse período, o que não ocorreu com o flogopitito. Segundo esses autores, a elevação do pH na ultramáfica alcalina deve estar associada a liberação de bases contidas nos minerais dessas rochas, e, portanto, o efeito acidificante da solubilização fúngica e microbiana é neutralizada. Nichele et al., (2009) trabalhando com fonolito, constataram que o pH do solo aumentou de 4,7 para valores que variaram entre 5,1 e 5,6, porém sem diferença entre os tratamentos. A característica do pó de rochas básicas ou alcalinas em promover aumento no pH do solo, como demonstrado por Gillman (1980) e Gillman et al. (2001) na Austrália, pela aplicação de doses elevadas de rochas basálticas em solo de baixa fertilidade de floresta, também foi verificado por THEODORO & LEONARDOS (2006), pela utilização de rocha vulcânica em solo arenoso. Apesar das rochas possuírem teores relativamente altos de CaO e MgO, os materiais contribuíram de maneira significativa na elevação do pH do solo apenas aos 223 DAII, evidenciado através do tratamento Av/Erv + PDR. Tal resultado corrobora com os encontrados na literatura e é condizente com a dinâmica de solubilização dos pós de rocha utilizados.

Por outro lado, quando são analisados os valores de pH CaCl₂ (0,01M), o qual corrige a condutividade elétrica, pois no solo há certa concentração salina, melhora a decantação da argila suspensa e facilita a leitura do pH, é possível observar variação de 5,80 a 6,03 aos 133 DAII em que os tratamentos controle e Av/Erv + PK apresentaram os menores valores de pH CaCl₂ 5,80 e 5,82 respectivamente sem diferenças, diferindo somente do tratamento Aveia + Centeio +PDR, o qual apresentou maior pH CaCl₂ (6,03). Já aos 223 DAII, os valores pH CaCl₂ encontraram-se entre 6,15 e 6,38, e o tratamento Av/Erv + PDR foi estatisticamente superior aos demais, 0,23 unidades a mais que o controle. Há de ressaltar ainda os tratamentos Av/Nabo, Av/Cent, Av/Nabo + PDR, com valores de pH CaCl₂ 6,35, 6,31 e 6,30, onde o tratamento Av/Nabo foi superior a ambos e inferior ao tratamento Av/Erv + PDR. Geralmente a leitura do pH em CaCl₂ é 0,5 unidades abaixo do pH em H₂O, e ao comparar os valores de pH H₂O com os analisados em sal, pode ser evidenciado que os valores de pH obtidos em água foram superiores aos obtidos em sal (Tabela 7) numa faixa de 0,4 unidades de pH aos 133 DAII, e aos 223 DAII, a diferença média de pH CaCl₂ e pH H₂O foi de 0,7 unidades. Tal comportamento é

indicativo de predomínio de cargas negativas no solo (ERNANI, 2016), onde o saldo de carga líquida negativa, indicada pelos valores negativos do ΔpH ($\text{pH KCl} - \text{pH água}$), condizentes com a mineralogia da fração argila do Latossolo Bruno, composta por caulinita e argilominerais 2:1 com ou sem polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, interestratificados caulinita-esmectita (C-E) e com pouca ou nenhuma gibbsita (INDA et al., 2010; HECKMAN et al., 2013; CUNHA et al., 2014; TESTONI, 2015).

Sobre os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis no solo, somente foram observados efeitos significativos na concentração de Ca^{+2} aos 223 DAII (Tabela 8). Os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} , de forma geral, aumentaram em relação a concentração inicial do solo, sendo as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} aos 133 DAII maiores que ao 223 DAII o que pode ser explicado pelo consumo deste nutriente pelas culturas. As faixas de concentração de Ca^{+2} e Mg^{+2} foram são altas, para o Ca^{+2} a concentração é maior que $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e o Mg^{+2} é maior que $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 8 - Teores de cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{2+}) aos 133 e 223 dias após início da incubação (DAII).

Tratamentos	$\text{Ca}^{+2} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$		$\text{Mg}^{+2} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	
	133 DAII Pós soja	223 DAII Pós trigo	133 DAII Pós soja	223 DAII Pós trigo
Aveia + Centeio	8,43 a	7,36 ab	2,98 a	3,28 a
Aveia + Ervilhaca	8,38 a	7,36 ab	2,69 a	3,34 a
Aveia + Nabo	8,38 a	7,08 b	2,77 a	3,18 a
Controle	8,37 a	7,20 ab	2,94 a	3,20 a
Aveia + Centeio + PDR	8,53 a	7,46 a	3,31 a	3,32 a
Aveia+ Ervilhaca + PDR	8,39 a	7,37 ab	2,62 a	3,30 a
Aveia + Nabo + PDR	8,41 a	7,51 a	3,04 a	3,38 a
Controle + PDR	8,49 a	7,55 a	3,30 a	3,31 a
Aveia + Centeio + PK	8,35 a	7,39 ab	3,28 a	3,28 a
Aveia + Ervilhaca + PK	8,41 a	7,36 ab	3,04 a	3,22 a
Aveia + Nabo + PK	8,37 a	7,47 a	3,06 a	3,28 a
Controle + PK	8,44 a	7,24 ab	2,98 a	3,24 a
Média	8,41	7,36	3,00	3,27
CV (%)	16	22	43	19

Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de t à 5% de significância.

A correção inicial do pH do solo com calcário dolomítico, o qual disponibiliza quantidades expressivas de Ca^{+2} e Mg^{+2} ao solo, deve ter contribuído para o comportamento apresentado, pois com a aplicação do calcário, os sítios de troca catiônica,

antes ocupados por Al^{+3} e H^+ , passam a ser preenchidos por bases trocáveis, e como o calcário possui solubilidade maior que os pós das rochas estudadas, diminuiu o efeito na liberação de nutrientes, e ainda auxiliou também no aumento da S e V% e, concomitantemente, disponibilidade de nutrientes na solução do solo, que será exposto mais adiante (CAIRES et al., 2008b; JORIS et al., 2013; RASTIJA et al., 2014). Ainda, essa menor disponibilidade de nutrientes, pode estar relacionada com o tamanho, constituição e velocidade de solubilização das partículas minerais dos pós de rocha, tendo ciência que o pH do solo estava alto, o que reduz a velocidade de intemperismo, afetando a eficiência e a liberação dos nutrientes para o solo no curto prazo.

A concentração de Ca^{+2} aos 223 DAII, variou de 7,08 a 7,55 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e os tratamentos controle + PDR, Av/Nabo + PDR, Av/Nabo + PK e Av/Cent + PDR, apresentaram as maiores concentrações com 7,55, 7,51, 7,47 e 7,46 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente diferindo apenas do tratamento Aveia + Nabo que apresentou menor concentração de Ca^{+2} , 7,08 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 8). A faixa de interpretação para este nutriente é alta, e as variações entre os tratamentos só foi evidenciada na pós-colheita do trigo, e principalmente nos tratamentos que haviam recebido pó de rocha. Dessa forma, é possível afirmar que a mistura dos pós das rochas FN e OLM contribuíram na liberação residual de Ca^{2+} ao solo, o que é positivo, no sentido de dissolução de quantidades aceitáveis de bases no curto período de condução do experimento, e condizente com os teores de Ca^{2+} no somatório das rochas. Ainda, a soma dos teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} em todos os tratamentos citou-ou muito acima (média de 10 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do valor que é considerado adequado pela Comissão de Química e Fertilidade dos Solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2016) para esses cátions, que é de 5,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Autores como Melfi; Levi (1971) apontam o cálcio como um dos elementos mais facilmente liberados da estrutura cristalina dos pós de rocha, e ainda Hipolito (1972) relata em seu trabalho com basalto, que mesmo considerando os teores totais de Ca na rocha, os quais não são elevados, o elemento deveria apresentar maior solubilidade, pois o Ca está contido nas vesículas de carbonatos e nos feldspatos calcosódicos, que são de fácil intemperização. Ainda, Nichele (2006) e Silva (2007) avaliaram o efeito da aplicação do pó de basalto em doses crescentes, as quais atingiram a máxima de 10 Mg ha^{-1} , e não verificaram diferenças significativas dos teores de Mg entre os tratamentos, mas ambos observaram aumentos nos teores de magnésio com o incremento da dose do pó de basalto. Já Motta et al. (1992) avaliando o efeito da aplicação de doses de basalto variando de 0 a 50

t ha⁻¹, observaram que a liberação de Mg pelo pó de basalto é muito baixa. Sawhney (1972) e Melo et al. (2009) afirmam que durante o intemperismo de certos minerais do solo a disponibilidade de alguns cátions, especificamente K⁺ e Mg⁺² pode diminuir pela neoformação de minerais, ligação em óxidos de Fe e Al, ou ainda fixação em minerais cloritizados ou do tipo 2:1. Tal fenômeno poderia explicar também a ocorrência de incrementos negativos na disponibilidade de Mg e K de alguns tratamentos. Segundo Escosteguy & Klamt (1998), diferenças na liberação de Ca e Mg entre pós de rocha com iguais teores totais desses elementos também podem estar relacionadas a esses fenômenos de indisponibilização.

Os teores de P foram influenciados significativamente nos dois tempos de amostragem, e em todos os tratamentos. A concentração de P no tempo 133 DAI foi superior que o teor de P (32,21 mg dm⁻³) no início da incubação (Tabela 9). Os valores de P aos 133 DAI variaram de 35,33 a 55,90 mg dm⁻³, e o tratamento Av/Erv + PK apresentou os maiores teores (55,90 mg dm⁻³) com concentração 1,58 vezes maior que a concentração no tratamento controle (35,33 mg dm⁻³), seguido pelo tratamento Av/Nabo + PK (54,59 mg dm⁻³) que diferiu dos demais, sendo inferior apenas ao tratamento Av/Erv + PK, e 1,54 vezes maior que o tratamento controle.

Tabela 9 - Teores de fósforo (P) e potássio (K⁺) extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RTI).

Tratamentos	P mg dm ⁻³		K ⁺ cmolc dm ⁻³	
	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo
Aveia + Centeio	43,23 abc	31,09 f	0,081 ab	0,053 a
Aveia + Ervilhaca	39,50 c	40,55 bcde	0,092 ab	0,065 a
Aveia + Nabo	42,95 abc	37,98 cdef	0,083 ab	0,049 a
Controle	35,33 c	31,52 f	0,059 b	0,061 a
Aveia + Centeio + PDR	39,40 c	33,53 def	0,094 a	0,066 a
Aveia+ Ervilhaca + PDR	40,80 bc	44,02 abc	0,070 ab	0,065 a
Aveia + Nabo + PDR	41,59 abc	39,43 cdef	0,071 ab	0,063 a
Controle + PDR	36,29 c	32,18 ef	0,061 ab	0,060 a
Aveia + Centeio + PK	45,72 abc	51,62 a	0,071 ab	0,055 a
Aveia + Ervilhaca + PK	55,90a	41,35 bcd	0,094 a	0,062 a
Aveia + Nabo + PK	54,59 ab	38,96 cdef	0,069 ab	0,066 a
Controle + PK	45,42 abc	49,53 ab	0,068 ab	0,059 a
Média	43,39	39,35	0,076	0,061
CV(%)	22,03	24,29	26,5	19,6

Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

Os tratamentos Av/Cent, Av/Cent + PK, Av/Nabo, Av/Nabo + PDR e Controle + PK de respectivas concentrações 43,23, 45,72, 42,95 e 41,59 mg dm⁻³ foram iguais entre si,

e diferiram estatisticamente dos tratamentos controle, controle + PDR, Av/Cent + PDR, Av/Erv e Av/Erv + PDR, os quais apresentaram as respectivas concentrações 35,33 36,29 , 39,40 , 39,50 e 40,80 mg dm⁻³.

O aumento no teor de P aos 133 DAI foi constatado nos tratamentos que receberam adubação mineral solúvel, na forma de SFT, quando comparado aos demais, que apenas foram corrigidos com fosfato natural (Pnat), o qual possui menor capacidade de solubilização. Nos tratamentos com pó de rocha, aos 133 DAI, apenas se observou incrementos no conteúdo de P no tratamento Av/Nabo + PDR, indício que, apesar da rocha apresentar conteúdos relativamente baixos de P₂O₅ (1,18%) (Tabela 3), parece ter contribuído na liberação de quantidades de fósforo durante o período de cultivo da soja. Foi escolhido o método da RTI para determinação de P e K pelo fato de ele melhor simular o ambiente rizosférico de absorção, em relação aos extratores ácidos Mehlich-1/3, os quais se constituem de uma mistura de ácidos diluídos, e que tendem a superestimar a concentração do elemento em solos quando são aplicados fosfatos naturais, não fornecendo valores confiáveis do “P disponível” (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Aos 223 DAI os teores de P se situaram entre 32,52 e 51,62 mg dm⁻³, onde o tratamento Av/Cent + PK (51,62 mg dm⁻³) teve a concentração superior a 1,63 vezes em relação ao controle, que atingiu 32,52 mg kg⁻¹ de P, sendo ele o mais expressivo, seguido pelo tratamento controle + PK (49,53 mg dm⁻³), que também recebeu adubação solúvel com SFT, e estava com concentração 1,57 vezes a mais que o controle. Há de se destacar ainda o teor de P no tratamento Av/Erv + PDR (44,02 mg kg⁻¹), que apenas foi menor que os supracitados, se mostrando superior aos demais tratamentos e 1,35 vezes maior que a concentração do Controle. Os três tratamentos que receberam cobertura Av/Nabo não diferiram entre si aos 223DAI, sendo apenas superiores aos tratamentos Av/Cent + PDR (33,53 mg dm⁻³), controle + PDR (32,18 mg dm⁻³), controle (31,52 mg dm⁻³) e Av/Cent (31,09 mg dm⁻³), onde estes dois últimos foram inferiores estatisticamente aos tratamentos que receberam coberturas de Av/Nabo, Av/Cent + PDR e controle + PDR. Aos 223 DAI é perceptível a diferença no teor de P nos tratamentos que receberam adubação solúvel, os quais incrementaram os níveis de P no solo. Contudo, a interação no tratamento Av/Erv + PDR, com o efeito aditivo do Pnat de fosforita (24% P₂O₅), o qual foi aplicado no momento da semeadura do trigo (equivalente a 190 kg ha⁻¹), se mostrou uma estratégia passível de ser replicada quanto ao fornecimento e liberação de P para o solo, sabendo que essa fonte é menos solúvel, mais persistente e ainda há a contribuição a longo prazo na

liberação de Patravés da rocha OLM, pois a mesma contém próximo de 1,18% de P_2O_5 , representado pelo mineral apatita, o qual foi identificado pela análise mineralógica.

Ainda, essa disponibilidade de P relatada no tratamento Av/Erv + PDR pode estar relacionada à presença dos teores de silício (Si) presentes nos pós do FN e da OLM, visto que este elemento desloca o P dos sítios de adsorção (ou ocupa-os preferencialmente) na argila e nos sesquióxidos (GRASSI FILHO, 2003), reduzindo assim, sua adsorção, que no caso de solos argilosos é ainda maior. O trabalho conduzido por Silva (2007), com a aplicação de pó de basalto num Nitossolo Bruno, de textura muito argilosa, também observou aumentos nos teores de fósforo extraível com aplicação de pó de basalto. O mesmo foi constatado por NICHELE (2006) em um Cambissolo Húmico de textura média. Já MOTTA et al. (1992) verificaram aumento no P extraído pelo método ácido Mehlich 1 em solos fertilizados com pó de rocha, principalmente em solos com baixo teor de argila. Apesar dos resultados expressarem efeitos de maior significância na alteração dos teores de P com a aplicação de SFT, o tratamento Av/Erv + PDR evidenciou contribuição na liberação de P ao solo. A literatura ainda carece de informações sobre os teores de P extraídos pelo método da RTI em trabalhos envolvendo Pnat e remineralizadores.

De forma geral os teores K^+ no solo diminuíram após o início do período de incubação do Latossolo Bruno (Tabela 9), quando comparado com a concentração inicial de K^+ ($0,166 \text{ cmolc dm}^{-3}$). Essa redução pode ser explicada pela calagem, que aumenta as cargas elétricas negativas no solo, e faz com que parte do K^+ da solução do solo migre para as cargas negativas criadas (CASTRO; CRUSCIOL, 2013; ERNANI, 2016). Foram observados efeitos significativos nos teores de K^+ apenas aos 133 DAII, onde os valores variaram entre 0,059 e 0,094 cmolc kg^{-1} , no qual os tratamentos Av/Cent + PDR e Av/Erv + PK, de respectivas concentrações 0,94 e 0,94 cmolc kg^{-1} mostraram-se superiores aos demais e com concentrações 1,59 vezes a mais que o tratamento controle ($0,059 \text{ cmolc kg}^{-1}$), o qual também foi o que menos contribuiu na liberação de K^+ . Os demais tratamentos não diferiram entre si, e foram significativamente menores que os dois tratamentos supracitados e maiores que o controle. A contribuição da biomassa vegetal no tratamento Av/Cent na liberação de K^+ ao solo pode ser uma das explicações para o efeito sinérgico neste tratamento, Rosolem et al. (2003) verificaram que a decomposição da biomassa vegetal pode contribuir expressivamente na liberação de K^+ , e o que mesmo pode ser rapidamente lixiviado do sistema.

As experiências a campo com o conceito de biointervenção de minerais silicatados, através de incubação de rochas com microrganismos eficientes na liberação K e utilização

de rochas em processos de compostagem, obtiveram efeitos significativos quanto à produtividade de grãos e liberação de K para o sistema. Mikhailouskaya e Tchernysh (2005) trabalhando com rochas que apresentavam em sua composição minerais como muscovita e biotita, com a inoculação de estirpes locais de rizobactérias, constataram efeitos positivos na colheita de grãos de trigo e no aporte de K ao solo, em comparação com o controle. Meena e Biswas (2013) realizaram compostagem de materiais ricos em mica, e enriqueceram o processo com o fungo *Aspergillus awamori*, e perceberam que a alteração sofrida pela rocha incrementou a colheita de grãos de soja e aumentou os teores de K no solo em comparação com o composto controle. O resultado positivo na liberação de K no tratamento Av/Cent + PDR em relação ao tratamento Av/Cent + PK aos 133 DAI, corrobora com os resultados obtidos na liberação de K com a bio-intervenção de minerais silicatados.

Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos aos 223 DAI. Os valores se situaram entre 0,049 e 0,066 cmolc dm⁻³. Todavia, isso não significa que a rocha não esteja liberando potássio, o que será evidenciado e discutido adiante, através da concentração desse nutriente na solução do solo e na análise de K no tecido vegetal. Resende et al., (2006) trabalharam com a aplicação de doses crescentes de remineralizadores, e não encontraram efeitos significativos sobre a liberação e disponibilidade inicial de K⁺. Ainda que o aumento da dose do remineralizador não tenha efeito significativo na disponibilidade imediata de K no solo, a partir dos valores de referência para a recomendação de adubação propostos por Raij et al. (2001), cujos níveis adequados de disponibilidade de K situam-se entre 0,08 e 0,21 cmolc dm⁻³, o remineralizador apresenta potencial de suprimento de K para muitas culturas agrícolas.

Os resultados obtidos por Barbosa Filho et al. (2006) observaram maior teor de K liberado pelo olivina melilitito em relação às demais fontes naturais utilizadas, quando avaliaram pós de rochas silicatadas como fontes de potássio incubados durante 180 dias, em dois Latossolos com variação quanto à textura. Tal constatação não foi percebida com o decorrer do tempo na condução deste experimento, onde não houve diferença estatística aos 223 DAI.

Houve redução dos teores de Al⁺³ e H + Al⁺³ nos dois períodos de amostragem em relação a concentração inicial de Al⁺³ de 0,22 cmolc dm⁻³ e de 5,50 cmolc dm⁻³ para H + Al⁺³. Sobre os teores de Al⁺³, somente foi constatado diferenças estatísticas entre os tratamentos aos 133 DAI, onde os valores foram classificados como muito baixos e

variaram entre 0,04 e 0,08 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. O tratamento Av/Nabo obteve o valor mais elevado (0,08 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 10).

À medida que o pH do solo aumenta, diminui a atividade do Al na solução do solo, pois o mesmo atinge a constante do produto de solubilidade e se transforma em precipitado ($\text{Al}(\text{OH})_3$), o que minimiza os efeitos deletérios desse elemento às culturas (CRISTANCHO et al., 2014; RUTKOWSKA et al., 2015). Contudo, os valores de Al^{+3} , por serem muito baixos, não exerceram efeito fitotóxico nas plantas. Dessa forma, seria esperado maior aporte de nutrientes disponíveis na solução do solo, o que repercutiria positivamente na produtividade das plantas.

Tabela 10 - Teores de alumínio trocável (Al^{+3}) e H + Al (acidez potencial) em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Tratamentos	Alumínio (Al^{+3}) $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$		H + Al $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	
	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo
Aveia + Centeio	0,04 b	0,06 a	1,41 c	1,45 bc
Aveia + Ervilhaca	0,04 b	0,06 a	1,81 abc	1,61 abc
Aveia + Nabo	0,08 a	0,07 a	1,47 c	1,56 abc
Controle	0,07 ab	0,06 a	1,91 abc	1,66 ab
Aveia + Centeio + PDR	0,06 ab	0,07 a	1,59 bc	1,58 abc
Aveia + Ervilhaca + PDR	0,05 ab	0,06 a	1,73 abc	1,53 abc
Aveia + Nabo + PDR	0,05 ab	0,07 a	1,64 bc	1,35 c
Controle + PDR	0,07 ab	0,06 a	1,71 abc	1,47 bc
Aveia + Centeio + PK	0,04 b	0,07 a	1,59 bc	1,51 abc
Aveia + Ervilhaca + PK	0,05 ab	0,07 a	2,48 ab	1,58 abc
Aveia + Nabo + PK	0,05 ab	0,06 a	1,85 abc	1,72 ab
Controle + PK	0,05 ab	0,06 a	2,57 a	1,77 a
Média	0,05	0,06	1,81	1,57
CV (%)	40,94	16,62	31,21	11,60

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019. Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

Em relação à acidez potencial (H + Al), foram observados diferenças estatísticas nos dois períodos de amostragem, onde os valores no tempo 133 DAI variaram de 2,57 a 1,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, com maior valor no tratamento controle + PK (2,57 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), o qual também diferiu dos demais, sendo essa concentração respectivamente 1,8 e 1,7 vezes a mais que os tratamentos Av/Cent (1,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e Av/Nabo (1,47 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) os quais foram os significativamente menores que os demais. Sobre os teores de H + Al aos 223 DAI a amplitude de variação foi pequena, onde valores se encontraram entre 1,77 a 1,35 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, mas, novamente o tratamento controle + PK foi estatisticamente superior aos demais e 1,3 vezes maior que o tratamento Av/Nabo + PDR (1,35 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), o menor

significativamente, evidenciando o efeito da dissolução ácida na manutenção da acidez potencial do solo. Ainda, os tratamentos Av/Cent e controle + PDR, de respectivas concentrações 1,45 e 1,47 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, se mostraram inferiores ao teor de H+Al do tratamento H+Al. Sendo assim, leva-nos a crer que o efeito conjunto e residual das rochas, contribuíram para a diminuição dos valores de acidez potencial, no solo estudado.

Tabela 11 - Valores de soma de bases (SB), CTC pH 7 e CTC efetiva em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e relação Ca/Mg.

Tratamentos Pós Soja – 133 DAI	Soma de bases (SB) $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	CTC pH7 (T) $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Saturação por Bases (V%)	Saturação por Al (m%)	Relação Ca/Mg	CTC efetiva (t) $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Aveia + Cent	11,49 a	12,91 abc	89,12 a	0,34 b	2,82 ab	11,53 a
Aveia + Erv	11,16 a	12,98 abc	86,08 ab	0,34 b	3,11 ab	11,20 a
Aveia + Nabo	11,23 a	12,71 c	88,39 a	0,76 a	3,02 ab	11,32 a
Controle	11,38 a	13,29 abc	85,54 ab	0,60 ab	2,92 ab	11,45 a
Aveia + Cent + PDR	11,93 a	13,52 abc	88,20 a	0,53 ab	2,60ab	11,99 a
Aveia + Erv + PDR	11,08 a	12,81 bc	86,53 ab	0,47 ab	3,19 a	11,13 a
Aveia + Nabo + PDR	11,53 a	13,17 abc	87,53ab	0,49 ab	2,79 ab	11,58 a
Controle + PDR	11,85 a	13,56 abc	87,47 ab	0,64 ab	2,63 ab	11,92 a
Aveia + Cent + PK	11,70 a	13,29 abc	88,07 a	0,36 b	2,56 b	11,74 a
Aveia + Erv + PK	11,54 a	14,03 ab	82,49 b	0,47 ab	2,82 ab	11,60 a
Aveia + Nabo + PK	11,50 a	13,35 abc	86,12 ab	0,43 b	2,78 ab	11,55 a
Controle + PK	11,50 a	14,07 a	82,05 b	0,50 ab	2,88 ab	11,55 a
Média	11,49	13,31	86,47	0,49	2,84	11,55
CV (%)	4,60	5,59	4,02	39,68	12,17	4,58
Tratamentos Pós Trigo – 223 DAI	SB $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	T $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	V %	m %	Relação Ca/Mg	t $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Aveia + Cent	10,79 ab	12,24 ab	88,17 ab	0,60 a	2,27 a	10,86 ab
Aveia + Erv	10,76 ab	12,37 ab	86,96 bc	0,61 a	2,20 a	10,83 ab
Aveia + Nabo	10,31 b	11,88 b	86,83 bc	0,68 a	2,23 a	10,38 b
Controle	10,46 ab	12,12 ab	86,30 bc	0,59 a	2,25 a	10,52 ab
Aveia + Cent + PDR	10,74 ab	12,33 ab	87,14 abc	0,69 a	2,22 a	10,82 ab
Aveia + Erv + PDR	10,73 ab	12,26 ab	87,51 abc	0,57 a	2,23 a	10,79 ab
Aveia + Nabo + PDR	10,95 a	12,31 ab	89,03 a	0,65 a	2,22 a	11,02 a
Controle + PDR	10,91 a	12,39 ab	88,10 ab	0,60 a	2,28 a	10,98a
Aveia + Cent + PK	10,73 ab	12,24 ab	87,66 abc	0,66 a	2,25 a	10,80 ab
Aveia + Erv + PK	10,64 ab	12,23 ab	87,07 abc	0,65 a	2,28 a	10,71 ab
Aveia + Nabo + PK	10,81 ab	12,54 a	86,21 bc	0,55 a	2,27 a	10,87 ab
Controle + PK	10,54 ab	12,31 ab	85,62 c	0,60 a	2,23 a	10,60 ab
Média	10,70	12,27	87,22	0,62	2,25	10,77
CV (%)	2,98	2,87	1,59	16,13	2,37	2,98

Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância

Como teores de Al^{+3} e de H+Al em geral diminuíram, era esperado que a saturação por Al (m%) também diminuísse entre os tratamentos, e isso foi evidenciado, independentemente da fonte de variação utilizada, o que pode ser observado na Tabela 11.

A m% inicial do solo era baixa, próximo de 2,2% e após os 133 DAII e 223 DAII a porcentagem média para ambos os períodos foram de 0,49 e 0,62 % respectivamente, o que evidência a influência da calagem na redução dos valores de m%.

O limite considerado crítico para a maioria das culturas é de 20-30% de m%, e nas condições experimentais, o Al^{+3} não exerceu toxidez para as plantas avaliadas. Somente foram evidenciados efeitos significativos na m% aos 133 DAII, onde os valores variaram entre 0,34 a 0,76%, com o tratamento Av/Nabo (0,76%) superior aos demais. Os tratamentos Av/Cent, Av/Erv, Av/Cent + PK e Av/Nabo + PK, de valores 0,34, 0,34, 0,36 e 0,43 foram iguais entre si e significativamente menores que os demais tratamentos. Os tratamentos que receberam pó de rocha ficaram com a m% iguais entre si. A soma de bases (SB) trocáveis não foi influenciada pelos tratamentos no tempo 133 DAII, a qual variou de 11,08 a 11,93 $cmol_c\ dm^{-3}$. O valor médio de SB foi maior no tempo 133 DAII (11,49 $cmol_c\ dm^{-3}$) em relação ao tempo 233 DAII (10,70 $cmol_c\ dm^{-3}$). Já aos 223 DAII, os valores se situaram entre 10,31 e 10,95 $cmol_c\ dm^{-3}$, onde os tratamentos Av/Nabo + PDR, Controle + PDR foram significativamente maiores que os demais. O tratamento Av/ Nabo obteve o menor valor para SB, e os demais foram iguais entre si. Dessa forma, é possível evidenciar a contribuição residual nos tratamentos com pó de rocha na soma de bases trocáveis do solo.

Em relação à CTC pH 7 (T), que corresponde à SB mais a acidez potencial, foram constatadas diferenças significativas nos dois tempos de amostragem, onde os valores médios foram inferiores ao valor T inicial do solo (15,68 $cmol_c\ dm^{-3}$). No tempo 133 DAII os valores variaram entre 12,71 e 14,07 $cmol_c\ dm^{-3}$, e o tratamento controle + PK (14,07 $cmol_c\ dm^{-3}$) diferiu dos demais. Os demais tratamentos foram iguais entre si. Já aos 223 DAII a amplitude na variação dos valores de T foi baixa, variando de 11,88 e 12,54 $cmol_c\ dm^{-3}$. O tratamento Av/Nabo + PK, apresentou maior T e diferiu do tratamento Av/Nabo com menor valor de T. Os demais tratamentos não diferem entre si.

A saturação por bases (V%) média dos tratamentos, nos dois tempos de amostragem foi superior a 50% e a V% inicial do solo (64,90%), 86,47% aos 133 DAII e 87,22% aos 223 DAII, que são valores altos e indicativos de caráter eutrófico nas condições experimentais (ALMEIDA et al., 2010; SANTOS et al., 2017). Aos 133 DAII o V% variou de 82,05 a 89,12 %, no qual os três tratamentos que receberam o fator nível de cobertura Av/Cent e o tratamento Av/Nabo foram significativamente maiores que os demais. A V% do tratamento Av/Cent (89,12%) foi 1,1 vezes maior que o tratamento

controle + PK (82,05%), que foi o menor resultado entre os tratamentos. Os demais tratamentos foram estatisticamente iguais entre si.

Já aos 223 DAI, os valores variaram entre 85,62 e 89,03%, e as diferenças estatísticas constataram cinco grupos de homogeneidade entre os tratamentos. O tratamento Av/Nabo + PDR (89,03%) diferiu significativamente dos demais, seguido pelo tratamento controle + PDR (88,10%), onde ambos tiveram a V% 1,03 e 1% maior que a V%, do tratamento controle + PK (85,62%), a qual foi a menor entre os resultados. Os tratamentos Av/Cent + PDR, Av/Cent + PK, Av/Erv + PDR e Av/Erv + PK de respectivas V% 87,14, 87,66, 87,51 e 87,07 foram estatisticamente iguais entre si e superiores aos tratamentos AV/Erv, Av/Nabo, Av/Nabo + PK e o controle, de respectivas V% 86,96, 86,83, 86,21 e 86,30. A partir desses resultados, é possível inferir que há contribuição residual dos pós de rocha na liberação de nutrientes ao longo do tempo, tendo em vista o desempenho superior do tratamento Av/Nabo + PDR na concentração de V% aos 223 DAI.

A relação Ca/Mg subiu 2,3 e 1,8 vezes em comparação a relação Ca/Mg no início da incubação dos tratamentos, de 1,2 para 2,84 no tempo 133 DAI e 2,25 aos 223 DAI (valores médios). No tempo 133 DAI o tratamento Av/Erv + PDR diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo relação Ca/Mg 3,19:1 e o tratamento Av/Cent + PK foi o estatisticamente menor. A literatura aponta que a relação Ca/Mg do solo varia pode variar entre 0,5 a 10:1, sem que haja comprometimento no rendimento da maior parte das culturas, pois a mesma acaba sendo afetada quando há não superioridade da concentração de Mg em relação ao Ca (CQFS RS/SC, 2016). Desta forma, em um período de incubação mais curto, a interação existente no tratamento Av/Erv + PDR incrementou o teor de Ca no solo, e elevou a relação Ca/Mg durante o período de cultivo da soja. Na avaliação aos 223 não houve diferenças estatísticas entre a relação Ca/Mg entre os tratamentos. Em relação a CTC efetiva do solo ($t\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$) só foram constatadas diferenças estatísticas aos 223 DAI onde os tratamentos Av/Nabo + PDR ($11,02\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$) e controle + PDR ($10,98\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$) tiveram concentrações 1,05 vezes a mais que o tratamento Av/Nabo ($10,38\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$), que foi o menor estatisticamente, diferindo dos demais tratamentos. Com isso, é possível apontar contribuição residual de nutrientes, da mistura entre os pós de rocha de FN e OLM em relação à CTC efetiva do solo.

4.7 PRODUÇÃO DE GRÃOS E MASSA SECA DAS PLANTAS DE SOJA E TRIGO

Foram constatadas diferenças entre os tratamentos em todos as variáveis analisadas durante o cultivo da soja. De modo geral, a estatística obtida pela diferença mínima significativa (LSD), pelo teste t, apontou que todos os tratamentos foram diferentes no que se refere à produção de grãos (exceto o tratamento Av/Erv + PK), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) que em relação ao tratamento controle (Tabela 12).

Tabela 12 - Número de vagens por planta e vaso, número de grãos, produção de massa seca e massa de mil sementes das plantas de soja, cultivadas em casa de vegetação.

Tratamentos (soja)	Nº Vagens /pl	Nº Vagens /Vas	Nº Grãos	MSPA ¹ (g)	MSR ² (g)	MST ³ (g)	MMS ⁴ 13%
Aveia + Cent	39 ab	118 ab	294 a	92,53 abcd	3,49 b	96,02 bc	178,4ab
Aveia + Erv	39 ab	117 ab	284 ab	94,21 abcd	4,25 ab	98,45 bc	183,7ab
Aveia + Nabo	36 b	108 b	272 ab	92,77 abcd	4,14 ab	96,91 abc	180,3ab
Controle	36 b	107 b	256 b	89,54 d	3,78 b	93,33 c	184,2 ab
Aveia + Cent +PDR	40 ab	119 ab	288 ab	98,90 ab	5,41 a	104,31a	180,1ab
Aveia + Erv + PDR	39 ab	116 ab	288 ab	97,59 abc	4,44 ab	102,03ab	181,2ab
Aveia + Nabo + PDR	37 ab	111 ab	281 ab	95,31 abcd	4,35 ab	99,66 abc	188,5 ab
Controle + PDR	38 ab	113 ab	279 ab	91,45 bcd	4,26 ab	95,71 bc	174,2 b
Aveia + Cent + PK	41 a	124 a	294 a	99,26 a	4,77 ab	104,03a	176,7ab
Aveia + Erv + PK	37 b	110 b	259 b	91,34 cd	4,71 ab	96,05 bc	185,1ab
Aveia + Nabo + PK	36 b	109 b	270 ab	93,14 abcd	4,30 ab	97,44 abc	182,8 ab
Controle + PK	35 b	106 b	258 b	90,49 cd	3,92 b	94,42 bc	189,3 a
Média	37,7	113,2	227	93,88	4,32	98,20	182,1
CV (%)	7,55	7,55	7,75	5,15	18,79	5,24	4,55

- Massa seca da parte aérea; 2- Massa seca de raiz; 3- Massa seca total; 4- Massa de mil sementes. Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias denotam diferença estatística significativa pelo teste de t à 5% de significância.

Em relação ao número de vagens por planta, o tratamento Av/Cent + PK diferiu dos demais, produzindo 41 vagens por planta, 6 vagens a mais que no tratamento controle + PK, o qual foi o que menos produziu dentro do grupo de homogeneidade composto por Av/Erv + PK, Av/Nabo, Av/Nabo + PK e controle. Os tratamentos Av/Cent, Av/Cent + PDR, Av/Erv, Av/Erv + PDR, Av/Nabo + PDR e controle + PDR foram superiores aos supracitados e inferiores apenas ao tratamento Av/Cent + PK. Desempenho similar de produção foi observado para a variável número de vagens por vaso e número de grãos/tratamento, onde o tratamento Av/Cent + PK produziu 124 vagens, 17 vagens a mais que o tratamento controle + PK, o qual novamente foi o inferior entre os avaliados. Cabe destacar a produção de 199 vagens por vaso do tratamento Av/Cent + PDR, com maior produção em relação ao seu grupo de homogeneidade.

Sobre a produção de grãos novamente o tratamento Av/Cent + PK diferiu dos demais, porém, desta vez, não foi o único dentro do grupo de homogeneidade superior onde o tratamento Av/Cent obteve a mesma produção de grãos. Os tratamentos Av/Erv + PK (259 grãos), controle (256 grãos) e controle + PK (258 grãos), foram os que menos expressaram o potencial produtivo em relação a produção de grãos. Os tratamentos que receberam pó de rocha obtiveram produções estatisticamente iguais entre si, porém, superiores aos supracitados. Os tratamentos Av/Cent e Av/Cent + PK, com produção superior média de 37 grãos, se mostram como alternativa para compor um possível sistema de rotação de grãos para produção de soja.

Sobre a produção de MSPA, MSR e MST, os tratamentos Av/Cent + PDR, Av/Cent + PK e Av/Nabo + PDR se mostraram superiores os demais. Sobre a MSPA o tratamento Av/Cent PK (99,26 g) obteve rendimento superior sobre os demais, seguido dos tratamentos Av/Cent + PDR (98,90 g) e Av/Erv + PDR (97,56 g), os quais também foram diferentes quando comparados, e superiores aos tratamentos Av/Cent, Av/Erv e aos três tratamentos que receberam o fator nível de cobertura Av/Nabo. Os tratamentos Av/Erv + PK, controle + PK e controle + PDR (este, superior aos dois últimos citados) diferiram quanto a produção de MSPA apenas do tratamento controle (89,54 g). Sobre a MSR o tratamento Av/Nabo + PDR (5,41 g) foi superior aos demais, produzindo 1,43 vezes a mais que o tratamento controle (3,78 g), o qual foi o que menos expressou capacidade na produção de MSR, junto ao tratamento controle + PK. Os demais tratamentos foram iguais entre si na produção de MSR.

Quanto à produção de MST, todos os tratamentos apresentaram maior MST em relação ao controle, e nos tratamentos Av/Cent + PDR e Av/Cent + PK foram observadas diferenças significativas em relação aos demais. O tratamento Av/Erv e os três tratamentos que receberam Av/Nabo foram iguais entre si e superiores aos tratamentos Av/Cent, Av/Erv + PK, controle + PDR e controle + PK, os quais foram estatisticamente iguais. Ainda, sobre o PMS %, apenas o tratamento controle + PDR foi o que exprimiu a menor capacidade de alterar esse atributo, no qual o tratamento controle + PK, se mostrou o mais eficiente.

De modo geral, era esperado o desempenho produtivo inferior do tratamento controle em relação aos demais. Os maiores valores obtidos nas variáveis de produção, podem ser verificados pelo uso de adubação mineral solúvel, por meio do tratamento Av/Cent + PK. Contudo, nos tratamentos que houve interações entre a mistura dos pós das rochas FN e OLM e os níveis de cobertura vegetal, os resultados obtidos se mostraram

promissores em comparação à fertilização mineral solúvel. O fato de ter utilizado granulometria Filler para compor os tratamentos com pó de rocha, auxiliou positivamente em termos de produtividade das plantas, principalmente durante o primeiro ciclo de cultivo com o pó de rocha. Assim, reforça a hipótese de que há interação sinérgica entre a decomposição da biomassa vegetal e a liberação de nutrientes dos pós de rocha.

Tabela 13 - Número de perfilhos e espigas, MSPA, MSR, MST, número de grãos e MMS das plantas de trigo, cultivadas em casa de vegetação.

Tratamentos (trigo)	Nº Perfilhos	Nº Espigas	MSPA ¹ (g)	MSR ² (g)	MST ³ (g)	Nº Grãos	MMS ⁴ 13%
Aveia + Cent	13 a	13 ab	11,37 ab	3,83 ab	19,35 abc	446 a	37,93 ab
Aveia + Erv	16 a	13 ab	12,40 ab	2,13 b	19,00 abc	450 a	36,59 ab
Aveia + Nabo	13 a	13 ab	11,53 ab	4,84 a	20,55 abc	408 a	36,71 ab
Controle	15 a	15 a	12,90 ab	3,07 ab	20,15 abc	495 a	30,96 c
Aveia + Cent + PDR	14 a	14 ab	11,80 ab	3,40 ab	19,84 abc	524 a	34,89 bc
Aveia + Erv + PDR	13 a	12 b	11,33 ab	2,70 b	18,19 bc	420 a	37,19 ab
Aveia + Nabo + PDR	14 a	14 ab	10,75 b	2,73 b	17,68 c	455 a	34,31 bc
Controle + PDR	13 a	13 ab	11,17 ab	2,48 b	17,41 c	428 a	36,61 ab
Aveia + Cent + NPK	15 a	15 ab	12,97 ab	3,71 ab	21,74 ab	478 a	39,70 a
Aveia + Erv + NPK	16 a	15 ab	13,30 a	3,88 ab	22,28 a	408 a	39,87 a
Aveia + Nabo + NPK	13 a	13 ab	11,11 ab	3,34 ab	18,33 abc	440 a	38,59 ab
Controle + PK	15 a	13 ab	12,29 ab	2,69 b	19,69 abc	497 a	34,58 bc
Média	14,2	13,6	11,91	3,23	19,51	454	36,49
CV(%)	14,5	11,5	12,16	36,45	12,69	15,04	8,87

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.1- Massa seca da parte aérea; 2- Massa seca de raiz; 3- Massa seca total; 4- Massa de mil sementes. Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

No cultivo do trigo em sucessão a soja, foi observada diferenças estatísticas nas variáveis nº de espigas, MSPA, MSR, MST e MMS (Tabela 13). A quantidade de perfilhos não foi influenciada pelos tratamentos. Em relação ao nº de espigas, o tratamento controle diferiu, do tratamento Av/Erv + PDR o qual apresentou o menor nº de espigas. A produção de MSPA foi significativamente maior no tratamento Av/Erv + NPK, resultando em 1,23 vezes mais MSPA do que o tratamento Av/Nabo + PDR, o qual foi significativamente, o menos eficiente entre os tratamentos nesse parâmetro, sendo a média dos demais iguais entre si.

A produção de MSR teve o tratamento diferiu Av/Nabo dos demais, e os tratamentos Av/Erv + NPK, Av/Nabo + PDR, controle e os três tratamentos que receberam o nível de cobertura Av/Cent foram iguais entre si e também superiores aos tratamentos

Av/Erv, Av/Erv + PDR, Av/Nabo + PDR, controle + NPK e controle + PDR, os quais foram os menos eficientes no que se refere a produção de MSR. Em relação a produção de MST do trigo, o tratamento Av/Erv + NPK diferiu estatisticamente dos demais, produzindo 12,7% a mais que o tratamento controle + PDR, o qual foi o menos eficiente e inferior estatisticamente, junto com o tratamento Av/Nabo + PDR. O tratamento Av/Cent + NPK somente produziu menos MST que o tratamento Av/Erv + NPK. Os demais tratamentos foram estatisticamente iguais entre si. Assim, é evidenciado a contribuição da fertilização solúvel em resposta à produção de MST do trigo.

A produção de grãos não foi influenciada pelos tratamentos. Para MMS, todos os tratamentos foram superiores em relação ao tratamento controle (30,96%). Foram constatados efeitos significativos nos tratamentos Av/Cent + NPK e Av/Erv + NPK em relação aos demais, os quais obtiveram valores de 39,70 e 39,87% respectivamente. Os tratamentos Av/Cent + PDR e Av/Nabo + PDR apenas foram superiores que o controle. Os demais foram semelhantes entre si.

Os resultados em experimentos com rochagem em relação à produção de grãos e MS são variados, Knapik (2005) avaliou o desenvolvimento de *Prunus sellowii* Koehne (pessegueiro bravo) e observou melhor crescimento das mudas nos tratamentos com utilização de fertilizantes a base de NPK, constituídos por sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio em relação à aplicação de pó de basalto. O uso de fonolito como adubação potássica, em área com alto teor de K no solo, não influencia o rendimento de grãos e biomassa, assim como as reservas de K trocável e não trocável do solo, porém, aumenta o teor de K total, devido sua mineralogia ser composta por feldspatos potássicos, que incrementa a reserva em longo prazo (Golfeto, 2016). Já Mancuso et al., (2014) trabalhando com fonolito na produção de *Coffea arabica*, constataram que os tratamentos remineralizados por essa rocha produziram frutos de maneira similar aos tratamentos que receberam KCl. Silveira e Lima (2007) estudando o desenvolvimento do milho cultivado em solos adubados com fertilizantes solúveis convencionais (NPK) e comparação com solos adubados com a mistura de esterco com pó de rocha observaram que o maior rendimento na altura e no diâmetro das plantas foi nos solos que receberam a mistura de esterco com pó de rocha. De modo geral, a contribuição dos efeitos sinérgicos das PC e PDR foram mais evidentes na nutrição da soja em relação ao trigo, onde no segundo cultivo os tratamentos que receberam adubação mineral, apesar de não ter sido constatado diferença estatística na produção de grãos, foram superiores na produção de MST em

relação aos tratamentos com PDR, o que corrobora com os resultados obtidos por Knapik (2005). Todavia, o efeito da adubação com NPK na produção de trigo se mostrou mais eficiente do que em relação a mistura de pós de rocha e plantas de cobertura. O efeito adicional da adubação mineral no momento da semeadura do trigo prevaleceu sobre o efeito residual dos agrominerais e da contribuição de N provinda da FBN da soja.

4.8 TEOR DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA ACUMULADOS NAS PLANTAS DE SOJA E TRIGO

Os teores dos macronutrientes na parte aérea (PA) determinados nos tecidos vegetais das plantas de soja (Tabela 14), bem como o acúmulo dos mesmos foram influenciados pelos tratamentos. Os resultados obtidos em relação a composição foliar de N, P, K e Mg (g kg^{-1}) dos tratamentos, foram inferiores aos níveis considerados adequados¹, conforme Tedesco et al., (1995) e Embrapa (2009), já para Ca os teores foram adequados.

O teor de N na composição foliar e no acumulado, não foi influenciado pela aplicação dos tratamentos, o que poder verificado através da homogeneidade das médias apresentadas. Já para os teores de P, o maior teor no tecido vegetal foi verificado no tratamento Av/Nabo ($2,52 \text{ g kg}^{-1}$), o qual foi significativamente superior aos tratamentos controle ($1,81 \text{ g kg}^{-1}$), controle + PK ($1,85 \text{ g kg}^{-1}$) e Av/Erv ($1,86 \text{ g kg}^{-1}$), os quais apresentaram os menos valores e foram discriminados iguais pelo teste estatístico. Os demais tratamentos diferiram dos três tratamentos supracitados e foram iguais entre si. Comportamento similar foi verificado para o acúmulo de P na planta, onde novamente o tratamento Av/Nabo foi o mais eficiente em relação aos tratamentos. Em geral, todos os tratamentos foram superiores em relação controle e controle + PK, no acúmulo de P.

Em relação à absorção de K, a concentração no conteúdo foliar de todos os tratamentos, foram maiores que no tratamento controle. Os valores variaram de 12,91 a 16,24 g kg^{-1} , onde os tratamentos controle e controle + PK foram estatisticamente inferiores aos demais, com concentrações 12,91 e 13,50 g kg^{-1} , sendo o controle + PK significativamente maior que o controle.

Tabela 14 - Composição química da parte aérea das plantas de soja, teor de N, P, Ca e Mg em g kg⁻¹ e seus respectivos acúmulos em mg.

Tratamentos	N	P	K			Ca	Mg
			g kg ⁻¹				
Aveia + Cent	30,39 a	2,10 ab	14,61 abc	12,77 abc	3,39 bc		
Aveia + Erv	29,69 a	1,86 b	14,34 abc	13,15 abc	3,75 abc		
Aveia + Nabo	34,07 a	2,52 a	15,46abc	14,67 a	4,22 ab		
Controle	29,17 a	1,81 b	12,91 c	13,07 abc	4,37 a		
Aveia + Cent + PDR	32,32 a	1,99 ab	15,58 ab	11,79 abc	3,35 bc		
Aveia + Erv + PDR	30,86 a	2,08 ab	15,41 abc	12,66 abc	3,63abc		
Aveia + Nabo + PDR	31,68 a	2,03 ab	16,24 a	13,46 abc	3,96 abc		
Controle + PDR	33,19 a	2,26 ab	13,85 abc	14,15 ab	4,38 a		
Aveia + Cent + PK	31,50 a	2,16 ab	14,97 abc	9,73 c	3,27 c		
Aveia + Erv + PK	31,38 a	2,08 ab	16,05 ab	10,28 bc	3,35 bc		
Aveia + Nabo + PK	28,64 a	2,04 ab	16,17 a	12,09 abc	3,23 c		
Controle + PK	27,53 a	1,85 b	13,50 bc	12,79 abc	4,10 abc		
Valores referência¹	45	2,5	17	10	4		
Média	30,87	2,07	14,92	12,55	3,75		
CV (%)	16,66	16,33	11,23	19,31	16,47		
Tratamentos	N acumulado	P acumulado	K			Ca acumulado	Mg acumulado
			mg				
Aveia + Cent	2918 a	622,62 ab	1403 b	1226 a	326 bc		
Aveia + Erv	2919 a	546,88 ab	1415 b	1289 a	368 abc		
Aveia + Nabo	3290 a	834,87 a	1492 ab	1414 a	407 abc		
Controle	2733 a	504,05 b	1204 b	1223 a	408 ab		
Aveia + Cent + PDR	3376 a	680,17 ab	1903 a	1232 a	350 abc		
Aveia + Erv + PDR	3152 a	661,68 ab	1571 ab	1294a	371 abc		
Aveia + Nabo + PDR	3157 a	643,75 ab	1618 ab	1341 a	395 abc		
Controle + PDR	3176 a	719,31 ab	1321 b	1361 a	420 a		
Aveia + Cent + PK	3281 a	733,07 ab	1558 ab	1013 a	342 abc		
Aveia + Erv + PK	2991 a	643,14 ab	1534 ab	1007 a	323 bc		
Aveia + Nabo + PK	2797 a	576,03 ab	1577 ab	1177 a	315 c		
Controle + PK	2794 a	511,15 b	1612 ab	1206 a	385 abc		
Média	3049	639,7	1517	1232	367		
(CV%)	13,58	28,15	18,38	19,77	15,78		

¹Nível Crítico de nutrientes nas folhas de soja, adaptado de Martinez, Carvalho e Souza (1999) Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

Os tratamentos Av/Nabo + PDR e Av/Nabo + PK foram superiores aos demais, com 16,24 e 16,17 g kg⁻¹ de K respectivamente no tecido foliar. Em ordem de significância, os tratamentos Av/Cent + PDR e Av/Erv + PK apenas foram inferiores aos dois tratamentos superiores já supracitados, e os demais não diferiram entre si. Sobre o acúmulo de K, o tratamento Av/Cent + PDR foi superior aos demais, demonstrando que a liberação de nutrientes provenientes da interação dos pós de rocha com as plantas de cobertura foi eficiente. Os tratamentos Av/Cent, Av/Erv, controle e controle + PDR foram inferiores aos demais e iguais entre si. Tal constatação contraria os resultados obtidos por von Wilpert e Luker (2003) e Teixeira et al., (2015), os quais descrevem o fonolito como sendo um potencial remineralizador de potássio, embora, os conteúdos foliares de K

encontrados foram praticamente os mesmos da testemunha, revelando baixa eficiência do pó desta rocha na liberação do potássio, atribuindo esse fato em função do pouco tempo decorrido entre a incubação com o pó da rocha até a coleta da parte aérea.

Os conteúdos de Ca no tecido foliar das plantas de soja variaram de 9,73 a 14,67 g kg⁻¹, e novamente o tratamento Av/Nabo foi superior aos demais quanto à eficiência de absorver Ca. O tratamento controle + PDR apenas foi inferior ao tratamento Av/Nabo. Os tratamentos Av/Erv + PK e Av/Cent + PK foram significativamente inferiores a todos os tratamentos. Os demais foram semelhantes entre si. Dessa forma, é possível inferir sobre o efeito antagônico dos tratamentos que receberam adubação com P e K em relação à absorção de Ca. Não foram constatadas diferenças entre o acúmulo de Ca entre os tratamentos. Em relação ao conteúdo de foliar de Mg, o mesmo foi significativamente maior nos tratamentos controle e controle + PDR, 4,37 e 4,38 g kg⁻¹ respectivamente. Os tratamentos Av/Cent + PK, Av/Nabo + PK e Av/Erv + PK foram os menos eficientes e estatisticamente inferiores aos demais em relação à composição de Mg no tecido foliar. Tal constatação reforça a ideia do efeito antagônico da absorção de Mg nos tratamentos que receberam adubação solúvel. A respeito do acúmulo de Mg, comprova-se através das diferenças estatística, que os tratamentos Av/Nabo + PK, Av/Erv + PK e Av/Cent, foram inferiores aos demais. Desta vez, o tratamento controle + PDR diferiu significativamente dos demais, seguido do tratamento controle. Os demais tratamentos apenas foram superiores aos três já supracitados, sendo semelhantes entre si.

Os teores dos macronutrientes na parte aérea (PA) determinados nos tecidos vegetais das plantas de trigo (Tabela 15), bem como o acúmulo dos mesmos foram influenciados pelos tratamentos. Os resultados obtidos em relação à composição foliar de N, P, K, Ca e Mg (g kg⁻¹) dos tratamentos, foram condizentes aos níveis considerados adequados¹, conforme Tedesco et al., (1995) e Embrapa (2009), evidenciando nutrição adequada das plantas. Os teores de N no tecido foliar das plantas de trigo não diferiram entre os tratamentos, já o acumulado de N apontou diferenças significativas no tratamento Av/Cent + NPK (100186 mg de N) em relação ao controle + PDR, Av/Erv + PDR e Av/Nabo + PDR, os quais foram estatisticamente inferiores aos demais. Os outros tratamentos foram maiores significativamente maiores que os demais, iguais entre si e inferiores ao tratamento Av/Cent + NPK. Dessa forma, é visualizado o efeito da aplicação de uréia no acúmulo de N nas plantas de trigo, pois os tratamentos que não receberam N mineral, foram menos eficientes nestavariável.

Tabela 15 - Composição química da parte aérea das plantas de trigo, teor de N, P, Ca e Mg em g kg⁻¹ e seus respectivos acúmulos em mg.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----					
Aveia + Centeio	46,14 a	4,52 abc	15,81 abcd	4,08 bc	3,53 bc
Aveia + Erv	44,33 a	4,37 abcd	14,94 abcd	3,75 c	3,08 c
Aveia + Nabo	39,84 a	4,48 abcd	10,95 cde	5,97 a	4,92 a
Controle	40,95a	4,27 cd	7,88 e	5,73 ab	4,78 ab
Aveia + Cent + PDR	40,19 a	4,61 a	16,18 abcd	4,06 bc	3,56 bc
Aveia+ Erv + PDR	43,58 a	4,24 d	10,22 de	4,40 abc	3,81 abc
Aveia + Nabo + PDR	41,53 a	4,37 abcd	13,15 abcde	4,20 abc	3,34 bc
Controle + PDR	40,72 a	4,31 bcd	12,97 bcde	3,60 c	3,03 c
Aveia + Cent + NPK	46,32 a	4,48 abcd	16,87 abc	3,89 c	3,16 c
Aveia + Erv + NPK	41,18 a	4,54 ab	18,20 ab	4,00 bc	3,38 bc
Aveia + Nabo + NPK	44,63 a	4,42 abcd	19,25 a	3,70 c	3,16 c
Controle + PK	42,00 a	4,46 abcd	13,57abcde	4,36 abc	3,62 bc
Valores de Referência¹	20-34	2,1-3,3	15-30	2,5-10,0	1,5-4,0
g kg ⁻¹					
Média	42,6	4,43	1,45	4,32	3,62
CV(%)	10,92	3,64	31,74	26,96	24,22
Tratamentos	N acumulado	P acumulado	K acumulado	Ca acumulado	Mg acumulado
----- mg -----					
Av + Centeio	89465 ab	873,1 abcd	306933 abc	788 abc	681,2 ab
Av + Erv	84689 ab	831,8 abcd	284641 bc	717,8 bc	589,1 b
Av + Nabo	80940 ab	921,8 abc	226031 cd	1216 a	1008 a
Controle	82375 ab	862,1 abcd	155154 d	1180 ab	983,9 a
Av + Cent + PDR	80317 ab	913 abcd	317876 abc	801 abc	702,8 ab
Av+ Erv + PDR	73210 b	713,8 d	260801 bcd	835 abc	713,2 ab
Av + Nabo + PDR	73251 b	771,9 cd	233211 cd	718,5 abc	571,2 b
Controle + PDR	70605 b	748,1 cd	226514 cd	625,5 c	526,8 b
Av + Cent + NPK	100186 a	973,8 ab	365008 ab	873abc	700,1 ab
Av + Erv + NPK	91990 ab	1011a	411848 a	883,6 abc	754,7 ab
Av + Nabo + NPK	82166 ab	810,3 bcd	353461 ab	683,9 c	582,1 b
Controle + NPK	82266 ab	876,6 abcd	263526 bcd	882,3 abc	731,1 ab
Média	82890	863,1	284406	854,2	716,1
CV(%)	16,27	14,22	31,53	34,25	31,96

¹Nível Crítico de nutrientes nas folhas de trigo, adaptado do Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, Embrapa (2009). Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias denotam diferença estatística significativa pelo teste de *t* à 5% de significância.

Em relação aos teores de P no tecido foliar, os valores variaram entre 4,24 a 4,61 g kg⁻¹ de P, onde o tratamento Av/Cent + PDR (4,61 g kg⁻¹) diferiu significativamente dos demais, seguido pelo tratamento Av/Erv + NPK (4,54 g kg⁻¹), o qual foi inferior apenas ao supracitado. Os menores valores obtidos derivaram dos tratamentos Av/Erv + PDR, controle e controle + PDR, onde Av/Erv + PDR foi significativamente menor que os demais, e controle + PDR superior apenas ao controle. O restante foi semelhante entre si. Já, sobre o valor acumulado de P, o tratamento Av/Erv + NPK foi superior aos demais (1010,6 g kg⁻¹ de P), seguido do tratamento Av/Cent + NPK, que apenas foi inferior a este citado. Os

menores valores novamente foram para os tratamentos Av/Erv + PDR, Av/Nabo + PDR e controle + PDR, onde o tratamento controle acabou sendo superior a estes. Dessa forma é evidenciada baixa eficiência no suprimento e absorção de P pelas plantas de trigo nos tratamentos que receberam pó de rocha e plantas de cobertura.

Os tratamentos controle + NPK, controle + PDR, Av/Nabo + PDR, Av/Nabo e controle não atingiram os valores de referência de K no tecido vegetal, onde os tratamentos controle e AV/Nabo foram estatisticamente menores que os demais e iguais entre si. O maior teor de K no tecido vegetal foi do tratamento Av/Nabo + NPK ($19,25 \text{ g kg}^{-1}$ de K), seguido do tratamento Av/Erv + NPK e Av/Cent + NPK, os quais foram inferiores ao tratamento Av/Nabo + NPK, e o tratamento Av/Erv + NPK maior que o Av/Cent + NPK. O desempenho dos tratamentos com pó de rocha foi maior do que o controle, e foram similares entre si, e equivalentes à adubação solúvel com NPK. Comportamento similar foi verificado para o acúmulo de K nas plantas de trigo, onde novamente os tratamentos Av/Nabo + NPK, Av/Erv + NPK e Av/Cent + NPK se mostram mais eficientes quanto à absorção e acúmulo de K, em relação aos demais tratamentos.

Os teores de Ca e Mg no tecido foliar e os valores acumulados nas plantas de trigo seguiram comportamento similar, onde o tratamento Av/Nabo ($5,97$ e $4,92 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e Mg respectivamente) foi superior aos demais nas duas variáveis, sendo seguido pelo controle ($5,73$ e $4,78 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e Mg respectivamente), onde este último apenas apresentou comportamento diferente no acúmulo de Mg, sendo ele igual ao do tratamento Av/Nabo. Os tratamentos Av/Cent + NPK, Av/Erv, Av/Nabo + NPK e controle + PDR obtiveram os menores conteúdos de Ca e Mg no tecido foliar entre os valores analisados. Sobre o acúmulo de Mg, os tratamentos que menos responderam foram Av/Erv, Av/Nabo + PDR, Av/Nabo + NPK e controle + PDR.

De modo geral, o N e o K foram os nutrientes mais acumulados pelas plantas de soja e de trigo, independentemente do tratamento utilizado, em relação aos demais nutrientes. Comportamento que era esperado, pois o N e o K são os nutrientes mais importantes no desenvolvimento inicial das plantas, devido à intensa atividade metabólica da planta, a qual necessita quantidades adequadas desses nutrientes para seu desenvolvimento (GONDIM et al., 2010). Os maiores acúmulos de P e K foram nos tratamentos que receberam adubação com SFT e KCl, uma vez que são fertilizantes solúveis e a liberação dos nutrientes para solução do solo é rápida, possibilitando maior absorção e posterior acúmulo dos mesmos pelas plantas. Por outro lado, os teores desses nutrientes nos tratamentos com pó de rocha, obtiveram desempenho satisfatório quando

comparados a adubação solúvel, tendo em vista que a liberação de nutrientes dos pós de rocha é mais lenta, porém, contínua, o que proporciona maior aporte de nutrientes dissolvidos na solução, se transformando a longo prazo em reserva de elementos, que irão atender às necessidades das plantas nos seus diferentes estádios de crescimento.

Autores como Wang et al. (2000), trabalhando com a aplicação de pó de gnaise em milho e gramíneas, constataram maior acúmulo de K na biomassa vegetal em relação ao controle. Já Nichele (2006) e Silva (2007) avaliaram o efeito de doses crescentes de pó de basalto na nutrição de feijão, e não verificaram aumentos nos teores de K foliar pela aplicação de basalto. Mas Silva (2007) observou aumentos nos teores de K foliar pela aplicação de adubo solúvel quando comparado ao pó de basalto. Basak et al., (2010) com estudos envolvendo capim sudão e rochas ricas em mica, constataram aumento na produção de biomassa vegetal e maior acúmulo de de K e N no tecido foliar em relação ao controle. O estudo de Pádua (2012), envolvendo as mistura de rochas fosforito/zinnwaldita, fosforito/anfibolito, fosforito/micaxisto, fosforito/fonolito para compor os tratamentos com rochagem, verificou efeitos significativos no teor acumulado de N e K na parte aérea da soja e N, K, Ca, Mg, e S e nos grãos, em relação ao tratamento com MAP/KCl, e aponta que rochagem é uma estratégia de baixo custo, pois há possibilidade de substituir as fontes solúveis convencionais por agrominerais, onde os tratamentos que receberam rochagem demonstraram efeitos significativos para a produção de girassol, e ainda apresentaram efeitos residual de nutrientes para o cultivo subsequente da soja.

4.9 ANÁLISES QUÍMICAS DA SOLUÇÃO DO SOLO

De modo geral, os teores de P, K, Ca, Mg, Al e Fe foram alterados com o início da incubação dos tratamentos. Os teores de P no solo aos 133 DAI (Tabela 16) não foram afetados após a aplicação dos tratamentos. Já aos 223 DAI a variação dos teores foi de 1,38 a 1,96 mg L⁻¹, onde o tratamento Av/Erv + PK apresentou diferença significativa em relação aos demais tratamentos, e o tratamento Av/Nabo foi o menor entre os avaliados.

Tabela 16 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na solução do solo, em mg L⁻¹, nos períodos de avaliação 133 DAI e 223 DAI.

Tratamentos Solução do solo	P mg L ⁻¹		K mg L ⁻¹	
	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo
Aveia + Cent	1,75 a	1,49 ab	5,16bc	6,50 abc
Aveia + Erv	1,21 a	1,47 ab	3,77 c	6,22 abc
Aveia + Nabo	1,16 a	1,38 b	5,05 bc	5,11 c
Controle	0,99 a	1,69 ab	4,64bc	5,33 c
Aveia + Cent + PDR	1,42 a	1,52 ab	6,69ab	5,75 abc
Aveia+ Erv + PDR	1,17 a	1,96 a	4,97 bc	7,47 a
Aveia + Nabo + PDR	1,38 a	1,85 ab	6,84ab	6,69 abc
Controle + PDR	1,65 a	1,79 ab	3,86 c	5,41 bc
Aveia + Cent + PK	1,46 a	1,68 ab	11,62a	7,30 a
Aveia + Erv + PK	1,22 a	1,58 ab	5,16 bc	7,22 ab
Aveia + Nabo + PK	1,19 a	1,78 ab	4,27bc	6,89 abc
Controle + PK	1,39 a	1,61 ab	4,44bc	6,69 abc
Média	1,33	1,65	5,54	6,38
CV (%)	36,5	19,7	44,1	18,8

Tratamentos Solução do solo	Cálcio mgL ⁻¹		Magnésio mg L ⁻¹	
	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo	133 DAI Pós soja	223 DAI Pós trigo
Aveia + Cent	27,03abc	119,75 c	15,45 ab	48,38 c
Aveia + Erv	27,91 abc	171,33abc	16,27 ab	70,06 abc
Aveia + Nabo	37,74ab	164,00bc	22,11 ab	66,48 bc
Controle	30,79 abc	142,63bc	18,39 ab	60,06 bc
Aveia + Cent + PDR	32,74 abc	136,59 bc	20,07 ab	54,32 bc
Aveia+ Erv + PDR	31,81abc	237,35 a	19,20 ab	95,70 a
Aveia + Nabo + PDR	26,37 bc	152,17bc	15,44 ab	61,80 bc
Controle + PDR	24,45 c	139,16bc	13,71 b	56,20 bc
Aveia + Cent + PK	24,07 c	202,73 ab	13,95 b	79,52 ab
Aveia + Erv + PK	39,81a	173,61abc	23,71 a	68,53 abc
Aveia + Nabo + PK	27,93 abc	164,87bc	16,26 ab	62,35 bc
Controle + PK	34,97 abc	156,65bc	20,40 ab	63,11 bc
Média	30,4	163,4	17,9	65,5
CV (%)	26,3	28,2	30,3	27,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019. Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de t à 5% de significância.

Sobre a disponibilidade imediata de K aos 133 DAI, o tratamento Av/Cent + PK (11,62 mg L⁻¹) diferiu dos demais, seguido dos tratamentos Av/Cent + PDR e Av/Nabo + PDR, que foram iguais entre si, inferiores ao tratamento Av/Cent + PK e superiores aos demais. Os tratamentos Av/Erv e controle + PDR foram os menos eficientes e inferiores quanto a disponibilidade de K na solução do aos 133 DAI. Já aos 223 DAI, novamente o tratamento Av/Cent + PK foi superior, mas dessa vez acompanhado do tratamento Av/Erv + PDR em relação à disponibilidade de K na solução. Os menores teores de K foram encontrados nos tratamentos Av/Nabo, controle e controle + PDR. Dessa forma é possível

inferir que há liberação constante de K da estrutura dos minerais dos pós de rocha para solução do solo ao longo do tempo.

Os teores de Ca e Mg aos 133 DAI tiveram o tratamento Av/Erv + PK como o maior significativamente, e as menores concentrações nos tratamentos Av/Cent + PDR e controle + PDR. Já aos 233 DAI, a contribuição residual de Ca e Mg do tratamento Av/Erv + PDR foi maior que os demais tratamentos, evidenciando o efeito a longo prazo na reposição de nutrientes na solução do solo. O tratamento Av/Cent foi o menos eficiente em repor Ca para a solução do solo. Os resultados sobre a concentração de Al e Fe na solução do solo podem ser visualizados na Tabela 17.

Tabela 17 - Teores de alumínio (Al) e ferro (Fe) em mg L⁻¹ nos períodos de avaliação 133 DAI e 233 DAI.

Tratamentos Solução do solo	Alumínio mgL ⁻¹		Ferro mg L ⁻¹	
	133 DAI Pós soja	233 DAI Pós trigo	133 DAI Pós soja	233 DAI Pós trigo
Aveia + Cent	4,31 a	72,38c	1,61 a	194,63 abc
Aveia + Erv	1,21 abc	124,96 ab	0,53 c	206,49 abc
Aveia + Nabo	1,30 abc	111,77 abc	0,76 bc	117,82 c
Controle	0,77 abc	122,05 abc	0,47 c	68,68 c
Aveia + Cent + PDR	2,73 ab	80,42bc	1,40 ab	101,91c
Aveia+ Erv + PDR	2,18 abc	157,85 a	1,09 abc	324,70 a
Aveia + Nabo + PDR	1,28 abc	120,19 abc	0,37 c	151,23bc
Controle + PDR	1,68 abc	113,76 abc	0,52 c	86,10 c
Aveia + Cent + PK	1,45 abc	118,22 abc	0,46 c	303,41 ab
Aveia + Erv + PK	0,51c	128,92 ab	0,61 c	204,26 abc
Aveia + Nabo + PK	1,15 abc	145,65 a	0,69 bc	129,40 c
Controle + PK	2,04 abc	119,97 abc	0,75 bc	163,32 abc
Média	1,72	118,01	0,77	170,99
CV (%)	82	29	68,5	67,65

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019. Médias dos tratamentos seguidas por mesma letra minúscula na condição após soja e após trigo (colunas), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de diferença mínima significativa à 5% de significância. Letras minúsculas diferentes entre as médias nas condições após soja e após trigo denotam diferença estatística significativa pelo teste de t à 5% de significância.

4.10 ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA

A eficiência agronômica dos fertilizantes testados, através do IEA, nos valores de N, P e K acumulados pela parte aérea das culturas da soja, evidenciaram que os tratamentos que receberam PDR obtiveram valores de IEA para K superiores em relação à aplicação de KCl, com o tratamento utilizado como padrão Av/Erv + PK (Figura 4). Desta forma, observa-se que a interação entre os PDR e PC favoreceu a absorção de K pelas plantas de soja. Ainda no tratamento Av/Cent + PDR houve maior IEA para N em relação ao tratamento padrão.

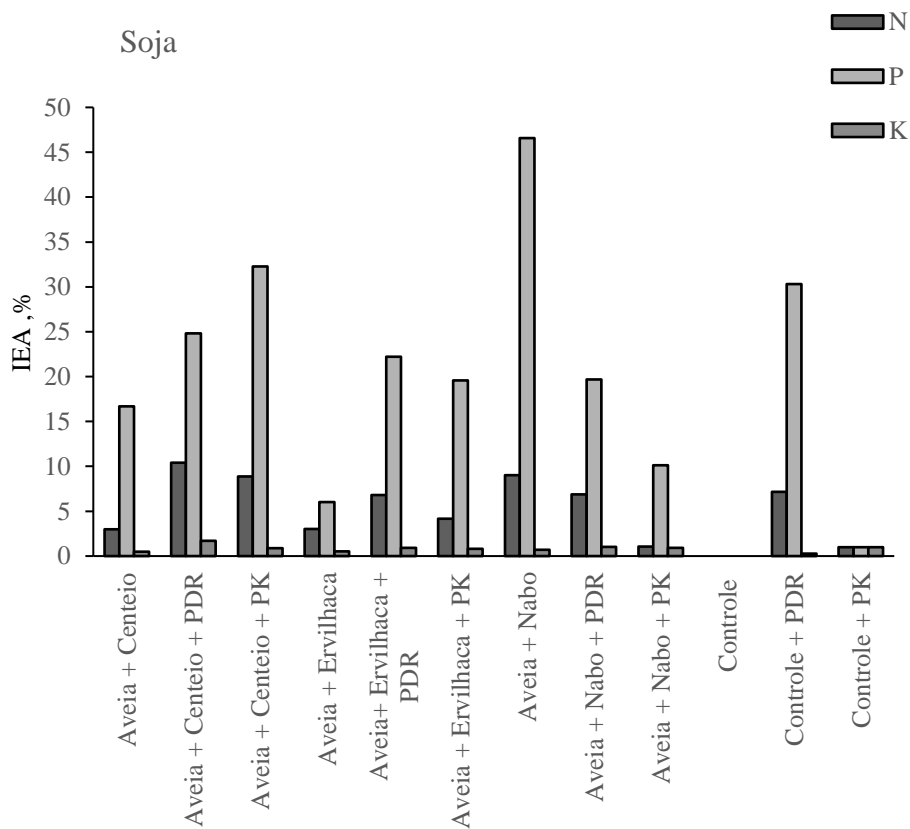


Figura 4 - Índice de eficiência agrônômica de N, P, K, para a Soja.

Os tratamentos Av/Cent e Av/Erv, os quais receberam apenas a biomassa de PC e correção com P natural, obtiveram IEA menores para os três macronutrientes testados. O tratamento Av/Nabo apresentou IEA para P superior ao tratamento padrão. O tratamento controle + PK. O tratamento Av/Nabo + PK obteve valores de IEA para N e P inferiores ao padrão e aos tratamentos que receberam PDR.

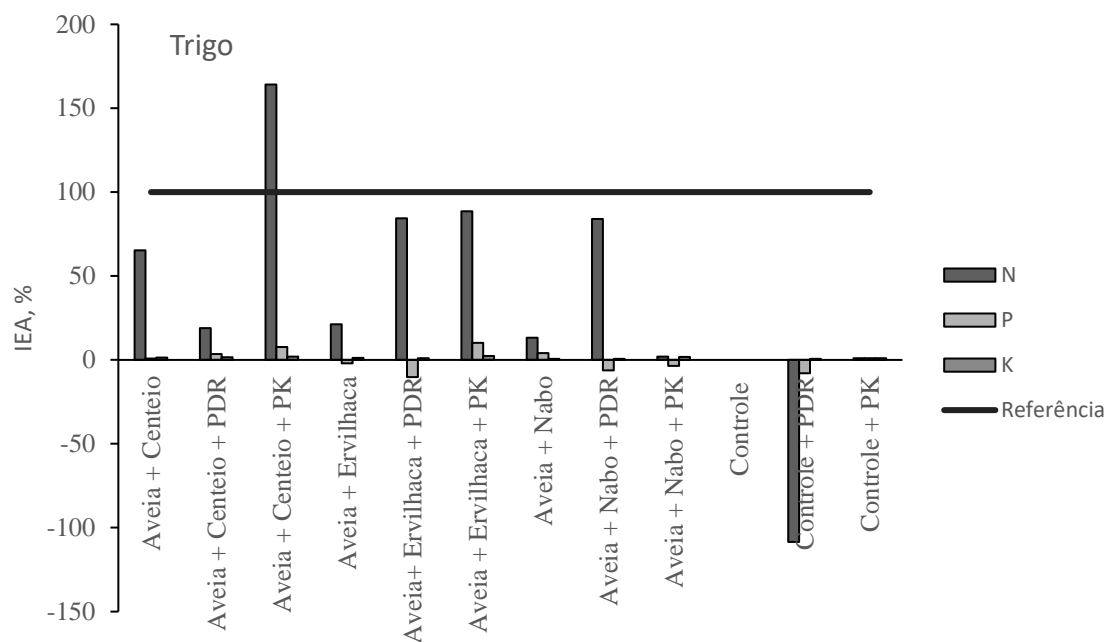


Figura 5 - Índice de eficiência agrônômica de N, P, K, para trigo.

Em relação ao IEA no cultivo do trigo (Figura 5), há notada superioridade dos tratamentos que receberam adubação mineral em relação aos demais. O tratamento Av/Erv + NPK apresentou IEA para P e K superiores ao tratamento padrão. De modo geral, a contribuição do efeito residual dos PDR e PC foi pouco evidente no IEA do trigo, o que também refletiu em desempenho inferior em relação aos componentes do rendimento.

5 CONCLUSÕES

As rochas estudadas se enquadram nos requisitos exigidos pela legislação brasileira, para serem utilizadas como matéria-prima para a produção de remineralizadores multinutrientes.

Os atributos químicos relacionados à acidez do solo (pH H₂O, pH CaCl₂) e os teores de Ca foram alterados pela aplicação de pós de rocha em combinação com plantas de cobertura. A liberação de P foi maior nos tratamentos com adubação mineral nos dois tempos de amostragem. Os efeitos nos teores de K foram evidenciados tanto na aplicação de pó de rocha e plantas de cobertura quanto na adubação mineral no tempo 133 DAI, porém não houve diferença significativa aos 233 DAI. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de Mg.

A associação da biomassa de plantas de cobertura aos pós de rocha de fonolito e olivina melilito tem potencial para incrementar a produtividade da soja e do trigo, em relação ao uso do pó destas rochas isolamente. Em relação à soja, a produção de grãos, quantidade de vagens e MSPA foi maior quando aplicado adubação mineral. Já a MST e MSR a interação entre os pós de rocha e plantas de cobertura foram equivalentes à adubação mineral. A produção de MSPA e MST do trigo foi maior com aplicação de NPK em relação aos tratamentos com pó de rocha, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos em relação à produção de grãos.

Os teores e acúmulos de K e Mg no tecido foliar da soja foram maiores quando aplicados pós de rocha e plantas de cobertura em relação à adubação mineral. Não houve diferença entre os teores de N entre os tratamentos. A aplicação da biomassa vegetal apresentou diferenças estatísticas no conteúdo foliar de P e Ca em relação ao pó de rocha e adubação mineral. O teor de P no tecido foliar do trigo foi maior quando aplicado pó de rocha em combinação com plantas de cobertura, porém o teor acumulado foi maior quando utilizados fertilizantes minerais. Os teores de Ca e Mg no tecido foliar e acumulado foram maiores nos tratamentos com pó de rocha em relação à adubação mineral, porém, ambos inferiores à utilização isolada de plantas de cobertura. Os teores de K no tecido foliar e acumulado em trigo foram maiores nos tratamentos com adubação mineral em relação aos pós de rocha. Não houve diferenças entre os tratamentos nos teores de N no tecido foliar, entretanto, houve acúmulo significativo de N nos tratamentos com adubação mineral.

A liberação de Ca e Mg para a solução do solo aos 223 DAI foi maior nos tratamentos com pó de rocha e plantas de cobertura em relação à adubação mineral e equivalente na liberação de K. Como a solubilização dos minerais contidos nas rochas é lenta, torna-se importante, portanto, que as aplicações dos pós de rochas sejam feitas com maior antecedência possível, e combinar diversas técnicas de manejo para potencializar o efeito na liberação dos nutrientes, é fundamental para que possa refletir na melhoria das propriedades químicas do solo e no aumento da produtividade já nos primeiros cultivos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a relação entre matéria orgânica, biologia do solo e a liberação de nutrientes das rochas, avaliar o potencial conjunto das práticas de rochagem e adubação verde a longo prazo, como formas de fertilizar o solo, torna-se importante no que se refere à nutrição de plantas. A produção de grãos utilizando com fontes menos solúveis e locais de nutrientes reduz dependência dos fertilizantes minerais importados.

Informações a respeito das práticas de manejo nas coberturas vegetais, visando maximizar seu potencial produtivo, e das doses e tipos de pós de rocha a serem utilizados para fertilização, se mostram de valia para a sustentabilidade dessas práticas. Progredir no trabalho inovador de dissolução microbiana, bio-intervenção, bio-solubilização e associação entre fontes orgânicas de minerais, se faz necessário para otimizar os efeitos na aplicação dos pós de rocha aos cultivos.

Há necessidade de pesquisas quanto à aplicação de pós de rocha em reflorestamentos e em culturas perenes como frutíferas, e deve-se aprofundar sobre solubilidade dos remineralizadores, e sua interação com matéria orgânica a nível de rizosfera. Entre os principais desafios dessas pesquisas podem ser citados a obtenção de resultados irregulares e inconsistentes devido à complexidade do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MOUTY, M.M., EL-GREADLY, N.H.M. The productivity of two okra cultivars asaffected by gibberilic acid, organic N, rock phosphate and feldspar applications. **J. Appl. Sci. Res.** 4, 627–636. 2008.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p. 277-288, 2000.

ALMEIDA, E.; PETERSEN, P.; SILVA, F. J. P. Lidando com extremos climáticos: análise comparativa entre lavourasconvencionais e em transição ecológica no Planalto Nortede Santa Catarina. **Agriculturas**, v. 6, n.1, 2009.

ALTIERI, M.A. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Boca Raton: **CRC Press**. 2ª Ed. 448 p, 2018.

ÁLVAREZ, R., DIAZ, R.A., BARBERO, N., SANTAANATOGLIA, O.J., BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Res.** 33, 17–28. 1995

ÁLVAREZ, E.; FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J.; NÚÑEZ, A.; SECO, N.; CORTI, G. Aluminum fractionation and speciation in bulk and rhizosphere of a grass soil amended with mussel shells or lime. **Geoderma**, v.173-174, n., p.322-329, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS. Mercado de fertilizantes 2012/2016. In: **Principais indicadores do setor de fertilizantes: estatísticas**. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>> Acesso em 08 de maio 2018.

ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas. Planaltina: EMBRAPA(Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57) 19p. 2002.

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

ALMEIDA, J. A. Composição mineralógica da fração argila. In: EMBRAPA (org). VI **Reunião de Correlação, Classificação e Aplicação de Levantamentos de Solo RS/SC/PR**. Porto Alegre, p. 124-148. 2000.

ALMEIDA, J.A; KÄMPF, N & ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do alto rio Itajaí e no planalto de Lages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21 p.181-190, 1997.

ALMEIDA, J. et al. Relatório de Pesquisa: Ensaio de eficiência agronômica da rocha olivina melilito como remineralizador de solos para uso na agricultura. **Fiepe**: UDESC, Lages, 2018.

ALCÂNTARA, F.A. de; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M.B de; MESQUITA, H.A. de; MUNIZ, J.A.. Green manuring in the recovery of the fertility of an Oxisol dark red degraded. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 35(2): 277-288. (In Portuguese, with abstract in English) 2000.

ANDERSON, R. L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming: A review. **Agron SustainDev**. 35: 967–974, 2015.

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:601-612, 2003.

APROSOJA BRASIL (Associação dos Produtores de Soja do Brasil). A História da Soja. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/a-historia-da-soja/>>. Acesso em: 20 de maio, 2019.

APROSOJA BRAIL (Associação dos Produtores de Soja do Brasil). Uso da Soja. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja/>>. Acesso em: 20 de maio, 2019.

AZEVEDO A.C. Avaliação de um remineralizador de diabásio. [**Tese de Livre Docência**]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2014.

BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , v. 16, p. 969- 977, 2012.

BALIGAR, V. C., FAGERIA, N. K. and He, Z. L. Nutrient use efficiency in plants, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 32: 7, 921 - 950, 2001.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715-729, 2005.

BARRETO, S. B. A farinha de rocha MB-4 e o solo. 66p. 1998.

BARKER, W.W. AND J.F. BANFIELD. Zones of chemical and physical interaction at interfaces between microbial communities and minerals. **Geomicrobiology. J.**, 15; 223-244. 1998.

BASAK, B.B., BISWAS, D.R. Co-inoculation of potassium solubilizing and nitrogenfixing bacteria on solubilization of waste mica and their effect on growth promotionand nutrient acquisition by a forage crop. **Biol. Fertil. Soils** 46, 641–648. 2010.

BASAK, B.B., BISWAS, D.R. Modification of Waste Mica for Alternative Source ofPotassium: Evaluation of Potassium Release in Soil from Waste Mica Treated withPotassium Solubilizing Bacteria (KSB). **Lambert Academic Publishing**, Saarbrücken,Germany, ISBN: 978-3-659-29842-4, 80 pp. 2012.

BASAK, B.B.; SARKAR, B.; BISWAS, D.R.; SARKAR, S.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Bio-Intervention of NaturallyOccurring Silicate Minerals forAlternative Source of Potassium:Challenges and Opportunities.**Elsevier, Advances in Agronomy**, Volume 141, ISSN 0065-2113. 31 p. 2017.

BENNETT, P.C., CHOI, W.J., ROGERA, J.R. Microbial destruction of feldspars. **Miner.Manag.** 8, 149–150. 1998.

BALLAND, C., POSZWA, A., LEYVAL, C., & MUSTIN, C.Dissolution rates of phyllosilicates as a function ofbacterial metabolic diversity. **Geochimica etCosmochimica Acta**, 74(19), 5478-5493. doi:10.1016/j.gca.2010.06.022. 2010.

BALOTA, E. L.: Manejo e qualidade biológica do solo. Edição revisada, **Londrina: Midiograf**, 280p, 2018.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos**

da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p.7-18. 2008.

BAVEC, M.; BAVEC, J. Impact of organic farming on biodiversity. **Biodiversity in Ecosystems** v. 24, p. 146-154, 2015.

BAERE, B. D., FRANÇOIS, R., MAYER, K. U. Measuring mineral dissolution kinetics using on-line flow-through time resolved analysis (FT-TRA): an exploratory study with forsterite. **Chemical Geology**, 413, 107-118. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.08.024. 2000.

BARAKAT, M.; AL-MASRI, M. I. Effect of *Trichoderma harzianum* in combination with fungicides in controlling gray mold disease (*Botrytis cinerea*) of strawberry. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 651, 2017.

BENNETT, P.C., CHOI, W.J., ROGERA, J.R. Microbial destruction of feldspars. **MinerManag.** 8, 149–150. 1998.

BERLATO, M.A. Exigências bioclimáticas e zoneamento agroclimático. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (ed.). *A soja no Brasil*. **Campinas: ITAL**. p.175-184. 1981.

BERTI, M. ZAGONEL, J. FERNANDES, E. Produtividade de cultivares de trigo em função do Trinexapacethyl e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 2, p. 127-134, 2007.

BOLLAND, M.D.A., BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 56, 59-68. 2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 46 de 06 de outubro de 2011**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 outubro 2011. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 maio de 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.890, 10 dez. 2013**. Altera a Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 dez 2013. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 maio de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 05 de 10 de março de 2016**. Diário Oficial da União, Brasília,

DF, 14 mar.2016. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 maio de 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Lei N° 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 24 dez. 2003, Seção 1, Página 8. Disponível em: . Acesso 23 maio de 2019.

BISWAS, D.R., BASAK, B.B. Potassium solubilizing microorganisms; their mechanisms, potentialities and challenges as potassium biofertilizer. **Indian J. Fert.** 9, 102–116.2013.

BISWAS, D.R., BASAK, B.B. Mobilization of potassium from waste mica by potassiumsolubilizing bacteria (*Bacillus mucilaginosus*) as influenced by temperature and incubationperiod under in-vitro laboratory condition. **Agrochimica** 38, 309–320. 2014.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.897-903, 2000.

BOIX-FAYOS, C., DE VENTE, J., ALBALADEJO, J., MARTÍNEZ-MENA, M. Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. **Agric. Ecosyst. Environ.** 133, 75–85. 2009.

BRAY, A.W., OELKERS, E. H., BONNEVILLE, S., WOLFF-BOENISCH, D., POTTS, N. J., FONES, G., BENNING, L. G. The effect of pH, grain size, and organicligands on biotite weathering rates. **Geochimica etCosmochimica Acta**, 164, 127-145. doi: 10.1016/j.gca.2015.04.048.2015.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. Cristal structures of clay minerals and their X ray identification. **London: Mineralogical Society**. 495p. 1980.

BUZINARO, T. N.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 408-415, 2009.

CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I. C. Soil acidity and aluminum toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil and Use Management**, v.24, n.3, p.302-309, 2008b.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2183-2190, 2011.

CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P.; FREY-KLETT, P. Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. **Applied and Environmental Microbiology**, 72:1258-1266. 2006.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v.35, p.813-819, 2005.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: DAROLT, M.R. (Coord.). Plantio direto: pequena propriedade sustentável. **Londrina: Iapar**. p.65-94. (Circular, 101). 1998.
CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno nosudoeste do Paraná. **Londrina: Iapar**. 37p. (Boletim Técnico, 35). 1990.

CARVALHO, A. M. de. Adubação Verde e qualidade do solo no Cerrado. Planaltina, **DF: Embrapa Cerrados**, 2010.

CARVALHO, A.M.X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 2012. 116p. **Tese (Doutorado em solo e nutrição de plantas)** – Universidade Federal de Viçosa, Visoça, 2012.

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, 2013.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. **Bragantia**, v.74, n.3, p.311-321, 2015.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose, Zone Journal**, v. 14, p.1-8, 2015.

CHABOUSSOU, F. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose. Tradução de Maria José Guazzelli. Porto Alegre: L&PM, 1995.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do Milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 613-658. 2005.

COLBACH, N.; BIJU-DUVAL, L.; GARDARIN, A.; GRANGER, S.; GUYOT S. H. M.; MEZIERE, D.; MUNIER-JOLAIN, N. M.; PETIT, S. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. **Weed Res** 54:541–555. doi:10.1111/wre.12112. 2014.

COOPER, J. et al. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. **Agron. Sustain. Dev.** 36, 22. 2016.

COTRISOJA. Saiba a Importância da Inoculação e da Coinoculação. Disponível em: <<http://www.cotrisoja.com.br/saiba-a-importancia-da-inoculacao-e-da-coinoculacao/>>. Acesso em: 19 de maio, 2019.

CRUSCIOL, C.A.C Eficiência da rocha fonolito (F2) como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja: laudo técnico de eficiência e praticabilidade agrônoma. **Botucatu**. 30 p. 2008.

CUNHA, G.R. et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.400-414, 2001.

CUNHA, G. **Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura**. In: PIRES, J.; VARGAS, L.; CUNHA, G. Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Embrapa Trigo, Passo Fundo 2011.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; TESTONI, S.; BARBOZA, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al³⁺ extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.5, p.1362-1377, 2015.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre o alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1387-1401, 2014.

CRISTANCHO, J. A.; HANAFI, M. M.; SYED OMAR, S. R.; RAFII, M. Y. Alleviation of soil acidity improves the performance of oil palm progenies planted on an acid Ultisol. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science**, v.61, n.6, p.487-498, 2011.

DALL'AGNOL, A. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/a-saga-da-soja-no-brasil-e-no-mundo_400724.html. 2017 <Acessado em 15 de maio de 2019>.

DALMORA, A. C., RAMOS, C. G., SILVA, L. F. O, KAUTZMANN, R. M. “CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION”. São Paulo – Brazil – May 20th to 22nd – 2015.

DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica, Manaus**, v. 40, n. 3, p. 625 – 628, 2010.

DUARTE, W.M.; MAFRA, A.L.; FORESTI, M.M.; PICCOLLA, C.D.; ALMEIDA, J.A. Potencial de olivina melilitito, granito e sienito na disponibilização de K em solos. **Rev. Ciênc. Agroveterinárias**, Lages, v.12, n. 1, p. 66-77, 2013.

DUNWORTH, E. A.; WILSON, M. Olivine melilitites of the SW German Tertiary Volcanic Procinve: Mineralogy and Petrogenesis. **Journal of Petrology**, v.39, n.10, p.1805-1836, 1998.

ERNANI, P. R; ALMEIDA, J.A. Potássio. In Fertilidade do solo. Viçosa: SBSC. 1017p. 2007.

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2ªed., Lages: **O autor**, p. 256, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA [EMBRAPA]. Marco referencial em agroecologia. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:11-20, 1998.

ESSINGTON, M.E. Soil and water chemistry. An integrative approach. **CRC Press**. New York, 2nd ed. 656p., 2015.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO, 2015. Publicações. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/publicacoes.asp>>. Acesso em: 06 fev 2019.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 641-648, 2004.

FERRARI, A. M.; ERLER, G.; ASSAD, M. L. R. C. L.; TOSTA, C. D. e CECCATOANTONINI, S. R. Biodisponibilização de potássio proveniente de pó de rochas silicáticas. In: Congresso de Iniciação Científica da UFSCar, 13, São Carlos. **Anais. São Carlos: UFSCar**. 2005a.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: O Crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 12 p, 2011.

FYFE, W.S, KRONBERG, B.I, LEONARDOS, O.H AND OLORUFEMI, N. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. **Agr Ecosyst Env** 9: 383–399. 1983.

FYFE, W.S. Sustainable food production and agrogeology. In: PRIDE, C. & van STRAATEN, P. Agrogeology and small scale mining. **Small Mining International, Bulletin**, 1987.

FRANCO, F.; EVANGELISTA, A. Editores Técnicos .Informações Técnicas para Trigo e triticale - Safra 2018. 11ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale Cascavel, PR, 26 e 27 de julho de 2017. Coodetec Cascavel, PR. 1ª Edição. 2018.

FONTANELI, R. S. et al. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, 38:2116-2120, 2009.

FONTES, M.P.F. I. Intemperismo de Rochas e Minerais. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, R.G.R.; TORRADO, P.V.; orgs. Pedologia Fundamentos. Minas Gerais, **Soc. Bras. Ci. Solo**, p. 171-206, 2012.

FUKUOKA, M. Agricultura natural. São Paulo: Nobel, 1975.

FYFE, W.S., The life support system – toward earth sense. In: ERNST, W.G. **Earth systems: processes and issues**. Cambridge University Press, p. 506–515. 2000.

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, p. 715-720, 2006.

GABOS, M.B., MARTINS, E.S.; MENDES, D.R.; SANTOS, L.F.; OLIVEIRA, M.I.L.; LEITE, A.A.S.L. Evaluation of extractants for characterization of K silicate agrominerals. **16th World Fertilizer Congress of CIEC**, p. 211-213, 2014.

GARCIA-FRANCO, N., ALBALADEJO, J., ALMAGRO, M., MARTÍNEZ-MENA, M., Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil Till. Res.* 153, 66-75. 2015.

GILLMAN, G.P., BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects on soil cation chemistry. **Australian Journal of Soil Research**, Montpellier, v.39, p. 799-811, 2001.

GILLMAN, G.P., The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.465-468, 1980.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. p. 135-138. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 39. Colombo, 1999.

GRASSI FILHO, H. Elementos úteis ou benéficos. **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, nº20, p. 20-21. Ago/set 2003.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science** 327, 810–818. 2010.

GOLFETTO, P. Uso do fonolito para reposição de potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente. UFPR, 54p. 2016.

GOLDICH, S. S. A study in rock weathering. **The Journal of Geology**, 46(1), 1758. 1938.

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; FONSECA, I. M. Eficiência nutricional do milho cv.BRS1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.539-544, 2010.

GÖTSCH, E. Break-through in agriculture. **Rio de Janeiro: AS-PTA**, 1995.

GUZMÁN, E. S. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: **Embrapa, Informação Tecnológica**, p.101-132. 2005

GUELFY-SILVA, D.R.; SPEHAR, C.R.; MARCHI, G.; SOARES, D.A.S.; CANCELLIER, E.L.; MARTINS, E.S. Yield, nutriente uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. **Academic Journals**, v. 9, p. 455-464, 2014.

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

HECKMAN, K.; GRANDY, A. S.; GAO, X.; KEILUWEIT, M.; WICKINGS K.; CARPENTER, K.; CHOROVER, J.; RASMUSSEN, C. Sorptive fractionation of organic matter and formation of organo-hydroxy-aluminum complexes during litter biodegradation in the presence of gibbsite. **Geochimica et Cosmochimica Acta** v.121, p.667-683, 2013.

HOWARD, A. S. Um testamento agrícola. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

HOYOS, C. et al. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by Trichoderma. **Biological Control**, v. 51, p. 409-416, 2009.

HYPOLITO, R. & VALARELLI, J.V. Ordem de remoção de elementos lixiviados em experiências de alteração. Boletim IG. Instituto de Geociências, São Paulo, 4: 47-51, 1973.

INDA, A. V.; TORRENT, J.; BARRÓN, V.; BAYER, C. Aluminum hydroxy-interlayered minerals and chemical properties of a subtropical Brazilian Oxisol under no-tillage and conventional tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.33-41, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR - IDEC. Rota dos orgânicos. Revista do IDEC, São Paulo, n. 162, p. 20-23, fev. 2012. INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR - IDEC. Mapa de feiras orgânicas. [s.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: . Acesso em: 2 junho 2019.

JACKSON, M. L. Soil Chemical Analysis. 2 ed. Madison: **Department of Soil Science-University of Wisconsin**. Advanced Course, 1965. 991p. (Mimeografado).

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISK, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant Soil**, v.365, n.1-2, p.409-424, 2013.

JUNIOR, A. O., CASTRO, C., OLIVEIRA, F. A., & JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes (**Informações Agronômicas, n.º 143**). Piracicaba, SP: INPI. 2013.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELLO, V.F; ALLEONI, L.R.F (Ed.). **Química e mineralogia do solo: Conceitos básicos**. Viçosa, MG: SBSC, 2009. v.1, p 333-379.

KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. **Botucatu: Agroecológica**, 2001.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. PÓ DE BASALTO E ESTERCO EQUINO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Prunus sellowii* KOEHNE (ROSACEAE). **Curitiba, PR**, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

KOCHANN, R.A. & SELLES, F. O solo e sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J.M.; FERNANDEZ, M.R.; KOCHANN, R.A.; SELLES, F. & ZENTNER, R.P., eds. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo**, CNPT. p.43-52. 1991.

KUWAHARA, Y. In situ observations of muscovite dissolution under alkaline conditions at 25-50°C by AFM with an air fluid heater system. *American Mineralogist*, 93(7), 1028-1033. doi: 10.2138/am.2008.2688 1028. 2008.

KEUSKAMP, D. H.; KIMBER, R.; BINDRABAN, P.; DIMKPA, C.; SCHENKEVELD, W. D. C. Plant exudates for nutrient uptake. VFRC REPORT, 4, 2015.

KNABBEN, V. M. Ana Maria Primavesi, histórias de vida e agroecologia. **São Paulo: Expressão Popular**, 2016. 488 p.

KORCHAGIN, J.; ABREU, C.T.; DALACORTE, L.; TONINI, V.; MULLER, R.; CANER, L.; BORTOLUZZI, E.C. Atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal In: Gemas, joias e mineração: pesquisas aplicadas no Rio Grande do Sul. 1 ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016, v.1, p. 98-107.

KOPANSKI, C., VILELA, J., KURCHAIT, L., TORRE, A. y SUEK, D. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 33, núm. 1, 2012, pp. 2985-2993.

KUDLA, A. P.; MOTTA, A. C. V.; KUDLA, M. E. Efeito do pó de basalto aplicado em um Cambissolo Álico sobre o solo e crescimento do trigo. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v. 15, n. 2, p.187-195, 1996.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto: breve síntese conceitual. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes : Agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás. p. 149-172, 2009.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S.; Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1969-1975. 7p. 2008

LAZIA, B. Manejo ideal do solo em agricultura natural. [s.l.]: Portal Agropecuário, 2012. Disponível em: . Acesso em: 9 junho. 2019. LIMA, R. C.; MUNHOZ, L. Perspectivas da agricultura brasileira na visão da COP-13. [s.l.]: AGROANALYSIS, fev. 2017. p 33. Disponível em: . Acesso em: 9 junho. 2019.

LASAGA, A. C., SOLER, J. M., GANOR, J., BURCH, T. E., NAGY, K. L. Chemical weathering rate laws and global geochemical cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(10), 2361-2386. doi: 10.1016/0016-7037(94)90016-7. 1994.

LEONARDOS, O. H.; FYLE, W. S.; KROMBERG, B. **Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. 1976, Ouro Preto. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia p. 137-145. 1976.

LANTMANN, A. F. Resposta da soja à adubação fosfatada, 2003. Disponível em: < [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/d2da84e7376676083257b080045a415/\\$FILE/Palestra%20Aureo%20Lantmann.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/d2da84e7376676083257b080045a415/$FILE/Palestra%20Aureo%20Lantmann.pdf) >. Acesso em 10 de maio, 2019.

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, p. 3-9, 2000.

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

LOOMIS, R. AMTHOR, J. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 1584-1596, 1999.

LOURENÇO-JR., B.A. Desenvolvimento de Laranjeira ‘Pêra’ Citrus Sinensis (L.) Osbeck Enxertada em Limoeiro ‘Cravo’ (Citrus Limonia) e Cultivada com Pó de Basalto. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, 87 pp, 2011.

LOPES, L. C.; SANTOS, C. G.; TRINDADE, A. V.; PEIXOTO, M. F.; AZI, J. R. e MAIA, I. C. S. Efeito da associação micorrízica na resposta do mamoeiro (Carica papaya L.) ao potássio. In: **Congresso Brasileiro de Fruticultura. Fortaleza, Anais. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2000.**

LUCON, C.M.M. et al. Bioprospecção de isolados de Trichoderma spp. para o controle de Rhizoctonia solani na produção de mudas de pepino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 225-232, 2009.

LUZ, A. B. et al. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C (Ed.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 61-88. 2010.

MACHADO, R. V.; ANDRADE, F. V.; RIBEIRO, R.C.; RODRIGUES, R. R. Rejeitos de Rochas Ornamentais como Corretivo Alternativo e a Produção de Matéria Seca e Teores de Ca e Mg na Planta e no Solo. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XXIII, 2009, Gramado, Anais, Porto Alegre, UFRGS, 2009.

MALINOVSKAYA, I.M., KOSENKO, L.V., VOTSELKO, S.K., PODGORSKII, V.S. Role of Bacillus mucilaginosus polysaccharide in degradation of silicate minerals. **Mikrobiologiya** 59, 49–55. 1990.

MANCUSO, M.A.C., SORATTO, R.P., CRUSCIOL, C.A.C., CASTRO, G.S.A., 2014. Effect of potassium sources and rates on Arabica Coffee yield, nutrition and macronutrient export. **Rev. Bras. Ciência. Solo** 38, 1448–1456.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C.; Adubos e adubação. **São Paulo: Nobel**, 2002. 200 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

MARTINS, E.S. et al. Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. (ed). Rochas e Mineraias Industriais: usos e especificações. 2., Rio de Janeiro: Ed. CETEM-MCTI, 2008. p. 205-221.

MARTINS, E. S. Uso potencial de rochas regionais como fontes de nutrientes e condicionador do solo. Jataí: **EMBRAPA Cerrados**, 2010. Disponível em: . Acesso em: 10 Jun. 2019.

MANNING, D. A. C.; BAPTISTA, J. Microbial Interactions with feldspars – A catalyst for nutrient release. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. 3., 2017, Pelotas. Anais... Pelotas: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354346/26325871/Livro+Congresso+de+rochagem+For+mato+Web.pdf/29be78a9-dd7a-8050-5b31-2b02c583589e>. Acessado em 10 Jun. 2019.

MEENA, M. D.; BISWAS, D. R. Residual effect of rock phosphate and waste mica enriched compost on yield and nutrient uptake by soybean. Division of Soil Science and Agricultural Chemistry, Indian Agriculture Research Institute, New Delhi-110012, India. **Legume Res.**, 36 (5) : 406 - 413, 2013.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, **Série Estudos e Documentos - SED-72** (Versão provisória), 26p., 2007.

MELLO, J. W. V., & PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo In V. F., Melo, & L. R. F., Alleoni (Eds.), **Química e mineralogia dos solos** (p. 151-249). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2009.

MELFI, A.J.; LEVI, F. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo 1 (1) : 22-8, 1971.

MIKHAILOUSKAYA, N., TCHERNYSH, A., 2005. K-mobilizing bacteria and their effect on wheat yield. **Latv. J. Agron.** 8, 154–157.

MINGUETTI, F. F. Influência dos sistemas de produção, convencional e orgânico, na qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e do açúcar mascavo. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras.

MOHAMMED, S.M.O., BRANDT, K., GRAY, N.D., WHITE, M.L., MANNING, D.A.C. Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. **Eur. J. Soil Sci.** 65, 653–662. 2014.

MOLLISON, B. Introdução à Permacultura. Tradução de SOARES, A.L.J. 204p. **Brasília: MA/SDR/ONFC**, 1998.

MUNIZ, D. H. F. et al. Teores de metais no solo e absorção pelo milho decorrentes da utilização de rochas moídas como fontes de potássio. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 3., 2007, Planaltina. EMBRAPA Cerrados, 85 p. 2007

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 59 p. (Série estudos e documentos, 61), 2004.

NICHELE, E. R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e nimitigação de odores em criações animais confinadas. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 86p. 2006.

NICHOLS, V.; VERHULST, N.; COX, R.; GOVAERTS, B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. **Field Crop Res.** 183: 56–68, 2015.

NUNES, J. L. S (AGROLINK). Zoneamento Agroclimático da Soja. Disponível em <<http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/zoneamento.aspx>>. Acesso em: 10 de maio, 2019.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba, 4.ed. Ed. FEALQ, 2011. 592p.

OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. S. A. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. **Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 124 p, 2014.

OLIVEIRA, A. J.; CASTRO, C. et al. Adubação Potássica da Soja, EMBRAPA. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78055/1/ADUBACAO-POTASSICA-DA-SOJA.pdf>>. Acesso em 10 de maio, 2019.

OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. S. A. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. Empresa Brasileira

de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISSN 1516-8840 Julho, 2014. Embrapa Clima Temperado Pelotas, RS. 1ª Edição 1ª Impressão. 2014.

OELKERS, E. H., SCHOTT, J., GAUTHIER, J. M., HERRERO-RONCAL, T. (2008). An experimental study of the dissolution mechanism and rates of muscovite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 72(20), 4948-4961. doi: 10.1016/j.gca.2008.01.040

PEREGRINA, F., LARRIETA, C., IBÁÑEZ, S., GARCÍA-ESCUADERO, E. Labile organic matter, aggregates, and stratification ratios in a semiarid vineyard with cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 2120–2130. 2010.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. 4. ed. **São Paulo: Nobel**. 1982, 541 p.

PRIMAVESI, Ana Manejo Ecológico do Solo: A agricultura em regiões tropicais. **São Paulo: Nobel**, 2010.

PÁDUA, E.J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 91p, 2012.

PEREIRA FILHO, T. et al. Importância do Pó de Rocha para os Sistemas de Produção Agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3 de 2015.

PITTELKOW, C.M., LIANG, X., LINQUIST, B.A., VAN GROENIGEN, K.J., LEE, J., LUNDY, M.E., VAN GESTEL, N., SIX, J., VENTEREA, R.T., VAN KESSEL, C. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature** **517**, 365-368. 2015.

PFEIFFER, E, E. The Compost Manufacturer's Manual, Philadelphia: **The Pfeiffer Foundation**, Inc., 1956. RAMOS, C.G.; MELLO, A.G., KAUTZMANN, R.M. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management** , p.30-35, 2014.

PENTEADO, S. R. Agricultura orgânica. Piracicaba: ESALQ, 41 p. (Série Produtor Rural, Ed. Especial). 2001.

PRIYONO, J; GILKES R. J. High-Energy Milling Improves the Effectiveness of Silicate Rock Fertilizers: A Glasshouse Assessment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39:3-4, 358-369, DOI: 10.1080/00103620701826498. 2008.

RAMOS, C.G.; QUEROL, X.; DALMORA, A.C.; PIRES, K.C.J.; SCHNEIDER, I.A.H.; OLIVEIRA, L.F.S.; KAUTZMANN, R.M. Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, p.1-7, 2016.

RASTIJA, D.; ZEBEC, V.; RASTIJA, M. Impacts of liming with dolomite on soil pH and phosphorus and potassium availabilities. **Villach**, v.63, p. 1-4, 2014.

REGANOLD, J. Can we feed 10 billion people on organic farming alone? The Guardian, Nova Iorque, 14 ago. 2016. Disponível em: . Acesso em: 10 junho. 2019. REGANOLD, J. REN, F.; REILLY, K.; KERRY, J. P.; GAFFNEY, M.; HOSSAIN, M.; RAI, D. K. Higher antioxidant activity, total flavonols, and specific quercetin glu- cosides in two different onion (*Allium cepa* L.) varieties grown under organic production: results from a 6-year field study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 65, n. 25, p. 5122-5132, 2017.

REIS, D. N. dos; van STRAATEN, P.; NETO, E.F., BITTAR, S.M.B.; CURI, N. Extractant efficiency in the solubilization of alternative sources of potassium. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v.38, n. 3, p. 397-406, July-Sept., 2016.

RESENDE, A.V.; MARTINS, E.M.; OLIVEIRA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.; KINPARA, D.I.; FILHO, E.C.O. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, v.9, n.1, p. 19-42, 2006.

RESENDE, A.V. et al. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rocha “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, Brasília, v.9, p.19-42, 2006a. RESENDE, A.V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço e Geografia**, Brasília, v.9, p.135-161, 2006b.

RIBEIRO, G. M. **Caracterização de pós de rochas silicáticas, avaliação da solubilidade em ácidos orgânicos e potencial de liberação de nutrientes como remineralizadores de solos agrícolas.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina - Lages, SC. 107 p. 2018.

RIBEIRO, L.S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes de nutrientes para as plantas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.34, n. 3, p. 891-897, maio/jun.2010.

RICARDO, B.; CAMPANILI, M. (Org.). **Almanaque Brasil Socioambiental: uma nova perspectiva para entender a situação do Brasil e a nossa contribuição para a crise planetária.** São Paulo: Instituto Socioambiental - ISA. 185 p. 2008.

RUFATO, L.; RUFATO, A. R.; KRETZSCHMAR, A. A.; PICOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Coberturas vegetais no desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 29, n. 1, p. 107-109, 2007.

RUIZ-COLMENERO, M., BIENES, R., ELDRIDGE, D.J., MARQUES, M.J. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the Central Spain. **Catena** 104, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.007>. 2013.

RODRIGUES, A.F.S.; et. al., Agrominerais: recursos e reservas. In: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B., CASTILHOS, Z. C. (Eds). Agrominerais para o Brasil. **Rio de Janeiro: CETEM/MCT**, p. 380, 2010.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:355-362, 2003.

SALVADORI, J. R. et al. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018. FAMV e PPGAgro - Universidade de Passo Fundo Apassul Passo Fundo, RS 2016. 1ª Edição 1ª Impressão. UPF EDITORA. 2016.

SAMBUICHI, R. H. R.; MOURA, I. F.; MATTOS, L. M.; ÁVILA, M. L.; SPINOLA, P. A. C.; SILVA, A. P. M. A Política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2017. 463 p.

SANZSCOVINO, J.I., ROWELL, D.L. The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Columbia. **Fertil. Res.** 17, 71–83. 1988.

SAWHNEY, B. L. Selective sorption and fixation of cations by clay minerals: a review. **Clays and Clay Minerals**, 20: 93-100. 1972.

SCHMITT, C. J.; GRISA, C. Agroecologia, mercados e políticas públicas: uma análise a partir dos instrumentos de ação governamental. In: NIEDERLE, P.; ALMEIDA, L.; VEZZANI, F. M. (Org.). Agroecologia: práticas, mercados e políticas para uma nova agricultura. **Curitiba: Kairós**, 2013. p. 215-266.

SÉKULA, C.R. Rochagem e biofertilizantes como fontes de nutrientes para grandes culturas: efeitos na produtividade e no solo. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Universidade Estadual do Centro-Oeste (PR), Guarapuava. 61 p. 2011

SILVA, B., PARADELO, R., VAZQUEZ, N., GARCIA-RODEJA, E., BARRAL, M.T. Effect of the addition of granitic powder to an acidic soil from Galicia (NW Spain) in comparison with lime. **Environ. Earth Sci.** 68, 429–437. 2013.

STAMFORD, N.P., ANDRADE, I.P., DA SILVA JR., S., LIRA JR., M.A., SILVA SANTOS, C.E., DE FREITAS, A.D., STRAATEN, P.V. Nutrient uptake by Grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **J. Soil Sci. Plant Nutr.** 11, 79–88. 2011.
STEINER, R. Fundamentos da agricultura biodinâmica. 3. ed. **São Paulo: Ed. Antroposófica.** 240 p. 2010.

STRAATEN, P. van. *Agrogeology: the use of rocks for crops.* Cambridge, ON: **Enviroquest Ltd,** 2007.

STRAATEN, P. van. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In F. R. C., Fernandes, A.B., Luz, & Z. C., Castilho (Eds.), *Agrominerais para o Brasil* (p. 235-264). Rio de Janeiro, RJ, : **Cetem/MCT,** 2010.

SILVA, A. Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus benthamii*. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 69 p. Lages, 2007.

SUPANJANI, HYO, S.H., JAE, S.J., KYUNG, D.L. Rock phosphate-potassium and rock solubilising bacteria as alternative, sustainable fertilizers. **Agron. Sustain. Dev.** 26, 233–240. 2006.

SMITH SE, SMITH FA. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. **Mycologia**, v. 104, p. 1–13, 2012.

SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; COELHO, C.M.M.; Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.69-76, 2012.

SILVA, A.A.S.; SAMPAIO, J.A.; LUZ, B.L.; FRANÇA, S.C.A.; RONCONI, C.M. Modeling controlled potassium release from phlogopite in solution: exploring the viability

of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in Brazilian soil. **J.Braz.Chem.Soc.**, v.24, n.8, p.1366-1372, 2013.

SOKOLOVA, T. A. Decomposition of clay minerals in model experiments and in soils: possible mechanisms, rates, and diagnostics (Analysis of Literature). **Eurasian Soil Science**, 46(2), 182-197. doi: L10.1134/S10642 29313020130. 2013.

SOUZA, F. N. S., OLIVEIRA, C.G.; MARTINS, E.S., ALVES, J.M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas – TO, v.3, n.1, 2017.

SOUZA, M.E.P.; CARVALHO, A.M.X.C.; DELIBERALI, I.J.; BROWN, G.G.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 56-60, 2013.

STOLZE, M.; LAMPKIN, N. Policy for organic farming: rationale and concepts. **Food Policy**, Guildford, v. 34, n. 3, p. 237-244, 2009.

STUMM, W. Chemistry of the Solid-Water Interface. Swiss Federal Inst. Technology, ETH Zurich, Switzerland. pp.x + 428 pp. ref.21 pp. Of ISBN : 0471576727. 1992.

STUMM, W. G.; FURRER, E. W.; ZINDER, B. The Effects of Complex-Forming Ligands on the Dissolution of Oxides and Alumino-Silicates in The Chemistry of Weathering (**D. Reidel Publ. Co.**, Dordrecht, 1985.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed ed., 2004. 19 p.

TEDESCO, M.J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. **HOLOS**, 5: 52-64, 2015.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Resposta de cultivares de trigo irrigado por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região o Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 421-425, 2007.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

TESTONI, S. A. Mineralogia da fração argila de Latossolos e Nitossolos Brunos com caráter retrátil. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de PósGraduação em Ciência do Solo, Lages, SC, 2015.

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

THEODORO, S.H. & LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve Family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.78, p. 721-730, 2006.

THEODORO, S. H. **A fertilização da terra pelaterra: uma alternativa de sustentabilidade para opequeno produtor rural**. 2000. 231 f. Tese (Doutorado)– UnB, (2000).

TOLEDO, M. V.; BARRERA-BASSOLS, N. A memória biocultural: a importância ecológica das sabedorias tradicionais. São Paulo: **Expressão Popular**, 2015. 21 p.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015.

TOSTA, C. D.; ASSAD, M. L. R. C. L.; FERRARI, A. M.; ERLER, G. e CECCATO-ANTONINI, S. R. Biossolubilização de potássio de rocha ultramáfica por *Aspergillus niger*. In: **Congresso Brasileiro de Microbiologia**, 23. Santos, Anais. Santos: SBM. 2005.

TRINDADE, M. G. et al. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O. e ALMEIDA, F. P. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:1485-1494. 2001.

VAN RAIJ, B. Fertilidade do Solo Adubação. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 343 p. 1991.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUSS, F.; STURMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; CLARK A. Managing Cover Crops Profitably, 3rd edn. **Sustainable Agriculture Research and Education handbook** series 9. Pp 159-164. 2012.

van STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, p. 732-747, 2006.

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

van STRAATEN, P. Agrogeological resources in eastern and southern Africa. In: WACHIRA, J.K. & NOTHOLT, A.J.G. Agrogeology in Africa. **Common Sci Council**, p. 12-36, 1987.

van STRAATEN P. Agrogeology: the use of rocks for crops. Cambridge, **Ontário: Environquest Ltd.** 440 p. 2007.

WACHIRA, J.K. & NOTHOLT, A.J.G. Agrogeology in Africa. **Common Sci Council**, p. 12-36, 1987.

WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature Plants**, Nova Iorque, n. 15221, p. 1-8, 2016.

WANG, J.G., ZHANG, F.S., CAO, Y.P., ZHANG, X.L. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 56, 37-44. 2000.

WHITE, A. F. Quantitative Approaches to characterizing chemical weathering rates. In S., Brantley, J. D., Kubicky, & White, A. R. (Eds.), Kinetics of water-rock interaction (p. 469-543). New York, NY: Springer. 2008.

WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2 ed. Madison: **Soil Science Society of America.** 331p. 1986.

WILPERT, K.V.; LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulfate in a spruce stand on an acidified glacial loam. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 65, n. 1, p. 115-127, Feb. 2003.

WILLER, H.; LERNOUD, J (Eds). The world of organic agriculture – Statistics & Emerging trends. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) and IFOAM (Organics International). 340 p., 2017.

WOLSCHICK, P. R. D.; SCHUCH, F. S.; GERBER, T.; SARTORETTO, L. M. Efeito do pó de rocha basáltica sobre a germinação de *Cedrela fissilis*. **Agropecuária Catarinense**, v.29, n.3, p.76-80, 2016.

WORTHINGTON, V. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. **Journal of Alternative Complementary Medicine**, New Rochelle, v. 7, n. 2, p. 161-173, 2004.

WEERASURIYA, T.J., PUSHPAKUMARA, S., COORAY, P.I. Acidulated pegmatitic mica - a promising new multi-nutrient mineral fertilizer. **Fertil. Res.** 34, 67–77. 1993.

YANG, X., LI, Y., LU, A., WANG, H., ZHU, Y., DING, H., WANG, X. Effect of *Bacillus mucilaginosus* D4B1 on the structure and soil-conservation-related properties of montmorillonite. **Clay Sci.** 119, 141–145. 2016.

YAO, Y., YONEYAMA, T., HAYASHI, H. Potassium uptake by Chinese cabbage (*Brassica pekinensis* Rupy.) from fused potassium silicate, a slow releasing fertilizer. **Plant Soil** 249, 279–286. 2003.

YOUSEFI, A.A. et al. Phosphatesolubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. **World Appl. Sci. J.** 15, 1310–1318. 2011.

YOUSSEF, G.H., SEDDIK, W.M., OSMAN, M.A. Efficiency of natural minerals in presence of different nitrogen forms and potassium dissolving bacteria on peanut and sesame yields. **J. Am. Sci.** 6, 647–660. 2010.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZAGONEL, J. et al. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolos sob sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.66, n.3, p.487-495, 2007.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E. F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, v.65, n.2, p.190-203, 2008.

ZARJANI, J.K., ALIASGHARZAD, N., OUSTAN, S., EMADI, M., AHMADI, A. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils. **Arch. Agron. Soil Sci.** 59, 1713–1723. 2013.

ZHAO, F., SHENG, X., HUANG, Z., HE, L. Isolation of mineral potassium-solubilizing bacterial strains from agricultural soils in Shandong Province. **Biodivers. Sci.** 16, 593–600. 2008.

ZHOU, J. M., & HUANG, P. M. (2007). Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. **Geoderma**, 138(3-4), 221-228. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.11.013

ZHU, X., LIAN, B., YANG, X., LIU, C., ZHU, L. Biotransformation of earthworm activity on potassium-bearing mineral powder. **J. Earth Sci.** 24, 65–74. 2013.