

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**MONICA CAROLINA SUSTAKOWSKI**

**TEOR DE NUTRIENTES, PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E  
PRODUTIVIDADE DE SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA  
ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2021**

**MONICA CAROLINA SUSTAKOWSKI**

**TEOR DE NUTRIENTES, PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E  
PRODUTIVIDADE DE SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA  
ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dra. Edleusa Pereira Seidel  
Coorientadora: Dra. Maria do Carmo Lana

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2021**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Sustakowski, Monica Carolina

Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura / Monica Carolina Sustakowski; orientador(a), Edleusa Pereira Seidel; coorientador(a), Maria do Carmo Lana, 2021.

72 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. Adubos verdes. 2. Agricultura sustentável. 3. Fertilidade do solo. 4. Remineralização. I. Seidel, Edleusa Pereira. II. Lana, Maria do Carmo. III. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



## MONICA CAROLINA SUSTAKOWSKI

Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura

Dissertação apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientadora - Edleusa Pereira Seidel

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Emerson Fey

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Rubens Fey

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Neumarcio Vilanova da Costa  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 22 de fevereiro de 2021

*Aos meus pais, Sérgio Sustakowski e Cleni de Fátima Naressi Sustakowski, e meu irmão Carlos, meus exemplos de vida e fonte de amor e força.*

*Ao meu namorado e companheiro, Willian dos Reis, meu porto seguro e meu melhor amigo.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. Por estar ao meu lado em todos os momentos, me dando força, saúde e ânimo para não desistir e continuar lutando por meus objetivos e ter tranquilizado meu espírito nos momentos mais difíceis desta trajetória.

Aos meus pais e irmão, Sergio Sustakowski, Cleni de Fátima Naressi Sustakowski e Carlos Fabrício Sustakowski, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, que apesar de todas as dificuldades sempre me fortaleceram. Obrigada por sempre estarem ao meu lado me dando segurança e por todos os conselhos e ensinamentos que me fizeram chegar até esta etapa da minha vida. Vocês são exemplos de luta e superação e são a minha maior fonte de amor e força. Tudo o que eu sou se resume a vocês.

Ao meu companheiro de todas as horas, Willian dos Reis, meu companheiro de trajetória, de caminhada, de coletas de solo, de capinas, de análises de laboratório, que esteve comigo em todos os momentos. Obrigada por ser meu apoio, pela cumplicidade diária, por cada gesto de carinho, por sempre estar ao meu lado e por ser meu melhor amigo. Obrigada por acreditar em mim e me lembrar de acreditar também. Você é um presente que a vida me deu e que torna meus dias melhores.

Às minhas grandes amigas e colegas de pós-graduação, Rayssa Helana da Silva e Renata Filler Barabasz, por toda ajuda em qualquer que fosse a situação. Obrigada pela cumplicidade e amizade, que me acalmaram nos momentos de angústia e por me ajudarem a evoluir.

À minha querida orientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Edleusa Pereira Seidel, que me orientou em cada etapa deste trabalho. Sou muito grata por toda paciência, atenção e dedicação em me orientar e, acima de tudo, pelo incentivo que muitas vezes foi o impulso que precisava. Agradeço por todo o conhecimento transmitido a mim e por toda ajuda sempre que precisei. Tenho orgulho de ser sua orientada e a tenho como um exemplo e inspiração de profissional.

À minha coorientadora, Prof<sup>a</sup> Dra. Maria do Carmo Lana, por todas as contribuições feitas para a melhoria do trabalho e por disponibilizar o Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas para a realização das análises.

Ao Jucenei Fernando Frandoloso por todo auxílio durante a realização das análises químicas.

A todos os integrantes do Grupo de Estudos em Solos e Agroecologia (GESA) por toda ajuda oferecida nas coletas de campo.

Aos funcionários do Núcleo de Estações Experimentais, especialmente ao Marcelo Lang, Ademar da Silva, Dirceu Rauber, Ernesto Deves e Claudio Adolino Kirsten que auxiliaram em toda a fase de experimento à campo. Agradeço pela paciência e dedicação sempre que precisei.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização deste curso. Aos professores do PPGA que me deram recursos para evoluir todos os dias. Agradeço por todos os conhecimentos transmitidos que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

À secretária do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, paciência, atenção e auxílio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

## RESUMO

SUSTAKOWSKI, Monica Carolina. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro – 2021. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura do solo.** Orientadora: Dra. Edleusa Pereira Seidel. Coorientadora: Dra. Maria do Carmo Lana.

A utilização de pó de rocha é uma alternativa para buscar o equilíbrio da fertilidade, a recuperação do solo e a produtividade sustentável. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de pó de rocha associadas a plantas de cobertura, sobre a disponibilidade de nutrientes, a produtividade da soja e as propriedades físicas do solo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por três cultivos: aveia-preta, consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro e ausência de cultivo com plantas de cobertura (solo sem cobertura). As subparcelas foram compostas por cinco doses de pó de rocha: 0, 3, 6, 9 e 12 t ha<sup>-1</sup>. Foram avaliados: o pH e H+Al e os teores de P, K, Ca e Mg em amostras de solo coletadas aos 6 e 12 meses após a aplicação do pó de rocha nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m; a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m e a produtividade da soja. Os resultados demonstraram que o cultivo das plantas de cobertura (aveia-preta e aveia-preta + nabo-forrageiro) elevou os teores de P e K em 29 e 92%, respectivamente, em relação a área sem cultivo, o que resultou em aumento de 22% na produtividade da soja. Seis meses após a aplicação do pó de rocha de basalto houve aumento no teor de P no solo; sendo que após 12 meses quando o pó de rocha foi associado as plantas de cobertura houve aumento no teor de P e Ca e redução no pH do solo. O uso do pó de rocha de basalto na dose de 8,4 t ha<sup>-1</sup> resultou em incremento de produtividade de 16%. O cultivo com plantas de cobertura do solo não promoveu melhorias na porosidade e na densidade do solo. A maior dose de pó de basalto aplicada neste trabalho (12 t ha<sup>-1</sup>) não promoveu alteração na porosidade e densidade do solo. Os resultados demonstram o potencial de uso do pó de rocha como insumo para agricultura sustentável.

Palavras-chave: adubos verdes, agricultura sustentável, fertilidade do solo, remineralização.

## ABSTRACT

SUSTAKOWSKI, Monica Carolina. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, february – 2021. **Nutrient content, soil physical properties and soybean yield after application of rock dust associated with cover plants.** Advisor: Dra. Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisor: Dra. Maria do Carmo Lana.

The use of rock dust is an alternative to seek fertility balance, soil recovery and sustainable productivity. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of applying different doses of rock dust associated with cover crops, on the availability of nutrients, soybean yield and the physical properties of the soil. The experimental design used was randomized blocks in a split-plot scheme, with four replications. The main plots consisted of three crops: black oat, black oat + forage turnip intercrop, and no cover crop (no soil cover). The subplots were composed of five doses of rock dust: 0, 3, 6, 9 and 12 t ha<sup>-1</sup>. The following were evaluated: pH, H+Al, P, K, Ca and Mg in soil samples collected 6 and 12 months after the application of rock dust in the layers 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.15 m; macroporosity, microporosity, total porosity and soil density in the layers 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.15 m; and soybean yield. The results showed that the cultivation of the cover crops (black oat and black oat + forage turnip) increased the P and K contents by 29 and 92%, respectively, compared to the area without cultivation, which resulted in a 22% increase in soybean yields. Six months after the application of basalt rock dust there was an increase in the P content of the soil; and after 12 months when the rock dust was associated with cover crops there was an increase in the P and Ca content and a reduction in soil pH. The use of basalt rock dust at a dose of 8.4 t ha<sup>-1</sup> resulted in a yield increase of 16%. Cultivation with cover crops did not promote improvements in soil porosity and density. The highest dose of basalt dust applied in this study (12 t ha<sup>-1</sup>) did not change soil porosity and density. The results demonstrate the potential of using rock dust as an input for sustainable agriculture.

Keywords: green manures, sustainable agriculture, soil fertility, remineralization.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Precipitação pluviométrica e temperaturas mínima, média e máxima mensais referentes ao período de março de 2019 a abril de 2020 no município de Entre Rios do Oeste-PR. ....	25
Figura 2 - pH do solo nas camadas de 0,05-0,10 m (A) e 0,10-0,15 m (B) após 12 meses da aplicação de pó de rocha associado com palhadas de plantas de cobertura. ....	34
Figura 3 - Valores de H+Al na camada de 0,00-0,05 m após 12 meses da aplicação de pó de rocha associado a palhada de plantas de cobertura. ....	36
Figura 4 - Teores de P no solo na camada de 0,00-0,05 m após 6 meses da aplicação de doses de pó de rocha basáltica. ....	38
Figura 5 - Teor de P na camada de 0,10-0,15 m em solo sob palhada de diferentes plantas de cobertura após 12 meses da aplicação de pó de basalto. ....	40
Figura 6 - Teor de P no solo na camada de 0,05-0,10 m, após 12 meses da aplicação de doses de pó de basalto. ....	41
Figura 7 - Teor de K na camada de 0,05-0,10 m após 12 meses da aplicação de pó de basalto em solo com palhada de diferentes plantas de cobertura. ....	44
Figura 8 - Teores médios de Ca na camada de 0,00-0,05 m após 12 meses da aplicação de doses de pó de rocha associado a palhada de diferentes plantas de cobertura do solo. ....	49
Figura 9 - Número de vagens por planta de soja após a aplicação de doses de pó de rocha. ....	51
Figura 10 - Massa de 1000 grãos de soja após a aplicação de pó rocha associado a plantas de cobertura. ....	52
Figura 11 - Produtividade de soja, safra 2019/2020, após aplicação de doses crescentes de pó de basalto. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química inicial da área experimental no município de Entre Rios do Oeste-PR, nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.....	25
Tabela 2 - Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora, localizada no município de Palotina-PR .....	26
Tabela 3 - Granulometria de pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR .....	27
Tabela 4 - Valores médios de pH em CaCl <sub>2</sub> e acidez potencial (H+Al) após o cultivo de plantas de cobertura e 6 meses da aplicação de doses de pó de rocha .....	30
Tabela 5 - Valores médios de pH na camada de 0,00-0,05 m e de H+Al nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, sob diferentes palhadas e 12 meses após a aplicação de doses de pó de rocha .....	32
Tabela 6 - Valores médios dos teores de fósforo (P) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação .....	37
Tabela 7 - Valores médios dos teores de potássio (K) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação .....	42
Tabela 8 - Valores médios dos teores de K no solo 6 meses após a aplicação de doses de pó de rocha, em diferentes camadas: 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m.....	43
Tabela 9 - Valores médios dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação .....	46
Tabela 10 - Valores médios dos teores de K, Ca e Mg no solo 6 meses após a aplicação de doses de pó de rocha, em diferentes camadas: 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m..	47
Tabela 11 - Teores de Ca e Mg no solo com diferentes palhadas e após 12 meses da aplicação de pó de rocha, em diferentes camadas de avaliação.....	50
Tabela 12 - Produtividade de soja, safra 2019/2020, após cultivo com diferentes plantas de cobertura do solo.....	54
Tabela 13 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após cultivo de soja em sucessão a plantas de cobertura do solo.....	57
Tabela 14 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após aplicação de doses crescentes de pó de basalto .....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	HIPÓTESE.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL .....	13
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	CULTURA DA SOJA.....	14
2.2	FERTILIDADE DOS SOLOS BRASILEIROS E A DEPENDÊNCIA PELA IMPORTAÇÃO DE INSUMOS FERTILIZANTES .....	14
2.3	ROCHAGEM COMO FONTE ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO.....	16
2.4	PLANTAS DE COBERTURA: UMA ALTERNATIVA PARA O AUMENTO DA SOLUBILIZAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA.....	20
2.5	ROCHAGEM E PLANTAS DE COBERTURA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	24
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	26
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA UTILIZADO.....	26
3.4	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	27
3.5	AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES.....	28
3.6	AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA .....	28
3.7	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	29
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
4.1	ACIDEZ DO SOLO .....	29
4.2	TEOR DE P NO SOLO.....	36
4.3	TEOR DE K NO SOLO .....	42
4.4	TEORES DE Ca E Mg NO SOLO.....	45
4.5	PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	51
4.6	POROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO .....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais fontes econômicas do Brasil. De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil no ano de 2020 o PIB do agronegócio cresceu 24,31% em relação ao ano de 2019, representando 26,6% do PIB brasileiro.

Dentre as principais culturas, a soja é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro e mundial o que, segundo Hirakuri e Lazzarotto (2014), pode ser atribuído a sua consolidação como uma importante fonte de proteína vegetal e ao desenvolvimento de tecnologias que viabilizaram a expansão da exploração em várias regiões do mundo.

Como resultado do rápido intemperismo das rochas proporcionado pelo clima tropical, juntamente com a lixiviação de nutrientes, o Brasil apresenta em geral, solos pobres em fertilidade (GOLFETTO, 2016), fazendo com que o manejo adequado da fertilidade do solo seja condição primordial para o sucesso da produção agrícola.

Para a safra 2019/2020 foi estimado que a área destinada a produção de grãos no Brasil foi de 65,5 milhões de hectares, sendo que 85% são ocupados pela cultura da soja e do milho. Neste cenário, o cultivo de soja e milho representa cerca de 60% do consumo de fertilizantes no Brasil (GLOBALFERT, 2020).

Entretanto, como a produção nacional de fertilizantes é insuficiente, grande parte desses insumos são provenientes da importação. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2020), no ano de 2019 a produção nacional de fertilizantes foi pouco mais de 7 milhões de toneladas de produto, ao passo que a importação se situou em torno de 29,5 milhões de toneladas de produto.

Diante disso, a técnica da rochagem tem se difundido como um recurso de remineralização de solos a partir do uso de determinadas rochas moídas com o objetivo de rejuvenescer solos intemperizados e melhorar a sua fertilidade, a fim de se ter uma agricultura mais sustentável e independente da importação de insumos químicos (THEODORO et al., 2012).

Incluídos na categoria de insumos agrícolas pela Lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013, recebem a denominação de remineralizadores os materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo (BRASIL, 2013).

Esta prática tem grande importância sobretudo na agricultura de base agroecológica, que busca a substituição de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade por insumos com taxas de liberação de nutrientes ao longo do tempo e de acordo com a demanda das culturas, aumentando a sustentabilidade do sistema.

Contudo, quando utilizada como única estratégia de manejo da fertilidade do solo o efeito da rochagem ocorre de médio a longo prazo, devido a sua baixa solubilidade. Isso torna necessário o estudo de alternativas que aumentem a velocidade de solubilização dos minerais e facilite a disponibilidade dos nutrientes, resultando em maior eficiência.

Desta forma, uma alternativa no manejo da fertilidade do solo com uso da rochagem é usá-la em associação com materiais que modifiquem o pH do meio. Plantas de cobertura podem ser associadas aos pós de rocha para modificar a taxa de alteração de minerais, porque liberam exsudatos radiculares capazes de modificar o pH da rizosfera, além de estimularem a ação de microrganismos solubilizadores (SOUZA et al., 2017).

## 1.1 HIPÓTESE

A aplicação antecipada do pó de rocha associada ao cultivo de plantas de cobertura favorece a disponibilidade de nutrientes e promove melhorias na porosidade do solo, resultando em incrementos na produtividade da cultura em sucessão.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de doses de pó de rocha, associadas com plantas coberturas, sobre atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da cultura da soja.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o pH e a disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo;
- b) Avaliar a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo;
- c) Avaliar a produtividade da cultura da soja.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTURA DA SOJA

A cultura da soja é considerada a principal espécie oleaginosa produzida e consumida a nível mundial devido a sua importância tanto para o consumo animal quanto para o consumo humano (SILVA et al., 2011).

No Brasil, a produção de soja apresenta grande relevância para o agronegócio, visto que se consolida como o maior produtor mundial do grão. Na safra 2019/2020, a área destinada ao cultivo da cultura no país foi de quase 37 milhões de hectares, um aumento de 3% em relação à safra anterior. Com isso, a produção se situou em aproximadamente 125 milhões de toneladas de grãos produzidos (CONAB, 2020).

Dentre os estados brasileiros, o Paraná na safra 2019/2020 situou-se como o segundo maior produtor do grão, alcançando uma produção de cerca de 21,5 milhões de toneladas em uma área plantada de 5,5 milhões de hectares e registrando uma produtividade média de 3.925 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

Ao longo dos anos, com o aperfeiçoamento e desenvolvimento de novas tecnologias de produção, aliado a grande disponibilidade de recursos naturais, a soja passou a ter grandes incrementos na produtividade. No entanto, o Brasil ainda apresenta desafios, que se superados poderiam resultar em maior potencialidade da cultura no país (SILVA et al., 2011). Um desses é a dependência da importação de fertilizantes utilizados na cultura.

De acordo com levantamentos de Lavorato e Braga (2017), os gastos com fertilizantes compõe 22% dos custos de produção da soja convencional, e por terem grande influência na produtividade sua utilização pode significar a diferença entre lucro e prejuízo da cultura.

### 2.2 FERTILIDADE DOS SOLOS BRASILEIROS E A DEPENDÊNCIA PELA IMPORTAÇÃO DE INSUMOS FERTILIZANTES

O território brasileiro se caracteriza por apresentar uma vasta diversidade de solos devido aos processos de formação, pelas diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados. Há uma grande predominância de Latossolos e Argissolos, que ocupam 39 e 20% do território, respectivamente (COELHO et al., 2002).

Apesar do Brasil ser um país megadiverso com a superfície recoberta por rochas que apresentam uma ampla variação em termos de gênese, de filiação química e de idade, os

solos, em geral, apresentam índices de fertilidade muito baixos. Este fato decorre de uma série de fatores, entre os quais se destacam: (i) a localização de grandes porções do país em áreas de clima tropical (onde os solos são intensamente lixiviados); (ii) formações geológicas de rochas quartzosas ou aluminosas de origem sedimentar e (iii) solos antigos em regiões de estabilidade tectônica. Assim o tempo de exposição à ação físico-química-biológica acaba por produzir solos quimicamente empobrecidos e com baixos níveis de fertilidade (THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010). Por isso, torna-se necessário um alto investimento em corretivos e fertilizantes para que se consiga um bom desempenho agrícola (BERNARDI et al., 2002; PÁDUA, 2012).

De acordo com Lopes e Guilherme (2007), a baixa fertilidade dos solos pode ser oriunda tanto de causas naturais, pelo próprio material de origem e pela ação do intemperismo que é intensificada em regiões tropicais e subtropicais devido as condições de alta temperatura e precipitações pluviais. Outro fator que leva a baixa fertilidade são as causas antrópicas provocadas pelo manejo inadequado do solo que leva à exaustão de nutrientes.

Dessa forma, um dos principais fatores para manter a fertilidade do solo e, conseqüentemente, obter produtividades adequadas e produtos agrícolas de qualidade é a prática da adubação. Esta prática deve levar em consideração que se tenha o mínimo impacto possível no meio ambiente (LOPES; GUILHERME, 2007).

De acordo com levantamentos do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2019), entre os anos de 2017 e 2019 os preços dos fertilizantes tiveram um aumento de quase 40%, sendo os maiores preços desde o ano de 2010. Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), os fertilizantes podem representar até 30% dos custos de produção da soja em alguns casos.

Entretanto, como a produção nacional de fertilizantes é insuficiente, grande parte desses insumos são provenientes da importação. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2020), no ano de 2019 a produção nacional de fertilizantes foi pouco mais de 7 milhões de toneladas de produto, uma queda de 12,8% em relação ao ano anterior, ao passo que a importação se situou em torno de 29,5 milhões de toneladas de produto, um aumento de 7,3%.

Além disso, estes adubos químicos por serem fontes altamente solúveis e estarem propensos ao processo de lixiviação, podem ocasionar problemas ambientais, como eutrofização de águas superficiais e subsuperficiais e liberação de gases poluentes na atmosfera; necessitam de fontes não renováveis de energia no seu processamento e dependem da utilização de recursos minerais não renováveis, escassos e mal distribuídos entre os países (FIXEN, 2009).

Os custos para obtenção de fertilizantes são altos e seu consumo pode causar a escassez de algumas jazidas minerais (FERREIRA et al., 2009).

Aliado a estes fatores, as fontes convencionais de nutrientes apresentam algumas desvantagens em seu comportamento em clima tropical relacionadas às elevadas temperaturas e precipitação pluviométrica, além das características do próprio solo (FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006). O nitrogênio na forma de uréia apresenta grandes perdas por volatilização. O potássio na forma de cloreto apresenta elevada mobilidade química e física por movimentação em solução e por erosão. Os fosfatos solúveis são parcialmente adsorvidos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, abundantes em solos tropicais (BERNARDI et al., 2007; BERTOL et al., 2007).

Outra limitação é a ausência de outros nutrientes minerais em sua composição, onde várias culturas apresentam desequilíbrios nutricionais por este motivo. Aliado aos desequilíbrios nutricionais, pode ocorrer o “consumo de luxo” das culturas, pois neste modelo de fertilização pode ocorrer o acúmulo dos nutrientes na planta sem refletir em aumento de produção (RESENDE et al., 2006; KAMINSKI et al., 2007).

Estas questões oneram economicamente a produção agrícola e fragilizam o posicionamento do Brasil, gerando um desafio na busca de soluções alternativas neste setor, visto que a utilização de fertilizantes no Brasil não é feita de forma racional, geralmente com uso excessivo de alguns e falta em outros nutrientes. De acordo com Martins et al. (2010) os principais motivos para esse uso incorreto dos fertilizantes estão relacionados com a falta de transferência de tecnologias e a aspectos culturais da prática do produtor agrícola.

Diante da escassez desses insumos, a reciclagem de resíduos, seja de origem agrícola ou industrial, cujos descartes indevidos podem causar impactos negativos ao meio ambiente, surge como uma importante ferramenta para minimizar a baixa oferta de fertilizantes para os sistemas sustentáveis de produção. Assim, o desenvolvimento de novas técnicas à produção agrícola pode resultar em ganho de competitividade, além da diminuição dos custos de produção, aumento da produtividade e da lucratividade (LAVORATO; BRAGA, 2017).

### 2.3 ROCHAGEM COMO FONTE ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO

Uma alternativa sustentável para a reposição de nutrientes ao solo é o uso de pós de rochas moídas, técnica denominada como rochagem, em que se utiliza o produto oriundo do beneficiamento de materiais minerais que apresentam solubilidade mais lenta, disponibilizando

os nutrientes para as plantas por um período maior do que os fertilizantes convencionais (MARTINS; THEODORO, 2010).

O uso de rochas silicatadas como fonte de nutrientes na agricultura é uma prática antiga, mas que foi esquecida com o advento do uso de fertilizantes solúveis. No Brasil a sua revalorização está ligada a três aspectos principais: I) busca por alternativas às fontes de nutrientes importadas; II) necessidade de aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e mineradoras e; III) expansão das correntes de agricultura de base agroecológica, com restrições ao uso de fertilizantes solúveis e estímulos à utilização de recursos localmente disponíveis (COLA; SIMÃO, 2012; CARVALHO, 2013).

Em relação aos fertilizantes solúveis, a rochagem apresenta vantagens como: economia de mão de obra, pois o pó de rocha é de baixa solubilidade e assim não há necessidade de aplicações frequentes devido ao seu efeito residual prolongado; não acidifica o solo e pode corrigir a acidez; não saliniza o solo; reduz a fixação do P solúvel pela presença de sílica; a matéria prima é inteiramente nacional, fácil de ser explorada e encontram-se distribuídas em todas as regiões do país (AMPARO, 2003).

A rochagem também é considerada como um tipo de remineralização. É utilizada para rejuvenescer solos pobres quimicamente ou lixiviados e busca o equilíbrio da fertilidade, a conservação dos recursos naturais e a produtividade sustentável; além de contribuir na recuperação de solos e reduzir o uso de produtos químicos em formas altamente solúveis (THEODORO, 2000).

No Brasil para que um resíduo possa ser comercializado como remineralizador deve estar enquadrado na Lei Nº 12.890 e sua comercialização e registro está fundamentada na Instrução Normativa Nº 05, a qual estipula as garantias mínimas da concentração de nutrientes no remineralizador, além das características necessárias para haja eficiência em seu uso.

Comumente são utilizadas rochas silicáticas (HARLEY; GILKES, 2000; RIBEIRO et al., 2010), as quais são compostas por uma alta gama de minerais como flogopita, feldspatos, biotitas, minerais máficos (RIBEIRO et al., 2010; SILVA et al., 2012). Os nutrientes comumente fornecidos são o fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e alguns micronutrientes, além de elementos benéficos às plantas como silício (MELO et al., 2009; VAN STRAATEN, 2006).

Há uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos. Na literatura científica os trabalhos sobre a utilização de rochas silicatadas como fontes de nutrientes concentram-se principalmente com materiais máficos como o pó de basalto (HINSINGER et al., 2001; LOPES-ASSAD et al., 2010; HANISH et al., 2013; BATISTA et

al., 2017; BORGES et al., 2017; ALOVISI et al., 2020) ou materiais ricos em algum nutriente como o flogopitito (SILVA et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010), o micaxisto (BASAK; BISWAS, 2009; AMARAL et al., 2020), o fonolito (MARTINS et al., 2015; GOLFETTO, 2016; BOLDRIN et al., 2019; ROCHA NETO, 2020), o verdete ou glauconito (PIZA et al., 2011; PEREIRA et al., 2019), entre outros.

As rochas basálticas estão entre as mais estudadas devido a sua ampla distribuição e por sua rica composição química. O basalto (rocha básica de origem vulcânica) é constituído principalmente por minerais aluminossilicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios, pouco resistentes ao intemperismo químico e importantes fontes de Ca, Mg e micronutrientes. Rochas com esta composição possuem quantidades variáveis de vários nutrientes que podem se apresentar na forma de compostos com maior ou menor facilidade de solubilização (FERREIRA et al., 2009).

Segundo Harley e Gilkes (2000), uma característica importante dos pós de rocha é a solubilidade mais lenta, pois permite que o pó de rocha tenha um efeito residual após a aplicação. Este fato tem dois desdobramentos: (i) diminui os gastos com a aquisição de insumos por períodos maiores e (ii) evita a contaminação do solo e dos recursos hídricos pelo excesso (THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010).

A rochagem compreende uma grande vantagem para a agricultura tropical, pois a liberação lenta e gradual de nutrientes além de ser positiva em função dos efeitos residuais sobre cultivos sucessivos, também é importante em função da formação de minerais secundários que agem na elevação da CTC do solo com redução das perdas por lixiviação dos nutrientes na solução do solo (MARTINS et al., 2010).

Segundo Silverol e Machado Filho (2006), a eficácia da aplicação do pó de rocha será tão maior quanto a sua diversidade mineralógica, por incluir grande parte dos nutrientes que as plantas necessitam para se desenvolver adequadamente.

O Brasil por possuir uma grande diversidade geológica, a rochagem apresenta-se como uma excelente alternativa ao fornecimento de nutrientes no sistema agrícola (COLA; SIMÃO, 2012). A região Sul do Brasil possui cerca de 1.000.000 de km<sup>2</sup> de derramamento de lavas basálticas, sendo que na bacia do Paraná, o volume de lavas basálticas pode atingir o total de 650.000 km<sup>3</sup> (MINEROPAR, 2013, apud HANISH et al., 2013).

Trata-se, portanto, de uma estratégia de aproveitamento de um material localmente abundante e de baixo custo, proveniente de minas existentes na região. Mostrando-se também, como uma técnica capaz de atender as necessidades da agricultura agroecológica que contém restrições ao uso de fertilizantes solúveis (CARVALHO, 2013).

A rochagem também proporciona o aproveitamento de rejeitos de pedreiras e mineradoras, que em alguns casos pode atingir 60% do produto extraído, tornando seu destino final menos impactante ao meio ambiente (COLA; SIMÃO, 2012).

Hanisch et al. (2013), buscando avaliar o efeito de doses de pó de basalto combinadas com a presença ou ausência de fertilização, sobre alguns atributos químicos do solo, verificaram que houve aumento dos teores de Zn, Cu, Fe, Mg e P no solo com o aumento das doses de pó de basalto aos 14 meses após sua aplicação ao solo.

Batista et al. (2017), ao avaliar o efeito de doses de basalto moído (0, 0,96, 1,92, 3,84, 5,76 e 7,68 t ha<sup>-1</sup>) sobre os atributos químicos do solo cultivado com soja em sucessão a sorgo, observaram que o pó de basalto diminuiu a acidez do solo com o aumento das doses, além de proporcionar aumento nos teores de cálcio, fósforo e silício em um curto período, de 2 a 3 meses.

O aproveitamento de rochas moídas como fonte recuperadora e renovadora do solo além de restituir nutrientes para as plantas pode auxiliar na redução do uso de produtos químicos de alta solubilidade, pois a rochagem pode ser empregada como uma fonte de liberação gradual de nutrientes, obtendo-se um efeito fertilizante mais duradouro e com menor risco de perdas (THEODORO, 2000; COLA; SIMÃO, 2012).

Contudo, grande parte das rochas apresenta limitações quando utilizada como única estratégia de manejo da fertilidade do solo a curto prazo; pois, a diversidade mineralógica e granulométrica acaba interferindo na velocidade de liberação dos nutrientes, o que pode acabar favorecendo a liberação de alguns nutrientes em detrimento de outros (CARVALHO, 2012).

Isso faz com que estas fontes sejam menos responsivas, em curto prazo, quando comparadas aos fertilizantes de alta solubilidade (CARVALHO, 2013). Isso ocorre devido aos elementos estarem dentro das estruturas cristalinas dos minerais das rochas (HARLEY; GILKES, 2000). Entretanto, algumas rochas como os basaltos apresentam frações significativas de elementos em cristais pequenos, malformados ou em início de intemperismo, o que acaba acelerando a disponibilidade desses elementos (CARVALHO, 2013).

Isso torna necessário que o emprego da rochagem seja associada a alternativas que sejam capazes de interagir com os minerais e acelerar o processo de solubilização e disponibilidade dos nutrientes.

## 2.4 PLANTAS DE COBERTURA: UMA ALTERNATIVA PARA O AUMENTO DA SOLUBILIZAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA

De acordo com Cola e Simão (2012), um entrave na utilização do pó de rocha é a sua baixa solubilidade e dificuldade de liberação dos nutrientes que geralmente ficam temporariamente indisponíveis às plantas, necessitando da atuação de processos biológicos para aumentar a solubilização dos minerais.

O processo de dissolução dos minerais no solo é reforçado pelo desequilíbrio entre a solução do solo e a superfície mineral através da remoção de íons, seja pela absorção de nutrientes pelas plantas ou pelas perdas por lixiviação (PÁDUA, 2012). A interferência da rizosfera e outras atividades biológicas podem aumentar a dissolução de minerais por meio da liberação de íons  $H^+$  e da complexação realizada por compostos orgânicos que reagem com as superfícies dos minerais (KÄMPF; CURI; MARQUES, 2009a)

Alguns trabalhos verificaram que a planta possui estratégias para acessar os elementos retidos nas estruturas dos minerais, podendo ir da simples fragmentação de partículas a alterações complexas na superfície dos minerais, modificando suas características químicas e acelerando o intemperismo dos minerais para facilitar sua disponibilização para a cultura subsequente (HINSINGER et al., 2001; WANG et al., 2011).

O efeito solubilizador das plantas ocorre porque elas possuem capacidade de modificar as condições químicas da rizosfera a partir da liberação de íons  $H^+$  ou  $OH^-$ , resultantes da respiração e da absorção de íons; ou pela liberação de exsudatos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular no solo (oxalatos, citratos, malatos) que desencadeiam processos que facilitam a dissolução dos minerais (MANNING et al., 2017).

Esses ácidos orgânicos liberados pelas plantas reagem com a superfície dos minerais e podem complexar fortemente o  $Al^{3+}$  da sua estrutura ou formar quelatos com esses cátions em solução, forçando a instabilidade do mineral pelo aumento do gradiente de concentração (LANDEWEERTET et al., 2001).

A diferença de pH na rizosfera pode chegar a duas unidades de pH em relação ao solo não rizosférico, sendo que uma única raiz pode tanto aumentar como reduzir o pH da rizosfera e pode incrementar a dissolução de compostos que tenham maior solubilidade em alto ou baixo pH (NEUMANN; ROMHELD, 2012).

As reações com os ácidos orgânicos e a alteração da acidez na região da rizosfera podem desencadear lentamente o processo de dissolução dos minerais. Esse processo, embora

seja lento, ocorre de forma contínua durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, podendo ocorrer reações semelhantes ao intemperismo químico desses minerais (ROCHA NETO, 2020).

Hinsinger et al. (2001), ao avaliarem o efeito de diferentes plantas sobre o intemperismo de basalto na liberação de nutrientes, verificaram que na presença de plantas a taxa de liberação de nutrientes permaneceu elevada por um maior período de tempo do que na ausência das plantas. Além disso, foi verificado que com a liberação de íons  $H^+$  pelas raízes das plantas também houve aumento na taxa de dissolução do pó de basalto.

Carvalho (2012) observou que as plantas são capazes de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas, ao passo que o solo de forma isolada demonstrou uma capacidade inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas. O autor verificou que na presença de plantas de cobertura a disponibilização de nutrientes apresentou incremento de 401% para o Si, 98% para o P, 17% para o Mg e 16% para o K.

Borges et al. (2017), ao avaliar o efeito de adubos verdes sobre a biodisponibilização de nutrientes no solo pelo pó de basalto e sobre a produtividade do feijoeiro, verificaram que o uso do pó de basalto ( $3 \text{ t ha}^{-1}$ ) aumentou a produtividade do feijoeiro e houve um incremento significativo de 30% no teor de cálcio disponível no solo por ação da adubação verde sobre o basalto.

A cobertura morta oriunda das plantas de cobertura torna o ambiente favorável à atividade microbiana no solo e também apresenta significativa capacidade de promover o intemperismo dos minerais. Segundo Harley e Gilkes (2000), os microrganismos podem alterar o ambiente principalmente na região da rizosfera, promovendo modificações no potencial eletroquímico e na concentração de ácidos orgânicos que desencadeiam processos que facilitam a liberação de nutrientes.

Como algumas espécies de plantas possuem capacidade de aumentar a disponibilização de nutrientes presentes em rochas, a técnica de aplicar o pó de rocha e em seguida cultivar plantas de cobertura torna-se uma importante alternativa para que se obtenha resultados menos tardios (CARVALHO, 2013). Dessa forma, torna-se importante a realização de estudos que permitam conhecer e compreender melhor quais plantas têm maior potencial de acessar os nutrientes e assim conciliar o uso destas práticas.

## 2.5 ROCHAGEM E PLANTAS DE COBERTURA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

A degradação física, química e biológica do solo, aliada às mudanças ambientais e climáticas tem a capacidade de ocasionar implicações econômica-sociais e sérios efeitos aos ecossistemas naturais, ao uso do solo e da água, à biodiversidade e à provisão de alimentos (VAN STRAATEN, 2010).

Isso porque o solo é considerado um sistema complexo, em virtude de ser a fonte das condições necessárias ao desenvolvimento das plantas. Além de condições químicas adequadas é imprescindível um ambiente físico favorável, a fim de maximizar a produtividade das culturas utilizando manejos que buscam a recuperação, a melhoria e/ou a manutenção da qualidade do solo.

O solo funciona como um sistema que retém e transmite água, ar e nutrientes às plantas. É importante que este ambiente esteja equilibrado, com adequada relação de poros, bem estruturado e sem impedimentos ao crescimento das raízes, de forma a oferecer condições necessárias ao desenvolvimento das culturas (PIRES et al., 2013).

Diante disso, a utilização de plantas de cobertura é uma prática de manejo fundamental, pois promove a abertura de canais no solo resultantes do crescimento de suas raízes. Esses bioporos são fundamentais para a disponibilidade hídrica e fluxo de nutrientes, além de que a partir da decomposição das raízes há o retorno de nutrientes extraídos das camadas mais profundas do solo, promovendo melhores condições para o desenvolvimento radicular da cultura sucessora, viabilizando o acesso à água e aos nutrientes presentes nas camadas mais profundas do solo (SANTOS et al., 2014).

Sistemas de manejo que introduzam espécies vegetais podem promover incrementos no teor de matéria orgânica, tendo grande importância em períodos de baixo índice pluviométrico; pois, o teor de matéria orgânica tem implicações sobre as forças de retenção de água no solo e sobre sua disponibilidade às plantas.

Isso ocorre tanto em função do elevado número de cargas dependentes de pH e da elevada área de superfície específica que a matéria orgânica possui, bem como pela sua influência na estruturação e sobre a distribuição e tamanho dos poros do solo (BRAIDA et al., 2011).

De acordo com Calonego e Rosolem (2008), as plantas de cobertura atuarão no aumento da macroporosidade e na formação dos agregados do solo. As raízes durante seu crescimento promovem a aproximação das partículas e também liberam exsudatos orgânicos

que agem como substâncias cimentantes das partículas do solo, contribuindo para a formação e estabilidade dos agregados.

Atualmente, busca-se manejos sustentáveis para a agricultura como a rotação de culturas, o cultivo em sistema de plantio direto, o uso de adubos verdes e orgânicos e a redução na dependência de insumos externos. Uma alternativa para reduzir a dependência de insumos externos, em especial de fertilizantes, é a prática da rochagem.

De acordo com a Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013, os remineralizadores são classificados como produtos que, além de ocasionar melhorias na fertilidade do solo, tem a capacidade de resultar em melhorias nas propriedades físicas do solo. Contudo, ainda há poucos trabalhos que avaliaram a influência desse produto nos atributos físicos do solo (BRASIL, 2013).

Dentre todas as características necessárias para a possibilidade de utilização dos pós de rocha na agricultura, a granulometria é um fator importante na velocidade de dissolução do material, pois materiais mais finos aumentam a velocidade de dissolução dos minerais. Por outro lado, doses elevadas de materiais finos associados à baixa solubilidade podem alterar de forma negativa a porosidade do solo, prejudicando assim o crescimento das raízes (KNAPIK; ANGELO, 2007; MARTINS et al., 2010).

O pó de rocha também pode ter efeito indireto sobre as propriedades físicas do solo, à medida que favorece o aumento na produção de fitomassa da parte aérea e radicular das culturas, promovendo aumento no teor de matéria orgânica do solo e conseqüentemente aumento na atividade microbiana no solo. Esses efeitos auxiliam a formação e estabilização dos agregados.

Rocha Neto (2020), verificou que a aplicação de pó de rocha ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) proporcionou aumento de 18% na produção de massa seca da parte aérea de quatro espécies da família Poaceae (*Brachiaria ruziziensis*, *B. decumbens*, *B. humidicola* e *Andropogon gayanus*).

Em contrapartida, alguns trabalhos demonstraram que o uso de pó de rocha não alterou a produção de fitomassa. Knapik e Angelo (2007) avaliando a aplicação de pó de basalto em substrato para a produção de mudas, verificaram que a aplicação de pó de rocha não proporcionou os melhores crescimentos das mudas de *Prunus sellowii*. Os autores verificaram que com a aplicação do pó de rocha, concentraram-se maiores quantidades de partículas menores que 1 mm, sendo que estas partículas finas implicaram na formação de poros pequenos, o que resultou em lenta movimentação de ar e redução na capacidade de infiltração de água e transporte de nutrientes no solo.

Outra questão abordada por Bertossi et al. (2012) é que doses elevadas do produto podem ocasionar desequilíbrios nos teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo. O aumento na concentração de Na, em relação ao Ca e Mg pode acarretar em problemas de desestruturação do solo e obstrução dos poros, o que pode dificultar o processo de infiltração de água no solo.

Até o momento, estudos envolvendo a influência da utilização de pós de rocha sobre os atributos físicos do solo são insuficientes. Contudo, a avaliação das condições físicas do solo é imprescindível para garantir a sustentabilidade ambiental de sistemas agrícolas. Por isso, torna-se importante a realização de estudos que permitam avaliar o uso do pó de rocha para melhorias químicas e físicas do solo.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR, localizada no município de Entre Rios do Oeste, nas coordenadas geográficas de latitude 24°40'54"S, longitude 54°17'3"O e altitude de 251 m em relação ao nível do mar.

O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido mesotérmico, de acordo com a classificação climática de Köppen, com verões quentes com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22°C), invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18°C), sem estação definida e precipitação média anual em torno de 1.600 a 1.800 mm (Caviglione et al., 2000).

Os dados pluviométricos e das temperaturas mínima e máxima para os meses em que o experimento foi conduzido (março de 2019 a abril de 2020), juntamente com a indicação da realização das etapas do experimento são apresentados na Figura 1.

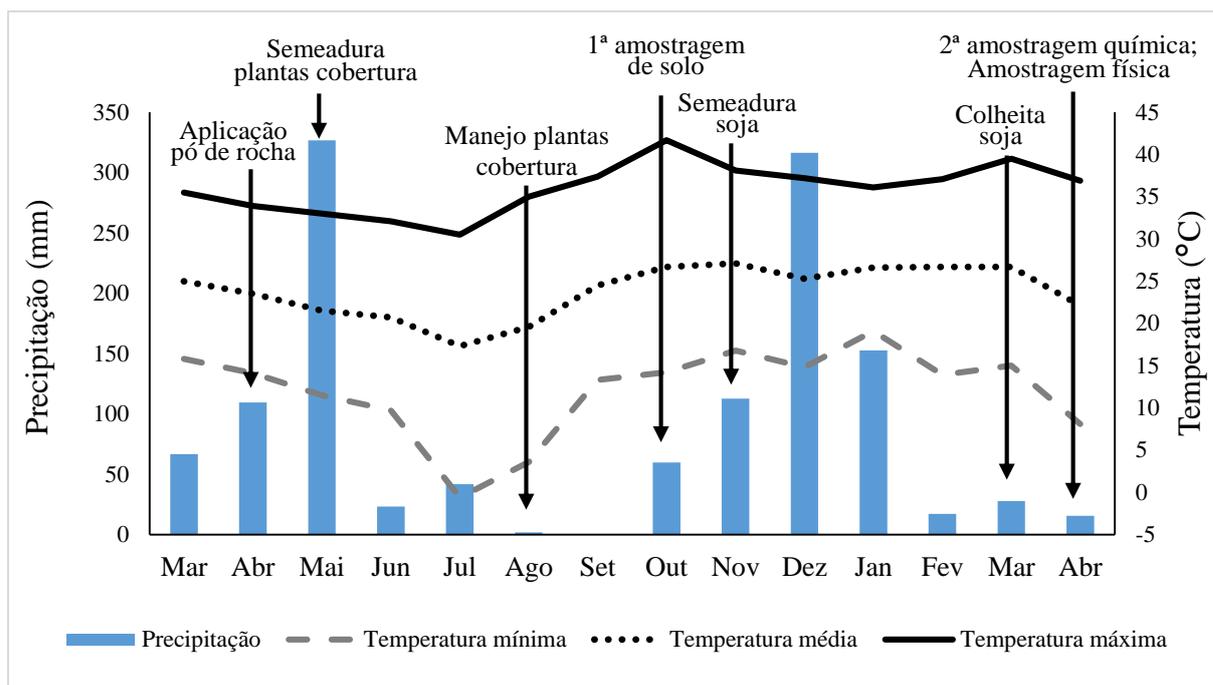


Figura 1 - Precipitação pluviométrica e temperaturas mínima, média e máxima mensais referentes ao período de março de 2019 a abril de 2020 no município de Entre Rios do Oeste-PR.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013).

Antes da implantação do experimento foi realizada a determinação da composição granulométrica do solo por meio do método do densímetro de Bouyoucos, de acordo com metodologia proposta por Donagemma et al. (2017). O solo apresentou os valores de 745,4 g kg<sup>-1</sup> de argila, 189,74 g kg<sup>-1</sup> de silte e 64,86 g kg<sup>-1</sup> de areia.

A caracterização química inicial da área (Tabela 1) foi realizada com amostragem de solo constituída de quinze amostras simples, coletadas aleatoriamente na área experimental e em duas profundidades de amostragem: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, resultando em uma amostra composta para cada profundidade.

Tabela 1 - Caracterização química inicial da área experimental no município de Entre Rios do Oeste-PR, nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m

Prof.	M.O. g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	P mg dm <sup>-3</sup>	K _____	Ca _____	Mg _____	H+Al _____	Al _____	V%
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
0,00-0,10 m	23,51	4,79	25,04	0,80	5,69	1,92	5,28	0,05	61,45
0,10-0,20 m	21,50	4,84	16,05	0,63	5,77	1,86	5,05	0,05	60,60

Apesar do pH da área estar ligeiramente ácido em ambas profundidades, não foi realizada a calagem na área, com o objetivo de avaliar se o pó de rocha também teria ação de corrigir a acidez do solo.

De acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, os valores são classificados como muito altos para o P ( $>12 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e para o K ( $>0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), como altos para o Ca ( $2,1-6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e para o Mg ( $1,1-2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e como muito baixo para o Al ( $<0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por três coberturas do solo: aveia-preta, consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro e ausência de cultivo (solo sem cobertura). As subparcelas foram compostas por cinco doses de pó de rocha: 0, 3, 6, 9 e  $12 \text{ t ha}^{-1}$ .

A área experimental foi constituída por doze parcelas principais medindo  $4 \times 50 \text{ m}$  e cinco subparcelas medindo  $4 \times 10 \text{ m}$ , totalizando 60 parcelas e uma área experimental de  $2.400 \text{ m}^2$ .

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA UTILIZADO

O pó de rocha utilizado é de origem basáltica, dada sua abundância na região sul do Brasil; bem como, à sua riqueza em nutrientes. O mesmo é proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR.

De acordo com a análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, realizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba-PR), a composição química do pó de basalto utilizado está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora, localizada no município de Palotina-PR

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F	Soma
51,17	12,65	14,24	9,73	5,21	1,01	2,61	2,52	0,21	0,35	0,30	100

P.F: perda ao fogo.

Verifica-se que o material está de acordo com as especificações exigidas pela Instrução Normativa nº 05 para ser passível de ser utilizado como um remineralizador na agricultura. As normas estabelecidas são: soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) igual ou superior a 9% e teor de K<sub>2</sub>O igual ou superior a 1%.

Conforme os dados apresentados na Tabela 2, embora as amostras possuam consideráveis teores de óxido de alumínio, este elemento não é liberado para o meio aquoso (NUNES, 2012). Este fato é extremamente positivo, devido ao alumínio ser tóxico para os vegetais.

A granulometria do pó de basalto foi determinada por peneiramento, a partir da massa de grânulos obtida em cada peneira. Para tanto, foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de 1,00, 0,5, 0,25, 0,106 e 0,053 mm de malha (Tabela 3).

Tabela 3 - Granulometria de pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR

1,00 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,106 mm	0,053 mm	<0,053 mm
			%		
13,82	27,01	20,79	22,40	8,20	7,28

De acordo com a Instrução Normativa nº 05, para que um produto possa ser comercializado como pó de rocha este deve apresentar garantia granulométrica de pelo menos 50% das partículas menores do que 0,3 mm, 70% menores que 0,84 mm e 100% menores que 2,0 mm. Portanto, verifica-se que o material utilizado está de acordo com as exigências estabelecidas.

### 3.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Inicialmente foi realizada a dessecação química da área com 1.800 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido glifosato. Posteriormente foi realizada a aplicação manual do pó de rocha em área total de cada subparcela de acordo com sua respectiva dose.

A implantação das plantas de cobertura foi realizada em semeadura direta. Para a semeadura da aveia foi utilizada densidade de sementes de 60 kg ha<sup>-1</sup> e o consórcio de aveia-preta + nabo-forageiro foi implantado utilizando densidade de sementes de 60 e 5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a manutenção da área sem plantas de cobertura foi realizado o controle mecânico das plantas espontâneas sempre que necessário.

Quando as plantas de cobertura atingiram o estágio de florescimento foi realizado o manejo da parte aérea com uso de rolo faca, de forma a ocasionar um acamamento e impedindo a rebrota das plantas, mas mantendo o solo coberto. Após o manejo das plantas de cobertura, ou seja, seis meses após a aplicação do pó de rocha, foi realizada a amostragem de solo para determinação da disponibilidade de nutrientes.

Posteriormente, no mês de novembro, foi implantada a cultura da soja variedade Pioneer 96R10 IPRO sob semeadura direta, em espaçamento de 0,50 m e utilizando densidade de semeadura de 15 sementes por metro linear. A adubação de base foi realizada utilizando a dose de 370 kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial 2-20-18 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O).

A colheita da soja foi realizada ao final do mês de fevereiro e em seguida foi realizada a segunda amostragem de solo para determinação da disponibilidade de nutrientes e a amostragem para as avaliações das propriedades físicas do solo.

### 3.5 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

A disponibilidade de nutrientes no solo foi avaliada com a coleta de amostras de solo em duas épocas diferentes: 6 meses após a aplicação (posterior ao manejo das plantas de cobertura) e 12 meses após a aplicação do pó de rocha (após a colheita da soja).

A amostragem foi realizada com pá reta em três camadas: 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, coletando-se duas subamostras por subparcela, as quais constituíram uma amostra composta por subparcela.

Foi avaliado o pH (CaCl<sub>2</sub>), a acidez potencial (H+Al), os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo, determinados de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016).

### 3.6 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Foram avaliados o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de mil grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

Para determinação das características produtivas da soja foram amostradas dez plantas por subparcela, coletadas aleatoriamente. O número de vagens e o número de grãos por vagem foram determinados com contagem; enquanto a massa de mil grãos foi estimada por meio da média da massa de oito subamostras de cem grãos por subparcela, corrigida para 13% de umidade.

A avaliação da produtividade da soja foi realizada com a colheita de cada subparcela separadamente, descartando as bordaduras, e posteriormente determinada em balança a massa de grãos produzidos, corrigida para 13% de umidade. Os resultados foram expressos em kg ha<sup>-1</sup>.

### 3.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As características físicas avaliadas foram: macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para tanto, após a colheita da soja foram realizadas coletas de amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos de volume conhecido, compreendendo três camadas (0,0 a 0,5 m; 0,5 a 0,10 m e 0,10 a 0,15 m) e em um ponto amostral em cada subparcela, a fim de determinar a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, seguindo metodologia proposta por Almeida et al., (2017a) e a densidade do solo, de acordo com metodologia proposta por Almeida et al., (2017b).

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados dos parâmetros avaliados foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para o teste F (Fisher).

Quando constatados efeitos significativos para as doses, foi realizada análise de regressão, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustasse ao fenômeno investigado. Quando detectado efeitos significativos da cobertura do solo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ACIDEZ DO SOLO

Constatou-se que não houve efeito para a interação doses de pó de rocha e plantas de cobertura, nem efeito isolado das fontes de variação ( $p < 0,05$ ) para as variáveis pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e acidez potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ), 6 meses após a aplicação do pó de rocha (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios de pH em CaCl<sub>2</sub> e acidez potencial (H+Al) após o cultivo de plantas de cobertura e 6 meses da aplicação de doses de pó de rocha

Fator de variação	pH (CaCl <sub>2</sub> )			H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
<b>Cultivo</b>						
Solo descoberto	5,25 <sup>ns</sup>	4,74 <sup>ns</sup>	4,49 <sup>ns</sup>	4,16 <sup>ns</sup>	4,45 <sup>ns</sup>	4,78 <sup>ns</sup>
Aveia	5,04	4,59	4,35	4,53	4,83	5,03
Aveia + nabo	5,08	4,63	4,38	4,20	4,78	5,27
CV (%)	7,71	7,48	5,79	24,80	20,73	17,44
<b>Doses (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	5,06 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>ns</sup>	4,40 <sup>ns</sup>	4,66 <sup>ns</sup>	5,09 <sup>ns</sup>	5,39 <sup>ns</sup>
3	5,11	4,56	4,31	4,18	4,68	5,03
6	5,16	4,70	4,48	4,04	4,45	4,79
9	5,12	4,64	4,38	4,40	4,73	5,12
12	5,17	4,74	4,46	4,19	4,49	4,80
CV (%)	2,17	3,91	3,99	12,90	9,87	10,27

<sup>ns</sup>: não significativo ao teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os valores de pH em superfície são considerados altos de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019). Entretanto, nas demais camadas os valores de pH são classificados como baixos (Tabela 4). Quando o pH está abaixo de 5,0 pode ocorrer deficiência de elementos importantes como P, K, Ca e Mg ou toxidez de Al, Mn, Zn e outros metais pesados devido a suas maiores solubilidades, prejudicando o desenvolvimento da cultura subsequente (NICOLODI et al., 2008).

Esperava-se que pudesse ter alterações no pH do solo ou pelo uso do pó de rocha ou pelas plantas de cobertura; pois estas têm a capacidade de modificar quimicamente a solução do solo; tanto pela liberação de íons H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup>, quanto pela exsudação de ácidos orgânicos (MANNING et al. 2017). Contudo, isso não foi observado no presente trabalho.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2017). Os autores não verificaram efeito nos valores de pH e H+Al em relação ao cultivo de plantas de cobertura, sendo que os valores de pH variaram entre 4,8 e 4,9.

Caires et al. (2006), após o manejo da parte aérea da aveia-preta, também não verificaram efeito significativo nos valores de pH do solo e os valores foram próximos a 5,5 em superfície e abaixo de 5,0 a partir da camada de 0,05 m.

Alterações no pH com o uso de pó de rocha são contraditórios. Alguns autores corroboram com este resultado (CAIRES et al., 2006; ALOVISI et al., 2017; SILVA et al., 2017; ROCHA NETO, 2020); enquanto outros (MARTINS et al., 2015; BATISTA, 2017; TOSCANI; CAMPOS, 2017) observaram alterações no pH e H+Al.

Havia uma hipótese que o pó de basalto por possuir teores relativamente altos de CaO e MgO (9,73 e 5,21%), pudessem alterar o pH, mas não foi possível observar diferenças significativas. Outro fator que pode ter contribuído para que não se observasse diferença significativa no pH é o teor de argila. O poder tampão do solo em alterar o pH está diretamente ligado ao teor de matéria orgânica e teor de argila. O solo do presente estudo possui 745,4 g kg<sup>-1</sup> de argila o que lhe confere alto poder tampão.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Rocha Neto (2020) que não verificou alterações no pH do solo com a aplicação de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha de fonolito. O valor de pH se manteve em 4,7 para todos os tratamentos. O autor destacou que essa condição de acidez não interferiu na quantidade de nutriente absorvido pela *Brachiaria decumbens*.

Martins et al. (2015), ao utilizarem 8,2 t ha<sup>-1</sup> do pó de rocha de fonolito obtiveram aumento de pH de 4,6 para 6,1 em Latossolo de textura média. Esse efeito mais significativo pode ter ocorrido em função do poder tampão do solo ser menor, pois solos com menores teores de argila apresentam menor poder tampão.

Embora não se tenha observado efeito dos tratamentos para os valores de H+Al, é esperado que este resultado não ocasione problemas para a cultura subsequente; pois, de acordo com Loss et al. (2020) ao se ter altos valores de bases trocáveis isso irá refletir em altos valores de saturação por bases e baixos valores de saturação por Al.

Aos 12 meses após a aplicação de pó de rocha houve efeito significativo isolado da palhada das plantas de cobertura sobre o pH na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 5) e interação significativa entre doses de pó de rocha e palhada sobre os valores de pH nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m (Figura 2) e sobre os valores de H+Al na camada de 0,00-0,05 m (Figura 3).

O valor de pH foi superior na área sob palhada do consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 5). Observa-se um incremento de 5% em relação a área que foi mantida com o solo sem palhada e de 3% em relação a área com palhada de aveia-preta. Ao comparar com a avaliação realizada 6 meses atrás, após o manejo das plantas de cobertura, o valor de pH na área sob palhada de aveia-preta + nabo-forrageiro aumentou em 14% (Tabela 4).

Tabela 5 - Valores médios de pH na camada de 0,00-0,05 m e de H+Al nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, sob diferentes palhadas e 12 meses após a aplicação de doses de pó de rocha

Fator de variação	pH (CaCl <sub>2</sub> )		H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	
<b>Palhada</b>				
Sem palhada	5,54 c	4,45 <sup>ns</sup>	4,30 <sup>ns</sup>	
Aveia	5,65 b	3,98	4,03	
Aveia + nabo	5,81 a	3,95	4,16	
CV (%)	1,41	15,12	14,51	
<b>Doses (t ha<sup>-1</sup>)</b>				
0	5,63 <sup>ns</sup>	4,26 <sup>ns</sup>	4,44 <sup>ns</sup>	
3	5,74	4,04	4,05	
6	5,66	4,01	4,35	
9	5,69	4,29	3,81	
12	5,66	4,03	4,17	
CV (%)	1,77	14,73	14,94	

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. <sup>ns</sup>: não significativo ao teste de Tukey a 5% de significância.

Com a mineralização da matéria orgânica do solo há a liberação de ácidos orgânicos e de minerais e estes promovem o aumento das cargas negativas do solo e a elevação do pH. (FAVARATO et al. 2015).

Moreti et al. (2007) observaram relação entre CTC e pH, verificando que a CTC aumentou com o aumento do pH, sendo que esses valores foram obtidos onde os teores de matéria orgânica foram maiores, indicando a importância do cultivo com plantas de cobertura sobre o incremento de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, na melhoria dos atributos químicos do solo.

De acordo com Andreotti et al. (2008) embora se considere que os ácidos orgânicos de resíduos de plantas tenham vida curta no solo, a sua produção frequente faz com que seus ânions constituintes tenham grande importância na modificação da fertilidade do solo.

A capacidade dos resíduos vegetais de neutralizar a acidez no solo está relacionada à quantidade de cátions e de ânions orgânicos produzidos. Os ácidos orgânicos produzidos têm a função de manter a eletroneutralidade na planta (ANDREOTTI et al., 2008); e os resíduos das plantas em geral apresentam altas quantidades de cátions no seu tecido (WOLSCHICK et al., 2016).

O aumento do pH na área sob palhada do consórcio também pode estar relacionado a produção de matéria seca da parte aérea, que provavelmente foi maior nesse sistema. Isso porque com a maior produção de matéria seca há uma maior produção de ácidos orgânicos na

decomposição da palhada, e isso resulta em maior lixiviação de bases e efeito na correção do solo. O que também foi observado por Andreotti et al. (2008) que verificaram que os cultivos que produziram maiores quantidades de matéria seca (capim pé-de-galinha e *Crotalaria juncea*) também promoveram os maiores incrementos nos valores de pH do solo.

Embora não tenha ocorrido diferenças significativas entre as diferentes palhadas sobre os valores de H+Al, observa-se uma redução em relação ao verificado logo após o manejo das plantas de cobertura (Tabela 4). Esse resultado pode ser decorrente da complexação dos H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Michelon et al. (2019) também não verificaram alteração nos valores de H+Al no solo após cultivo com plantas de cobertura. Os valores de H+Al foram de 4,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na área cultivada com aveia-preta e de 3,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na área com consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro. Corroborando com os resultados encontrados no presente experimento.

Observou-se interação significativa entre os resíduos vegetais das plantas de cobertura e as doses de pó de rocha para os valores de pH nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m (Figura 2).

É possível observar que os valores de pH se comportaram de maneira similar nas duas camadas quando o pó de rocha foi associado ao cultivo com o consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro, apresentando um comportamento cúbico. Já a área onde não houve a presença de palhada de plantas de cobertura apresentou comportamento significativo em relação às doses de pó de rocha somente na camada de 0,10-0,15 m (Figura 2).

Na área sob a palhada de aveia-preta e nabo-forrageiro o maior valor de pH foi obtido na dose de 3 t ha<sup>-1</sup> (pH=5,46) na camada de 0,05-0,10 m, enquanto que na camada de 0,10-0,15 m o maior valor (pH=5,30) foi encontrado na dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Já a área que não houve o cultivo de plantas de cobertura apresentou um comportamento linear de acordo com o aumento da dose de pó de rocha, atingindo pH de 5,17 com a maior dose aplicada (12 t ha<sup>-1</sup>) na camada de 0,10-0,15 m.

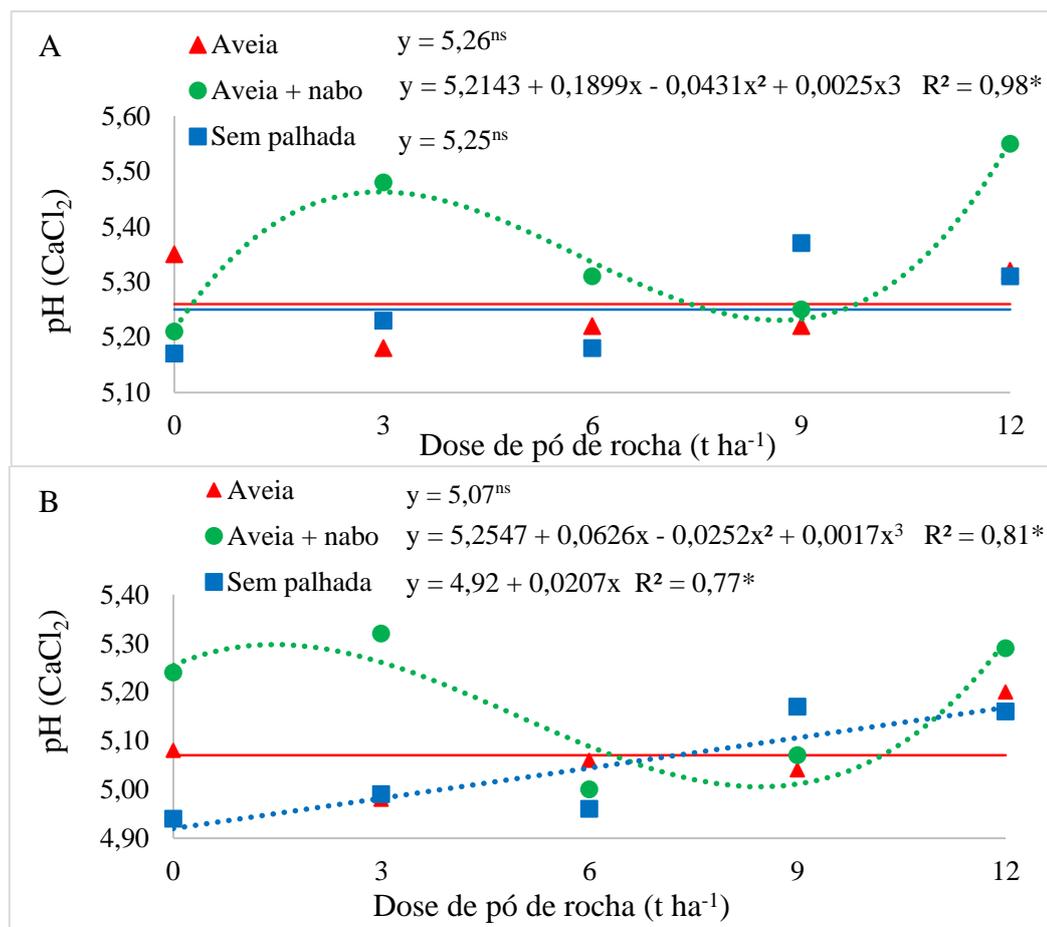


Figura 2 - pH do solo nas camadas de 0,05-0,10 m (A) e 0,10-0,15 m (B) após 12 meses da aplicação de pó de rocha associado com palhadas de plantas de cobertura.

É possível verificar que na camada de 0,10-0,15 m a área mantida sem cobertura do solo necessitou da aplicação de maiores quantidades de produto para elevar o pH acima de 5,0, enquanto que na área sob palhada do consórcio isso já foi obtido com a aplicação de  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ .

Isso pode ser efeito da ação dos resíduos vegetais em decomposição sobre a solubilização do pó de rocha, influenciando em uma possível liberação maior de Ca, Mg e K e deixando-os mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC por estes cátions de reação básica (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Além disso, a manutenção de resíduos vegetais na superfície melhora a agregação do solo em decorrência do incremento do teor de matéria orgânica nesta camada. Isso faz com que os agregados sejam maiores e menos densos. Como resultado tem-se aumento na infiltração de água no solo. Com o aumento da infiltração ocorre o deslocamento das partículas do produto aplicado na superfície pela água percolada no solo, facilitando os efeitos nas camadas subsuperficiais (CAIRES, 2013).

O efeito do pó de rocha pode ser similar ao efeito que ocorre em subsuperfície pela aplicação de calcário na superfície, onde o deslocamento mecânico de partículas do produto por meio de canais formados por raízes, ou a movimentação de Ca e Mg trocáveis do solo por meio de complexos orgânicos hidrossolúveis atuaria na elevação do pH em subsuperfície (CAIRES, 2013).

Considerando que o consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro apresenta um vasto sistema radicular e que após sua decomposição confere canais ao solo e que com a sua decomposição há liberação de compostos orgânicos e nutrientes como Ca, Mg e K, é esperado que isso gere um efeito mais pronunciado em associação com o pó de rocha sobre o pH em subsuperfície em comparação ao sistema sem o cultivo de plantas de cobertura.

Ratke et al. (2020), também verificaram aumento do pH do solo com a aplicação de pó de rocha e atribuíram esse resultado à presença de SiO<sub>2</sub> na sua composição mineralógica. De acordo com Menegale et al. (2015), os materiais contendo o íon silicato (SiO<sub>2</sub>) em sua composição promovem a elevação do pH do solo, podendo ser utilizado como corretivos da acidez do solo.

Por outro lado, Ferreira et al. (2009) utilizando a rochagem com basalto de forma isolada para a correção do pH do solo verificaram que o material não contribuiu para uma significativa elevação do pH após um ano da aplicação do material, argumentando que a utilização unicamente do pó de basalto na correção da acidez em solos com alto poder tampão é pouco provável, devido ser necessário a aplicação de altas doses.

Houve interação significativa entre as fontes de variação para os valores de H+Al na camada de 0,00-0,05 m, onde a área sob palhada de aveia-preta mostrou comportamento quadrático negativo de acordo com o aumento das doses de pó de rocha, enquanto que os demais cultivos não apresentaram significância com a aplicação das doses do pó de basalto (Figura 3).

Observa-se que o solo sob palhada de aveia-preta na dose de 10,3 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha obteve o menor valor de H+Al (3,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Portanto, houve uma redução de 19% com a aplicação de pó de rocha no valor de H+Al.

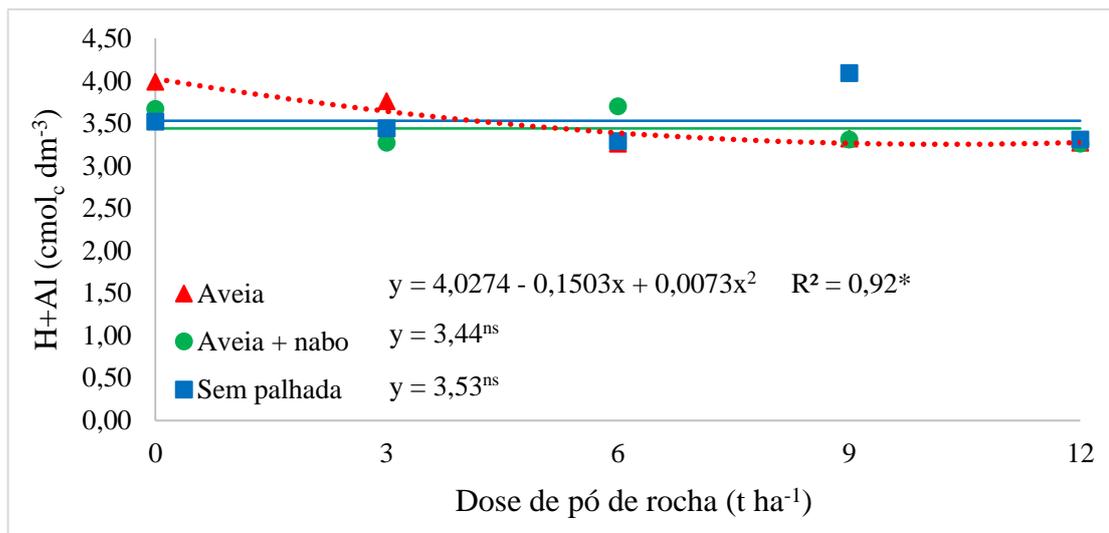


Figura 3 - Valores de H+Al na camada de 0,00-0,05 m após 12 meses da aplicação de pó de rocha associado a palhada de plantas de cobertura.

Este resultado pode ser decorrente da complexação dos H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> livres com compostos orgânicos aniônicos provenientes dos resíduos vegetais da aveia-preta e do aumento dos teores de Ca, Mg e K no solo pela rochagem, o que reduz a acidez potencial (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

O maior teor de matéria orgânica e a maior concentração de nutrientes podem alterar o comportamento do Al em solução. Isso ocorre pela formação de complexos organo-metálicos hidrossolúveis, onde Ca e Mg dos complexos orgânicos são deslocados pelo alumínio, visto que íons Al<sup>3+</sup> formam complexos mais estáveis do que Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, contribuindo para a redução da atividade do Al e do seu potencial químico (CAIRES, 2013).

#### 4.2 TEOR DE P NO SOLO

Não houve interação significativa entre as doses de pó de rocha e plantas de cobertura sobre a disponibilidade de fósforo no solo, porém foi verificado efeito significativo para os fatores isolados, 6 meses após a aplicação de pó de rocha.

As plantas de cobertura afetaram os teores de P na camada de 0,10-0,15 m. Estes teores de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, são classificados na faixa de interpretação como teores muito altos (Tabela 6) (PAULETTI; MOTTA, 2019).

O teor médio de P foi maior no consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro. Na camada de 0,10-0,15 m o teor de P foi de 23,88 mg dm<sup>-3</sup>, portanto, um aumento de 29% em relação a área com aveia-preta (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios dos teores de fósforo (P) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação

Cultivo	P (mg dm <sup>-3</sup> )		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
Solo sem cobertura	27,19 <sup>ns</sup>	25,18 <sup>ns</sup>	20,83 ab
Aveia	24,32	23,19	18,46 b
Aveia + nabo	28,68	29,85	23,88 a

<sup>ns</sup>: não significativo. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O P possui uma disponibilidade rápida da palhada dos resíduos de nabo-forrageiro. De acordo com Heinz et al. (2011) aproximadamente 80% do nutriente é liberado até os 45 dias após seu manejo. Isso porque existe uma alta concentração de P solúvel em água, além disso, maior parte de P é encontrada no interior dos vacúolos, na forma mineral, tendo alta capacidade de se solubilizar em água (PACHECO et al., 2013)

Michelon et al. (2019), também verificaram que a maior disponibilidade de P foi encontrada no solo cultivado com consórcio que envolvia aveia-preta + nabo-forrageiro + ervilhaca. Observaram também que as mesmas quando cultivadas em monocultivo também apresentaram valores significativos do nutriente no solo.

Maiores teores de P no consórcio podem estar ligados também com a capacidade das plantas em liberar ao solo ácidos orgânicos, provenientes tanto da liberação de exsudatos pelas raízes, como pela decomposição dos resíduos vegetais e podem exercer influência sobre a disponibilidade de nutrientes ao solo.

Esses ácidos orgânicos interagem com a fase sólida do solo e competem com o P pelos sítios de adsorção (PAVINATO; ROSOLEM, 2008); bem como, pela maior complexação dos íons Al e Fe por compostos orgânicos, diminuindo a chance de precipitação do P com esses elementos (GUPPY et al., 2005) e mantendo o nutriente em formas mais livres na solução do solo.

Isso ocorre porque grande parte dos ácidos orgânicos liberados pelas plantas apresentam caráter aniônico, visto que os grupos funcionais são dependentes do pH. Assim, como apresentam um valor de PCZ (ponto de carga zero) baixo (3,5), em pH superior a esse valor ocorre o predomínio de cargas negativas nesses grupos, resultando na competição entre esses ácidos orgânicos e os nutrientes aniônicos pelos sítios de adsorção do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Desta forma, como a fixação do fósforo pelo solo não é um processo totalmente irreversível, em sistemas que utilizam o cultivo de diferentes plantas grande parte do fósforo

fixado pode voltar a ser disponível para as plantas com o passar do tempo (CHAVES, 2010). Em trabalho realizado por Souza e Lobato (2003) foi verificado que em uma área plantada exclusivamente com culturas anuais por 22 anos a recuperação de P foi de 44%, e quando se utilizou a diversificação do sistema atingiu-se uma recuperação de P de 85%.

É possível também observar um acúmulo do nutriente na superfície, bem como diminuição dos teores em profundidade para ambos sistemas de cultivo. Em sistemas de plantio direto é comum haver o acúmulo de nutrientes na superfície; especialmente de P que possui baixa mobilidade no solo (SOUZA; ALVES 2003). Isso ocorre porque há acúmulo no tecido das plantas cultivadas, com posterior decomposição e liberação desse nutriente nas camadas superficiais (PAVINATO; ROSOLEM, 2008), contribuindo para teores mais elevados nessas camadas.

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os teores de P, 6 meses após a aplicação do pó de rocha na camada de 0,00-0,05 m. Este aumento foi linear, atingindo  $32,14 \text{ mg dm}^{-3}$  na dose de  $12 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha de basalto (Figura 4). Como a aplicação do pó de rocha foi realizada em superfície e sem incorporação esperava-se tal comportamento, pois este nutriente tem pouca mobilidade no solo, além de grande fixação pelos minerais de argila (SANTOS et al., 2008).

O aumento médio no teor de P em função da aplicação da maior dose de pó de rocha foi de 46% em relação a ausência de pó de rocha ( $22,04 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Um dos fatores que favoreceu esse incremento foi o intemperismo da rocha de basalto, cuja composição tem 0,35% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

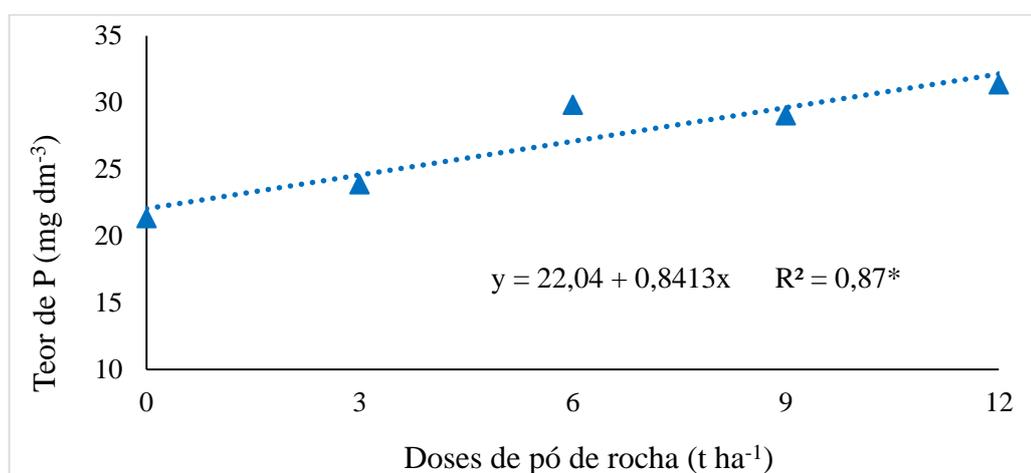


Figura 4 - Teores de P no solo na camada de 0,00-0,05 m após 6 meses da aplicação de doses de pó de rocha basáltica.

Outro fator que pode ter contribuído para este resultado é que o pó de basalto possui 51,17% de óxidos de silício e com a liberação do ânion silício na solução do solo, este atua

diminuindo a adsorção do ânion fosfato, pois o silício compete pelos mesmos sítios de adsorção do solo. Desta forma, o silício pode ter saturado os locais onde o P poderia ser adsorvido (GILLMAN et al., 2002).

O aumento de P em função das doses de pó de basalto também pode ter ocorrido pelo fato de que as plantas são capazes de liberar compostos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular a partir da decomposição de seus resíduos vegetais e da liberação de exsudatos, ocasionando alterações químicas na rizosfera. Esses compostos são cada vez mais reconhecidos como promotores de intemperismo de silicatos por aumentar as taxas de hidrólise de minerais (LI et al., 2014).

Portanto, existe a possibilidade desses ácidos orgânicos provenientes das plantas de cobertura terem agido sobre as partículas minerais do pó de rocha, solubilizando-o e liberando parte das frações de silicato, que competiu com os sítios de adsorção de P no solo e o manteve disponível por mais tempo na solução, e das pequenas frações de fosfato. Contudo, essa alteração promovida pelas plantas de cobertura não foi suficiente para se observar diferenças significativas entre a interação entre os dois fatores.

Os resultados são corroborados por Sandim et al. (2014). Os autores ao avaliarem a influência da aplicação de silicato na disponibilidade de P, verificaram o maior teor de P nos tratamentos com uso de silicatos e atribuiu esse efeito a soma de dois fatores: o poder de alcalinização do Si e a competição pelo mesmo sítio de adsorção entre Si e P.

Borges et al. (2017), avaliando o efeito da utilização de remineralizador de solos após 120 dias, também verificaram aumento da disponibilidade do P. Este aumento foi proporcional às doses do remineralizador (3,2 a 6,4 t ha<sup>-1</sup>).

O fato de se observar resultados significativos nos teores de P em função da aplicação de pó de rocha neste primeiro momento somente na primeira camada (Figura 4) é comum; uma vez que pela adição de fontes de nutrientes em superfície tem-se a saturação dos sítios de maior afinidade por fósforo (SANTOS et al., 2008). Além disso, o basalto é um produto com baixa solubilidade a curto prazo, e o P possui baixa mobilidade no perfil do solo.

Após 12 meses da realização da rochagem houve interação significativa entre as doses de pó de rocha e a palhada dos cultivos sobre o teor de P na camada de 0,10-0,15 m e efeito isolado para as doses de pó de rocha na camada de 0,05-0,10 m, conforme verificado nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

É possível observar que o P se comportou de maneira diferente na área sob palhada de aveia-preta em relação as demais, apresentando máxima concentração com a dose de 8,4 t ha<sup>-1</sup> (31,49 mg dm<sup>-3</sup>) (Figura 5).

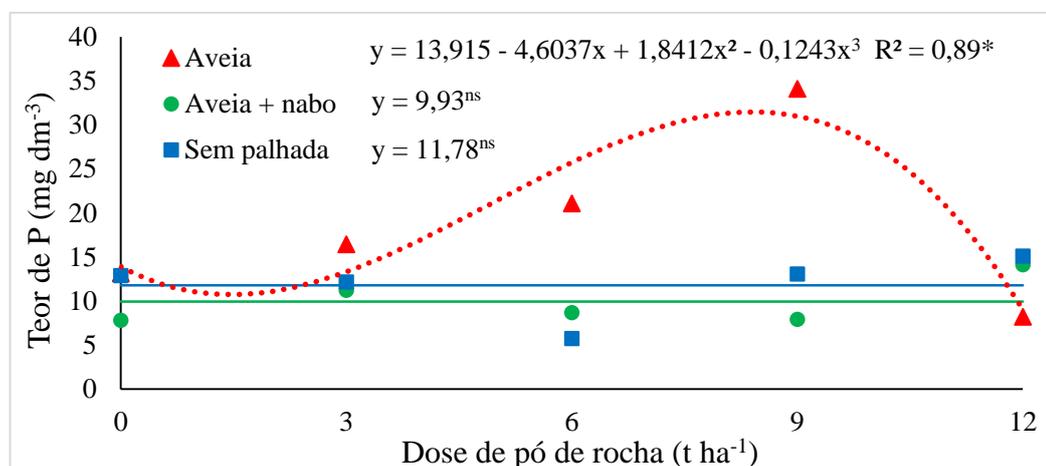


Figura 5 - Teor de P na camada de 0,10-0,15 m em solo sob palhada de diferentes plantas de cobertura após 12 meses da aplicação de pó de basalto.

Verifica-se também que, embora, inicialmente os teores de P tenham respondido de maneira linear conforme o acréscimo das doses de pó de basalto (Figura 4), esse efeito não se manteve ao longo do tempo, atingindo valor máximo de disponibilização com a dose de 8,4 t ha<sup>-1</sup>, decrescendo com a adição de maior quantidade do produto.

Como a aveia apresenta uma alta relação C/N, superior ao nabo-forrageiro, implicando em degradação mais lenta dos resíduos, isso pode ter contribuído para os maiores valores de P, visto que ao longo da decomposição há a liberação de compostos e ácidos orgânicos, que podem atuar diretamente na solubilização do pó de rocha, bem como ser fonte de energia para microrganismos que também atuam nesse processo de solubilização.

Na camada de 0,05-0,10 m observa-se que houve incremento nos teores de P no solo até a dose de 7 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha basáltica, reduzindo após essa dose (Figura 6).

Verifica-se que nessa camada houve um incremento de P de 59% para a dose de 7 t ha<sup>-1</sup> (27,84 mg dm<sup>-3</sup>), em relação a ausência de pó de rocha que foi de 17,55 mg dm<sup>-3</sup>. Os resultados demonstraram que após 12 meses em que o pó de basalto foi exposto ao intemperismo (condições edáficas e climáticas) aumentou a solubilização dos minerais constituintes e liberação das frações de P presentes na rocha.

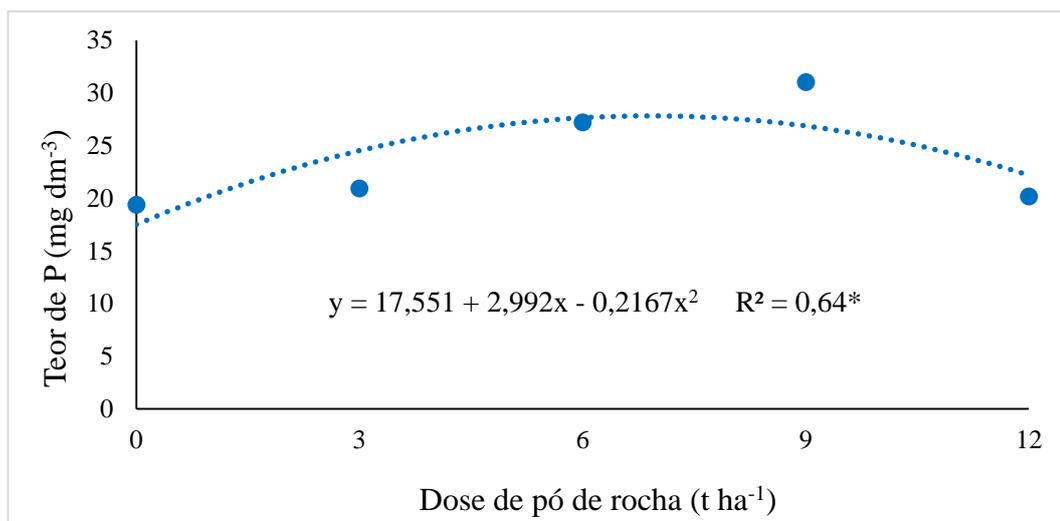


Figura 6 - Teor de P no solo na camada de 0,05-0,10 m, após 12 meses da aplicação de doses de pó de basalto.

Esses resultados também apoiam a teoria de que a liberação de silicato pelo pó de rocha atua competindo com o fosfato pelos sítios de adsorção do solo e formando complexos com Al e Fe, diminuindo a precipitação e fixação do P e tornando-o disponível na solução do solo por mais tempo.

Segundo Harley e Gilkes (2000) a solubilidade lenta seria uma característica importante do uso de pó de rocha, por permitir que ocorra um efeito residual após a aplicação desse produto, o que reduziria a demanda por aplicação de fertilizantes por determinados períodos.

Os resultados corroboram com os encontrados por Muller et al. (2015) onde 8 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto apresentou uma tendência de aumento nos teores de P no solo.

Ao comparar os dois períodos de avaliação observa-se que, embora o teor de P no solo tenha aumentado de forma linear com o acréscimo das doses aos 6 meses após a aplicação, isso não se manteve aos 12 meses. Isso pode ter ocorrido em função das próprias condições dos Latossolos, com predomínio de óxidos de Fe e Al na fração argila, favorecendo a fixação do P (ALOVISI et al., 2017).

Comportamento similar foi constatado por Alovisi et al. (2017), que verificaram que inicialmente o teor de P no solo aumentou de forma linear com o acréscimo das doses de pó de basalto, contudo, a partir de um período de 30 dias observou-se redução nos teores do nutriente, atingindo um teor máximo de 9,33 mg dm<sup>-3</sup> de P com a dose de 14,32 Mg ha<sup>-1</sup> do pó de basalto.

Apesar do decréscimo nos valores de P ao longo do tempo de aplicação das doses de basalto no solo, o nutriente manteve-se com teores adequados no solo para as culturas anuais (PAULETTI; MOTTA, 2019).

#### 4.3 TEOR DE K NO SOLO

Não houve interação significativa entre as doses de pó de rocha e plantas de cobertura sobre a disponibilidade de K no solo, porém foi verificado efeito significativo para os fatores isolados, 6 meses após a aplicação de pó de rocha basáltica. Estes teores de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, são classificados na faixa de interpretação como teores muito altos (Tabela 7) (PAULETTI; MOTTA, 2019).

Tabela 7 - Valores médios dos teores de potássio (K) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação

Cultivo	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
Solo sem cobertura	0,91 b	0,86 b	0,79 b
Aveia	0,76 b	0,77 b	0,69 b
Aveia + nabo	1,61 a	1,51 a	1,47 a

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As plantas de cobertura afetaram os teores de K em todas as camadas avaliadas. Nas três camadas avaliadas os teores de K foram superiores nas áreas cultivadas com o consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro. O teor médio de K foi de 1,53 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Nas áreas cultivadas com aveia-preta o teor médio nas profundidades foi de 0,74 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e na área mantida sem cobertura (solo descoberto) foi de 0,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Tabela 7). Portanto, ocorreu um incremento médio de 92% no teor de K no consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro.

Estes resultados demonstram a capacidade da aveia-preta + nabo-forrageiro em disponibilizar K, de fontes não solúveis presentes no solo; ou então, fazendo a ciclagem de profundidades abaixo de 0,15 m. As plantas de cobertura, por meio do seu sistema radicular, são capazes de extrair os nutrientes das camadas mais profundas do solo e disponibilizá-los superficialmente após seu manejo e decomposição pela ação do ambiente e de microrganismos. (CRUSCIOL et al. 2008)

O K foi o elemento que mais alterou em todas as camadas. Isso porque este macronutriente é o nutriente mais rapidamente mineralizado pelas plantas. Estudos demonstram que 95,5% do K presente no nabo-forrageiro é liberado até os 45 dias após seu manejo (HEINZ et al., 2011) e 98% do K presente na aveia-preta é liberado até os 53 dias (CRUSCIOL et al., 2008).

Essa rápida taxa de liberação do K pelos resíduos vegetais ocorre porque o cátion  $K^+$  não é metabolizado na planta e não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal. Os mesmos formam ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003). Assim, a medida que o material vegetal inicia o processo de decomposição, a concentração do elemento reduz rapidamente na palhada por ser facilmente lavado da fitomassa pela água das chuvas.

Resultados semelhantes foram encontrados em trabalho realizado por Michelin et al. (2019). Os autores, ao avaliarem a disponibilidade de nutrientes no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, verificaram que o cultivo com consórcios de plantas, dentre eles o de aveia-preta com nabo-forrageiro, apresentaram maior disponibilidade de K no solo.

Os teores de K no solo 6 meses após a aplicação de pó de basalto não modificaram significativamente (Tabela 8). Essa ausência pode ser explicada pelo fato de que na maioria dos minerais silicáticos este nutriente está na forma insolúvel, apresentando certa dificuldade para sua liberação ao solo (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004; ALOVISI et al., 2017). Apesar de baixa disponibilidade esses teores tornam-se de grande importância em solos que apresentam baixos teores desse elemento e essa liberação lenta não impede um impacto significativo sobre a nutrição das culturas em longo prazo.

Tabela 8 - Valores médios dos teores de K no solo 6 meses após a aplicação de doses de pó de rocha, em diferentes camadas: 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m

Dose de pó de rocha t ha <sup>-1</sup>	K (cmolc dm <sup>-3</sup> )		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
0	1,18 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>
3	1,18	1,11	1,03
6	1,01	0,97	1,01
9	1,01	0,99	0,97
12	1,08	1,08	0,96

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de médias, a 5% de significância

Outra questão importante na dinâmica do K da solução do solo é a forma prontamente disponível para as plantas, ou seja, ele é repostado pelo K-trocável adsorvido na fase sólida; assim, quando essas formas reduzem na solução do solo os minerais iniciam sua liberação para repor na solução (SANTANA, 2012).

Dessa forma, é possível inferir que uma das possíveis justificativas aos resultados obtidos é que não houve uma redução muito grande na quantidade de K disponível no solo ao

ponto de promover uma liberação significativa do K presente nos minerais do pó de rocha aplicado.

A disponibilidade de nutrientes no solo acaba influenciando a dinâmica e liberação dos elementos a partir de fontes minerais, sendo que a disponibilização será aumentada pela menor concentração de elementos na solução do solo, ao passo que em um solo com teores elevados de determinado elemento em solução a velocidade de solubilização deste elemento será reduzida (BORGES et al., 2017). Desta forma, como o solo do experimento já apresentava altas concentrações deste nutriente, pode não ter favorecido uma melhor solubilização do remineralizador.

De acordo com Vieira et al. (2016) o teor de K absorvido pela cultura do milho foi superior ao de K-trocável, evidenciando que a planta consegue acessar as formas não-trocáveis. Isso demonstra que o aporte de formas não-trocáveis de elementos no solo pela adição de remineralizadores tem grande importância para se estabelecer suprimento ao longo do tempo.

Aos 12 meses após a aplicação de pó de rocha, observa-se que a área onde não houve cultivo com plantas de cobertura e, portanto, sem acúmulo de palhada em superfície diferiu das demais em função das doses de pó de basalto, sendo que apresentou o maior valor (0,79  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na dose de 8,5  $\text{t ha}^{-1}$  de pó de rocha (Figura 7).

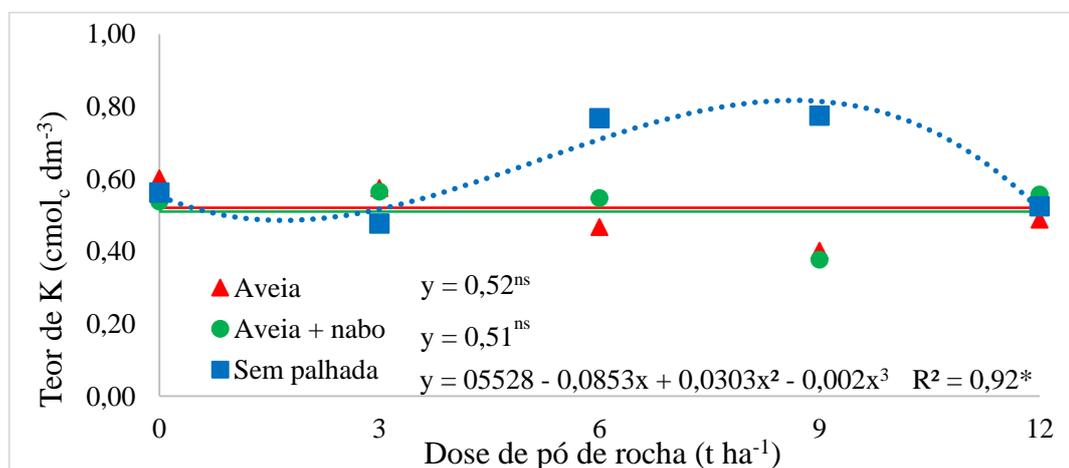


Figura 7 - Teor de K na camada de 0,05-0,10 m após 12 meses da aplicação de pó de basalto em solo com palhada de diferentes plantas de cobertura.

Comparando-se os teores de K nas duas amostragens, percebe-se uma redução na concentração de K trocável no solo após o plantio da soja (12 meses após a aplicação do pó de basalto), o que sugere que o K inicialmente encontrado no solo, após o manejo das plantas de cobertura, foi disponibilizado para a cultura da soja que translocou para sua parte aérea e foi exportado na forma de grãos.

Isso indica que a solubilidade da rocha é limitada, não havendo pronta liberação de todo o K contido nela. Contudo, desde que não venha a comprometer o desenvolvimento das culturas, uma disponibilização mais lenta e gradual de K é desejável, pois pode otimizar o aproveitamento do nutriente pelas plantas e reduzir perdas por lixiviação (RESENDE et al., 2006).

Corroborando com os resultados, Ribeiro et al., (2010) ao avaliar o efeito da aplicação de pó de rochas silicáticas (flogopitito, ultramáfica alcalina e brecha piroclástica), no fornecimento de K ao solo constataram comportamento linear positivo com o acréscimo das doses do pó de rocha e também verificaram que o teor do nutriente reduziu após o cultivo com soja.

Isso pode explicar o fato das áreas que não foram cultivadas com plantas de cobertura apresentarem teores mais elevados de K. Provavelmente, o K nas áreas anteriormente cultivadas com aveia e com o consórcio estava mais disponível na solução do solo para a cultura da soja, sendo absorvido pela planta e, conseqüentemente, reduzindo o teor restante no solo.

Quando comparados os teores de P e K no solo após doze meses e o observado inicialmente na área experimental, observa-se que houve uma construção e manutenção da fertilidade do solo. Isso porque foi realizada uma adubação de base para a cultura da soja, desta forma, a rochagem atuou de forma a melhorar a eficiência do uso do fertilizante, contribuindo em uma maior disponibilidade dos nutrientes por maior tempo.

A rochagem pode ser utilizada como uma técnica complementar à fertilização, podendo atuar como uma maneira de garantir um maior estoque desses nutrientes para a reposição na solução do solo à medida que os nutrientes de fontes solúveis fossem demandados pelas plantas, adsorvidos ou perdidos com a lixiviação e erosão do solo (PÁDUA, 2012).

A utilização unicamente de fontes solúveis de nutrientes, dificilmente consegue a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes no momento adequado, visto que toda a aplicação da adubação ocorre em um único momento, deixando os elementos sujeitos a perdas pelos processos de fixação e lixiviação. Mas, quando essa adubação é associada a fontes de baixa solubilidade como a rochagem, permite-se que a planta tenha a possibilidade de utilizar os nutrientes de acordo com sua necessidade por um período maior de tempo.

#### 4.4 TEORES DE Ca E Mg NO SOLO

Não houve interação significativa entre as doses de pó de rocha e plantas de cobertura sobre a disponibilidade de Ca e Mg no solo, 6 meses após a aplicação de pó de rocha. Estes

teores de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, são classificados na faixa de interpretação como teor muito alto para o Mg e como alto para Ca (Tabela 9) (PAULETTI; MOTTA, 2019).

Tabela 9 - Valores médios dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, em três camadas de avaliação

Cultivo	Ca			Mg		
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
Solo sem cobertura	5,75 <sup>ns</sup>	4,34 <sup>ns</sup>	4,47 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	2,37 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>
Aveia	5,28	4,04	4,15	2,32	2,14	1,99
Aveia + nabo	5,65	4,50	4,30	2,44	2,39	2,18

<sup>ns</sup>: não significativo ao teste de Tukey a 5% de significância.

É possível observar que os teores de Ca e Mg após o cultivo das plantas de cobertura estavam altos (Tabela 9). Entretanto, não houve incremento em comparação com a análise química inicial da área. Essa ausência de incremento na disponibilidade dos nutrientes pode ter ocorrido pelo fato de que após o manejo das plantas de cobertura houve um longo período de baixo índice pluviométrico (Figura 1); visto que parte dos nutrientes são liberados da palhada das culturas através da remoção pela água das chuvas.

A falta de chuva após o manejo das plantas de cobertura pode ter comprometido a rápida disponibilidade de Ca e Mg. Parte do Mg presente na planta não faz parte de constituintes celulares e, portanto, é rapidamente liberado; enquanto o restante é liberado de forma gradual, pois faz parte de compostos estruturais (CRUSCIOL et al. 2008). De acordo com Heinz et al. (2011), o nabo-forrageiro pode apresentar um acúmulo de cerca de 34 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 19 kg ha<sup>-1</sup> de Mg na fitomassa, sendo que 80% do Mg é rapidamente disponibilizado pela fitomassa até os 45 dias após o manejo.

A cultura da aveia-preta pode acumular cerca de 43 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 16 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, sendo que a máxima liberação desses nutrientes ocorre em torno dos 50 dias após o manejo; porém, aos 28 e 15 dias metade do Ca e Mg acumulado pela aveia-preta já terá sido liberada ao solo, com posterior redução (CRUSCIOL et al., 2008; TORRES et al., 2008). Portanto, houve pouca contribuição da matéria seca das plantas de cobertura para elevar os teores de Ca e Mg no solo.

Dessa forma, é possível estabelecer a hipótese que os teores dos nutrientes no solo aumentaram nas camadas superficiais provavelmente em resposta à quantidade presente nos

resíduos vegetais e não necessariamente ao aumento da disponibilidade do nutriente preexistente no solo.

Os teores de Ca e Mg no solo 6 meses após a aplicação de pó de basalto não modificaram significativamente (Tabela 10). Assim como nos teores de K, essa ausência pode ser explicada pelo fato de que na maioria dos minerais silicáticos estes nutrientes estão na forma insolúvel, apresentando certa dificuldade para sua liberação ao solo (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004; ALOVISI et al., 2017).

Tabela 10 - Valores médios dos teores de K, Ca e Mg no solo 6 meses após a aplicação de doses de pó de rocha, em diferentes camadas: 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m

Dose t ha <sup>-1</sup>	Ca			Mg		
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
0	5,46 <sup>ns</sup>	4,13 <sup>ns</sup>	3,91 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>
3	5,35	4,30	4,43	2,40	2,27	2,12
6	5,92	4,51	4,56	2,62	2,47	2,32
9	5,31	4,11	4,16	2,20	2,21	2,01
12	5,74	4,42	4,46	2,45	2,40	2,05

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de médias, a 5% de significância

Observa-se que os incrementos nas concentrações de Ca e Mg foram extremamente baixos e até ausentes, fato que também foi verificado por Melo et al., (2012). Os autores observaram incremento máximo de 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na concentração de Ca na dose de 48 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha basáltica. Isso indica que nesta tocha estes minerais possuem baixa solubilidade.

A ausência de efeito significativo nos teores de Ca e Mg após a aplicação das doses de pó de basalto pode estar ligada a ocorrência de substituições isomórficas envolvendo o Ca, Mg e Al. Isso porque nas reações de dissolução mineral os elementos nem sempre serão liberados e mantidos na solução do solo na mesma proporção da composição mineral (KÄMPF; CURI; MARQUES, 2009b).

Além disso, os resíduos das plantas contêm ácidos orgânicos e estes formam grupos funcionais que, dentre outras reações químicas no solo formam compostos que tendem a aumentar a mobilidade de Ca no perfil do solo. Essa maior mobilidade pode resultar em perdas por processos de lixiviação (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Entretanto, embora não avaliada a lixiviação no presente estudo, acredita-se que esta lixiviação não tenha ocorrido de forma expressiva a ponto de reduzir o teor de Ca da solução do solo.

A disponibilidade de nutrientes no solo acaba influenciando a dinâmica e liberação dos elementos a partir de fontes minerais, sendo que a disponibilização será aumentada pela menor

concentração de elementos na solução do solo, ao passo que em um solo com teores elevados de determinado elemento em solução a velocidade de solubilização deste elemento será reduzida (BORGES et al., 2017). Desta forma, como o solo do experimento já apresentava altas concentrações de nutrientes, pode não ter favorecido uma melhor solubilização do remineralizador.

Outro fator que pode ter contribuído para a ausência de efeitos significativos das doses de pó de rocha seis meses após sua aplicação para os teores de Ca e Mg (Tabela 10), assim como os de K (Tabela 8), pode ser devido a granulometria do material utilizado. A granulometria da rocha tem grande influência sobre a solubilização dos minerais e consequente liberação dos nutrientes. Quanto menor a granulometria, maior será a área superficial exposta a ação dos agentes de intemperismo (físicos, químicos e biológicos) e mais rápida será a alteração do material (OSTERROHT, 2003).

O pó de rocha de basalto utilizado neste experimento apresentou 58% de material com granulometria menor que 0,3 mm. Esta porcentagem está dentro do mínimo exigido para a classificação de remineralizadores de solo de acordo com a Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (BRASIL, 2016). Esta normativa determina que pelo menos 50% do material deve ser menor do que 0,3 mm. Neste trabalho 42% do pó de basalto apresenta partículas maiores que 0,3 mm e necessitará de maior período de tempo para liberar os nutrientes de sua estrutura.

Aos 12 meses após a aplicação de pó de rocha, constatou-se efeito significativo para a interação entre doses de pó de rocha e palhada das plantas de cobertura para os teores de Ca na camada de 0,00-0,05m. O sistema de cultivo com o consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro apresentou um comportamento linear significativo em função das diferentes doses de pó de rocha (Figura 8).

Este aumento linear no teor de Ca foi porque o pó de basalto utilizado neste experimento possui 9,73% de óxido de Ca (Tabela 2). No cultivo com aveia preta + nabo-forrageiro na dose de 12 t ha<sup>-1</sup> o teor de Ca foi de 9,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, representando um incremento de 25% em relação a ausência da aplicação de pó de rocha (7,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

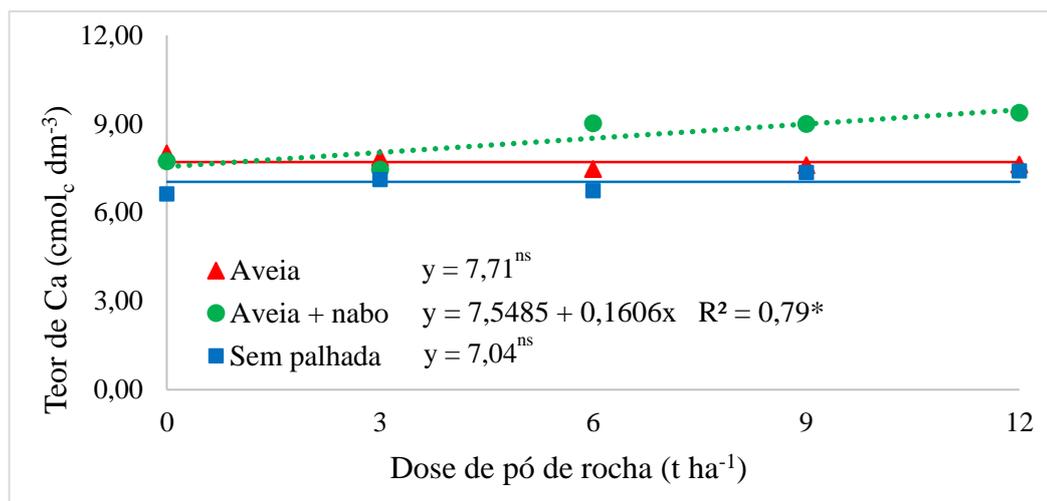


Figura 8 - Teores médios de Ca na camada de 0,00-0,05 m após 12 meses da aplicação de doses de pó de rocha associado a palhada de diferentes plantas de cobertura do solo.

Comparando os cultivos, é possível estabelecer que com a maior dose aplicada o consórcio apresentou-se cerca de 35% superior ao solo sem palhada (7,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e 23% superior ao monocultivo da aveia-preta (7,71 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

De acordo com Amaral et al. (2004), no resíduo de aveia-preta há predomínio de ácido transaconítico, enquanto que no nabo-forrageiro o predomínio é dos ácidos cítrico e málico, sendo que a concentração total de ácidos é muito maior no nabo-forrageiro.

Isso justifica a maior disponibilidade de Ca pelo pó de basalto em associação com o consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro, visto que o ácido cítrico tem maior capacidade de atuar na extração de nutrientes do pó de basalto, pelo fato de que apresenta um acentuado efeito ácido e capacidade de complexar metais, enfraquecendo as ligações metal-oxigênio da estrutura mineral (RINALDI et al., 2013; RIBEIRO, 2018).

Resultados semelhantes foram observados por Ribeiro (2018), ao avaliar a solubilidade e o potencial de liberação de nutrientes de remineralizadores; dentre eles o pó de basalto, com a aplicação de ácidos orgânicos, verificou que o ácido cítrico apresenta menores valores de pH (2,7-3,6), indicativo do seu maior potencial de dissolução mineral, liberando mais íons na forma de sais e incrementando na condutividade elétrica do meio, o que indica maior atividade desses íons na solução.

Considerando que os ácidos orgânicos são comumente encontrados nas camadas mais superficiais do solo, sendo produtos da decomposição do material orgânico, sintetizados pelos microrganismos e excretados pelas raízes das plantas (SILVEIRA; FREITAS, 2007), pressupõe-se que a solubilidade dos minerais em contato com ácidos orgânicos ocorrerá em maior grau na superfície do solo.

Ribeiro (2018) verificou que com o aumento do tempo de contato do pó de rocha com as soluções de ácidos orgânicos ocorreu um incremento nos teores de nutrientes extraídos, até atingir taxa constante ou decréscimo. De acordo com o autor, isso ocorre porque como vários elementos químicos são simultaneamente solubilizados, alguns podem recombina-se em solução para formar novos produtos que podem interagir com os demais íons, reduzindo sua quantidade na solução.

É possível observar que os resíduos vegetais do consórcio entre aveia-preta e nabo-forrageiro foram mais eficientes em aumentar os teores de Ca no solo, em relação a área sem presença de palhada, até a profundidade de 0,10 m, com um incremento médio de 22%, não ocorrendo mais diferenciação abaixo disso (Tabela 11).

Tabela 11 - Teores de Ca e Mg no solo com diferentes palhadas e após 12 meses da aplicação de pó de rocha, em diferentes camadas de avaliação

Fator de variação	Ca			Mg		
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
<b>Palhada</b>						
Sem palhada	7,04 b	5,24 b	4,39 <sup>ns</sup>	2,97 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>
Aveia	7,71 ab	5,86 ab	4,68	2,86	1,70	1,31
Aveia + nabo	8,51 a	6,43 a	4,76	3,16	1,99	1,45
<b>Doses (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	7,45 <sup>ns</sup>	5,74 <sup>ns</sup>	4,65 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>
3	7,47	5,81	4,62	2,75	1,66	1,26
6	7,74	5,77	4,80	2,05	1,85	1,42
9	7,98	5,94	4,40	2,86	1,78	1,35
12	8,13	5,96	4,56	3,37	1,99	1,50

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de Tukey.

Levando em consideração os teores disponibilizados logo após o manejo das plantas de cobertura, é possível verificar que houve um incremento médio de Ca disponibilizado de cerca de 36% após 9 meses do manejo das plantas de cobertura.

Isso ocorreu pelo fato de que o Ca é um elemento estrutural das plantas, necessitando de maior tempo para ser mineralizado pelos microrganismos do solo e então disponibilizado pelas plantas ao solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2007).

Os teores de Mg no solo após 12 meses da aplicação de pó de rocha não diferiram em relação as doses aplicadas (Tabela 11). Porém, em relação aos teores encontrados aos seis meses após a rochagem (Tabela 10), observa-se que, de forma geral, a aplicação de pó de rocha nas

doses de 9 e 12 t ha<sup>-1</sup> promoveram um incremento de 30% e 38%, respectivamente, na profundidade de 0,00-0,05 m.

Silveira (2016) avaliando a disponibilização de nutrientes no solo após um ano da aplicação de pó de rocha (basalto, fosforito e dolomito fosfatado) também verificou que apenas o Mg não apresentou teores significativamente mais elevados com a aplicação dos pós de rocha. Com a aplicação de pó de basalto o teor médio de Mg verificado pelo autor foi de 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Isso evidencia a necessidade de maior período de tempo para que haja a dissolução e liberação do Mg presente no pó de basalto ao solo, visto que este elemento se encontra em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração a curto prazo (MELO et al., 2012).

#### 4.5 PRODUTIVIDADE DA SOJA

Houve efeito significativo da interação entre doses de pó de rocha e plantas de cobertura sobre a massa de mil grãos e efeito isolado do cultivo com plantas de cobertura sobre a produtividade da soja e das doses de pó de rocha sobre o número de vagens por planta e sobre a produtividade da soja.

O número de vagens por planta apresentou um comportamento explicado por uma equação quadrática de acordo com a dose de pó de rocha aplicada (Figura 9). Observa-se que com a dose de 6,9 t ha<sup>-1</sup> obteve-se o maior número de vagens por planta (85,25); ou seja, cerca de 17 vagens a mais que a quantidade obtida sem a aplicação de pó de rocha, o que confere um incremento de 25%.

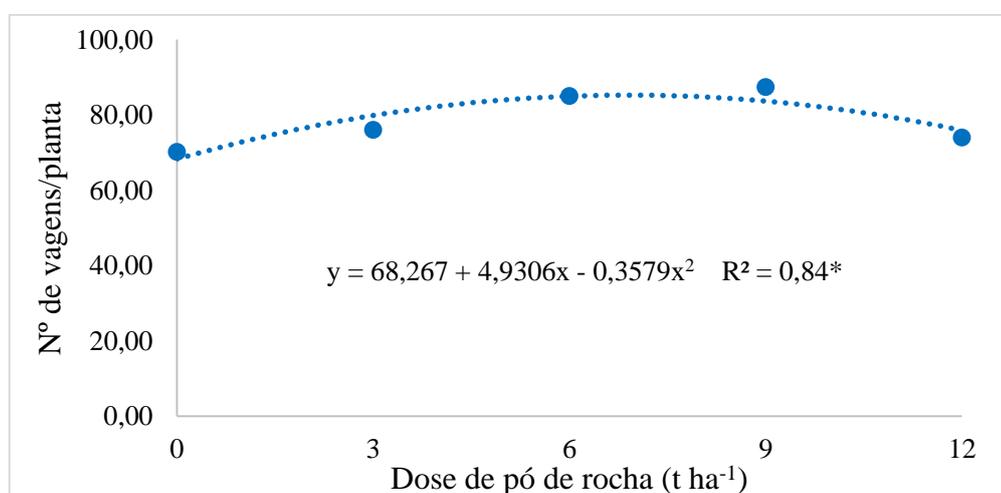


Figura 9 - Número de vagens por planta de soja após a aplicação de doses de pó de rocha

Como não foi verificado efeito significativo para o número de grãos por vagem em função das doses aplicadas, é possível que o número de vagens por planta tenha sido um ponto determinante para a produtividade da cultura.

Para Bárbaro et al. (2006), o caráter número de vagens por planta é um dos mais importantes para a determinação da produtividade de grãos, sendo que Carpentieri-Pípolo et al. (2005), verificaram que plantas que apresentaram maior número de vagens por planta também apresentaram maior peso de sementes por planta, o que pode interferir na produtividade final.

Resultado semelhante foi verificado por Silva et al. (2019), que com a aplicação de 6 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha basáltica, obtiveram o máximo número de vagens por planta (89,19), enquanto que o menor valor foi obtido na ausência da aplicação do material, com valor de 70,19 vagens por planta. Contudo isso não foi determinante para o aumento na produtividade.

Alovisi et al. (2020), trabalhando com a aplicação de doses de pó de rocha que variaram de 0 a 10 t ha<sup>-1</sup> de produto não verificaram efeito significativo das doses sobre o número de vagens por planta, obtendo uma média de 74 vagens por planta.

A interação entre plantas de cobertura e doses de pó de rocha sobre a massa de mil grãos é apresentada na Figura 10. Observa-se que houve efeito significativo da aplicação de pó de rocha quando associado com o cultivo do consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro e com o cultivo sem plantas de cobertura.

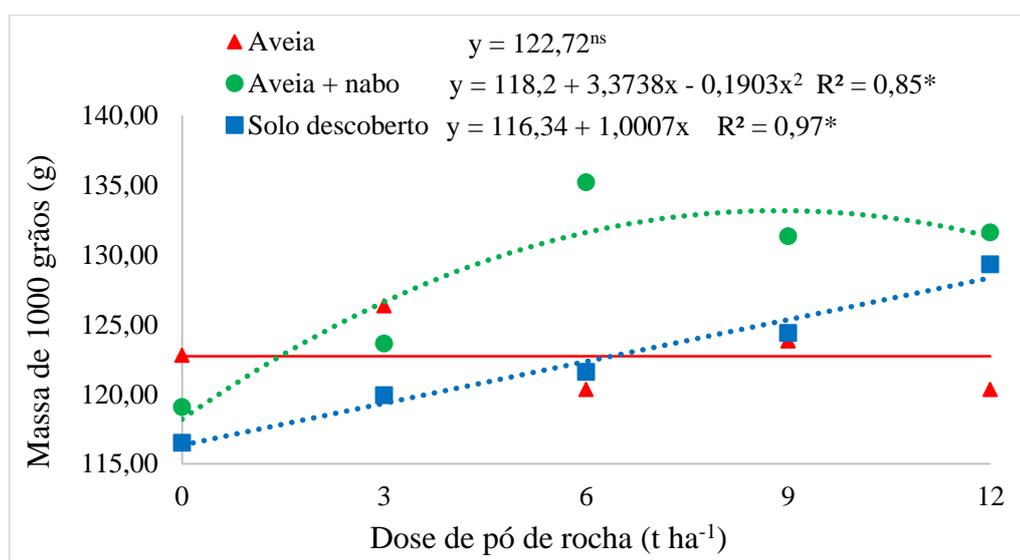


Figura 10 - Massa de 1000 grãos de soja após a aplicação de pó rocha associado a plantas de cobertura.

É possível observar que na área que havia sido cultivada com o consórcio os grãos de soja apresentaram maior massa na dose de 8,9 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha, com 133,15 g, um

incremento de 13% em relação a ausência de pó de rocha. Isto pode ter resultado em maiores produtividades nas áreas cultivadas com o consórcio e também onde houve a aplicação de doses próximas à que se obteve a maior massa de mil grãos.

Em contrapartida na área onde não houve cultivo de plantas de cobertura foi observado um comportamento linear crescente de acordo com o aumento da dose, sendo que se obteve a massa de 128,35 g com a aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup>. Contudo, percebe-se que mesmo com a aplicação da maior dose de pó de rocha a massa de mil grãos permaneceu menor do que com aplicação de 8,9 t ha<sup>-1</sup> quando associada ao cultivo de aveia-preta + nabo-forrageiro.

Isso pode ser reflexo da disponibilidade de nutrientes em cada um dos sistemas, visto que, como discutido anteriormente, foi verificado maiores disponibilidades de nutrientes quando o pó de rocha foi associado ao cultivo do consórcio.

Silva et al. (2019), também verificou efeito das doses de pó de rocha sobre a massa de mil grãos, contudo a maior massa encontrada foi na dose de 6 t ha<sup>-1</sup>, com valor de 155 g em mil grãos.

Almeida Junior et al. (2020) ao avaliar a aplicação de diferentes doses de pó de rocha não verificaram efeito significativo nos valores de massa de mil grãos, contudo os valores encontrados pelos autores são bem superiores aos verificados no presente trabalho. De forma geral, os autores verificaram uma média de massa de mil grãos de 197,5 g para as doses de 3, 6, 9 e 12 t ha<sup>-1</sup>.

Essa divergência pode ser resultado das condições meteorológicas entre os dois experimentos, visto que no presente trabalho houve período de baixo índice pluviométrico no período de enchimento de grãos (Figura 1) o que acaba interferindo no incremento em massa dos grãos produzidos.

Quando fatores ambientais e climáticos causam intensa competição entre as plantas, também ocorre competição entre diferentes partes da planta por nutrientes e metabólitos. Essa competição acaba promovendo uma compensação sobre a característica de massa de mil grãos, aumentando ou diminuindo o tamanho dos grãos em função do número de vagens e grãos em desenvolvimento; nessas condições é esperado que a massa dos grãos seja reduzida (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2005).

Os resultados de produtividade da soja em relação ao cultivo com diferentes plantas de cobertura estão apresentados na Tabela 12.

De acordo com levantamento da Conab, a produtividade da soja no estado do Paraná na safra 2019/2020 foi em média de 4.216 kg ha<sup>-1</sup>. Desta forma, observa-se que a produtividade

obtida foi inferior à média do estado, possivelmente em virtude do baixo regime hídrico local (Figura 1).

Tabela 12 - Produtividade de soja, safra 2019/2020, após cultivo com diferentes plantas de cobertura do solo

Cultivo	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
Solo descoberto	2979 b
Aveia-preta	3554 a
Aveia + nabo	3725 a
DMS	200,69
CV (%)	6,05

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Visto que a necessidade hídrica da cultura vai aumentando com o desenvolvimento da planta, a demanda durante os estádios fenológicos de floração e enchimento de grãos chega a ser de 7 a 8 mm por dia para a soja, e a necessidade total variando de 450 a 800 mm por ciclo (FARIAS et al., 2007). Dessa forma fica evidente os efeitos do regime hídrico sobre a produtividade obtida, visto que a precipitação hídrica diária no período reprodutivo da cultura ficou em torno de 3 mm por dia.

A palhada das plantas de cobertura promoveu um efeito positivo na produtividade da soja, resultando em um incremento médio de 22% em relação a área que não foi cultivada com plantas de cobertura (solo descoberto) (Tabela 12).

As maiores produtividades da soja após o cultivo de aveia-preta e do consórcio provavelmente esteve relacionada a uma possível redução nas perdas de água do solo pela cobertura dos restos vegetais e menores temperaturas em superfície. O que foi potencializado pela baixa precipitação que ocorreu durante o cultivo da soja.

Outro fator que contribuiu para o aumento da produtividade da soja quando antecedida por plantas de cobertura é o fator disponibilidade de nutrientes da palhada, isso porque ao analisar os teores de nutrientes, principalmente de K disponível antes da semeadura da soja, observa-se que este apresentou-se em maiores quantidades nas áreas em que se cultivou as plantas de cobertura do solo (Tabela 7).

Além disso, ao comparar os teores desse nutriente antes e depois do cultivo da soja, observa-se que após a colheita da soja os teores encontrados reduziram em média 66% e 34% em relação aos teores presentes após o manejo do consórcio e da aveia, respectivamente,

indicando que este nutriente foi absorvido pela soja em maiores quantidades quando cultivada nessas áreas.

Outra questão é que, para alguns nutrientes o transporte no solo por fluxo em massa tem grande expressividade, como para o K. Dessa forma, o movimento do nutriente da solução do solo em direção à superfície das raízes é promovido pelo fluxo da água absorvida pela planta, que por sua vez depende da presença de água no solo e pelo potencial interno de água da planta, que está relacionado às condições de umidade e temperatura (FURLANI, 2004).

Desta forma, considerando que a umidade do solo é necessária para a movimentação dos nutrientes no solo até as raízes das plantas para a absorção, é possível inferir que nas áreas mantidas em pousio, em função das condições meteorológicas (Figura 1), a umidade do solo foi insuficiente e interferiu negativamente na movimentação dos nutrientes e absorção pela soja, reduzindo a produtividade.

Além disso, o incremento de matéria orgânica no solo pelo cultivo com plantas de cobertura, associado a menor intensidade de manejo pelo plantio direto contribui para a retenção de água, visto que a matéria orgânica tem a capacidade de reter até vinte vezes a sua massa em água, aumentando o tamanho do reservatório de água disponível no solo nessas áreas (ARAÚJO et al., 2004; FRANCHINI et al., 2009).

Ainda, a matéria orgânica constitui importante reservatório de nutrientes, com capacidade de reter elementos importantes como o K, Ca, Mg, N, P e S, sendo capaz de suprir parte das necessidades da cultura durante seu ciclo (BOT; BENITES, 2005). Assim, a associação da matéria orgânica com a adubação mineral constitui importante estratégia para manter o potencial de nutrição às plantas.

Resultado semelhante foi encontrado por Caetano et al. (2018) que verificaram que a soja cultivada sob palhada de plantas de cobertura (aveia-preta, nabo-forrageiro e ervilha-forrageira), apresentou produtividade 13% superior à área sem cobertura.

Para as doses de pó de rocha, os dados de produtividade da soja se ajustaram a equação quadrática. A maior produtividade (3.590,23 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida na dose de 8,4 t ha<sup>-1</sup>, ou seja, um incremento de 16% em relação a produtividade obtida sem aplicação de pó de rocha (3.083,80 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 11).

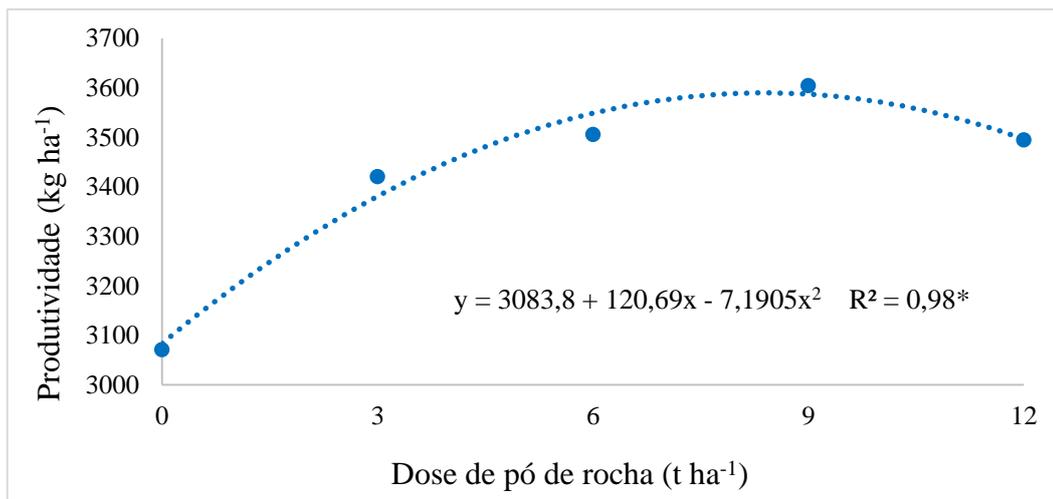


Figura 11 - Produtividade de soja, safra 2019/2020, após aplicação de doses crescentes de pó de basalto.

Este resultado pode ser reflexo do incremento no número de vagens por planta (Figura 9) e na massa de mil grãos (Figura 10), obtidos com a aplicação de doses de pó de rocha semelhantes a que promoveu a maior produtividade.

Outro fator que contribuiu para o aumento na produtividade da soja com o uso de pó de rocha de basalto é que este fornece não apenas P e K, mas ele é capaz de fornecer macro e micronutrientes considerados essenciais para o desenvolvimento da planta. Sendo que este aumento poderia ser ainda maior caso a distribuição de chuvas fosse regular e não tivesse ocorrido baixa disponibilidade hídrica quando a planta estava no estágio de enchimento de grãos. Além disso, a água é o principal agente do intemperismo químico e consequentemente da disponibilidade de nutrientes.

Além disso, a baixa disponibilidade hídrica interfere na umidade do solo, que por sua vez tem interferência sobre a dinâmica e absorção dos nutrientes, principalmente dos elementos pouco móveis no solo, como o P e K. Dessa forma, embora a análise tenha demonstrado efeito para os teores dos nutrientes no solo, é possível que estes resultados fossem mais pronunciados caso a precipitação tivesse ocorrido normalmente.

Resultado semelhante foi obtido por Alovisi et al. (2020), cuja produtividade máxima da cultura da soja (4.028 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida na dose de 8,3 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, não havendo mais incrementos a partir dessa dose. Isso pode ser explicado pelas melhorias na fertilidade do solo e pela maior disponibilidade de nutrientes para absorção das plantas.

É importante destacar que além do pó de rocha basáltico fornecer apreciáveis quantidades de nutrientes ao solo ao longo do tempo, a sua aplicação proporciona também a

adição de coloides negativos devido à presença de silicatos, que possibilitam a adsorção de cátions, como K, Ca e Mg, impedindo que eles sejam sujeitos a processos de perdas.

#### 4.6 POROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO

Os valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após o cultivo de soja em sucessão a plantas de cobertura são apresentados na Tabela 13. Constatou-se que não houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação entre a aplicação de pó de rocha e as plantas de cobertura para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo; nem efeito para os fatores isolados.

Tabela 13 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após cultivo de soja em sucessão a plantas de cobertura do solo

Cultivo	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total	Densidade solo
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>
<b>0,0 – 0,05 m</b>				
Solo descoberto	0,10 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>
Aveia	0,09	0,42	0,51	1,30
Aveia + nabo	0,09	0,42	0,51	1,33
CV (%)	24,01	9,01	7,22	10,26
<b>0,05 – 0,10 m</b>				
Solo descoberto	0,08 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>
Aveia	0,08	0,40	0,48	1,43
Aveia + nabo	0,09	0,41	0,50	1,42
CV (%)	21,29	10,18	6,23	5,89
<b>0,10 – 0,15 m</b>				
Solo descoberto	0,08 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>
Aveia	0,08	0,40	0,48	1,44
Aveia + nabo	0,08	0,40	0,48	1,43
CV (%)	9,77	6,78	5,33	4,30

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A macroporosidade do solo é uma propriedade mais facilmente alterada pelo tipo de manejo adotado. Todavia, após o cultivo das plantas de cobertura os valores mantiveram-se abaixo do limite tido como crítico ( $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), sendo que esses valores aliados a densidade do solo superior a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  podem interferir o desenvolvimento radicular da cultura (SEIDEL et al., 2015).

Observa-se que os valores de macroporosidade estão muito próximo dos valores considerados críticos para aeração do solo e esta densidade crítica está relacionada com a textura do solo (SILVA et al. 2017).

O cultivo das plantas de cobertura não foi capaz de descompactar o solo, pois a densidade média do solo foi de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ . De acordo com Argenton et al. (2005) em Latossolo argiloso a deficiência de aeração inicia em densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  e segundo Klein (2006) para mesma classe de solo, levando em consideração o intervalo hídrico ótimo, a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ . Enquanto, Reichert et al. (2003), propuseram densidade do solo crítica para solos argilosos de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Ao analisar os dados pode-se observar que os valores estão próximos aos considerados como críticos; tanto para a macroporosidade como para a densidade; contudo, é importante destacar que muitas vezes esses limites não se tornam determinantes diretos do crescimento das plantas, principalmente quando as condições climáticas são adequadas para o desenvolvimento da cultura.

Isso porque as propriedades do solo atuam de forma conjunta sobre os fatores de crescimento e produção. As plantas podem continuar produzindo adequadamente mesmo em solos que apresentam, para algumas propriedades, condições inadequadas em termos teóricos (REICHERT et al., 2003).

Também se observa que independente do tratamento utilizado, os menores valores de densidade do solo encontram-se na camada de 0,00 a 0,05 m, aumentando conforme a camada avaliada (Tabela 13). O que é de se esperar pois, é nesta camada que se encontra a maior densidade de raízes das plantas utilizadas e ao possível maior teor de matéria orgânica ocasionado pela decomposição dos restos vegetais (SILVA et al., 2017).

Observa-se ainda que nas três camadas avaliadas (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m) a porosidade e a densidade do solo na área com as plantas de cobertura obtiveram resultados semelhantes à área mantida com solo descoberto, indicando que as espécies utilizadas não promoveram efeitos significativos em seu primeiro ciclo de cultivo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pessotto et al. (2016) que também não verificaram diferença significativa para a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após a sucessão de diferentes plantas de cobertura, dentre elas a de aveia-preta e o consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro, em apenas um ciclo de cultivo.

De acordo com Ferreira et al. (2012), para obter resultados significativos nas propriedades físicas do solo com o uso de plantas de cobertura é necessário mais de um ciclo de cultivo na área. Com isso, pode haver um acúmulo de resíduos vegetais no solo e resultar em melhorias nestas propriedades. Desta forma, é necessário que se realize avaliações de médio a longo prazo para avaliar tais efeitos nas propriedades físicas do solo e assim diferenciar as espécies mais eficazes na melhoria destes atributos físicos do solo.

Isso também é corroborado por Silva et al (2017), segundo os quais é necessário um período superior a dois anos de cultivo com plantas de cobertura para que seja possível detectar efeitos significativos na melhoria e/ou recuperação da qualidade física do solo.

A aplicação das doses de pó de rocha não influenciou significativamente nas propriedades físicas avaliadas em ambas camadas avaliadas (Tabela 14).

Este resultado confirmou que o material aplicado não prejudicou o ambiente físico, principalmente a porosidade, pois a redução na porosidade leva a interferências no fluxo de ar e água no solo, bem como no crescimento radicular das plantas.

Tabela 14 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após aplicação de doses crescentes de pó de basalto

Doses (t ha <sup>-1</sup> )	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total	Densidade solo
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>
<b>0,0 – 0,05 m</b>				
0	0,09 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>
3	0,10	0,42	0,52	1,29
6	0,10	0,41	0,51	1,33
9	0,09	0,42	0,51	1,33
12	0,10	0,42	0,52	1,31
CV (%)	15,82	7,50	5,83	6,99
<b>0,05 – 0,10 m</b>				
0	0,08 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>
3	0,08	0,40	0,48	1,43
6	0,08	0,41	0,49	1,43
9	0,09	0,41	0,49	1,41
12	0,09	0,40	0,48	1,41
CV (%)	15,78	5,56	4,74	5,09
<b>0,10 – 0,15 m</b>				
0	0,08 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>
3	0,07	0,41	0,48	1,44
6	0,08	0,40	0,48	1,43
9	0,08	0,40	0,48	1,42
12	0,08	0,40	0,48	1,47
CV (%)	10,85	5,17	3,63	4,09

<sup>ns</sup>: não significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com esse resultado descartou-se a hipótese que com o uso da rochagem na dose de até 12 t ha<sup>-1</sup> pudesse ocorrer redução na porosidade do solo. Seja pela colmatagem dos poros devido as partículas pequenas do pó de rocha (KNAPIK; ANGELO 2007), ou pelo desequilíbrio nos teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo acarretando em problemas de desestruturação do solo e obstrução dos poros (BERTOSSO et al. 2012).

Bertossi et al. (2012), avaliando a influência da aplicação de quantidades de pó de rocha silicática (0, 20 e 40% de material aplicado a um volume fixo de solo), verificaram que

houve redução na condutividade hidráulica do solo de rápida para moderada com aplicação de 40% do material.

Os autores atribuíram esse resultado à granulometria fina do pó de rocha utilizado. O pó de rocha poderia ter obstruído os poros, reduzindo a velocidade de percolação da água. Contudo, destacaram que apesar da aplicação de 40% do material ao solo ser um valor elevado do ponto de vista do uso na rochagem o mesmo não afetou a condutividade hidráulica que permaneceu como moderada e não atingiu o nível baixo.

Um fator que pode ter contribuído para ausência de resultados significativos do uso do pó de rocha associado as plantas de cobertura é a mineralogia dos solos da região. No Oeste do Paraná a composição mineralógica predominante é a caulinita e óxidos de ferro e alumínio (MARCOLIN; CALEGARI 2020). Os óxidos de ferro e alumínio apresentam alta superfície específica e grande densidade de cargas, o que lhes confere grande influência sobre as propriedades físicas do solo, especialmente a agregação do solo (GHIDIN et al. 2006).

A presença de óxidos de ferro e alumínio determina um arranjo mais casualizado das partículas do solo, por apresentarem forma equidimensional, formando assim agregados menores que resultam em menor macroporosidade, como verificado no presente trabalho (PAULA 2017).

Desta forma, considerando o curto período de permanência das plantas de cobertura na área e a avaliação a curto prazo da aplicação de pó de rocha, é possível que neste primeiro momento as características físicas avaliadas sofreram maior influência da própria constituição mineralógica do solo em comparação aos tratamentos aplicados.

Sendo assim, é de grande importância a realização de avaliações ao longo do tempo, de forma que seja possível determinar os seus efeitos com maior tempo de avaliação.

## **5 CONCLUSÕES**

O cultivo das plantas de cobertura (aveia-preta e aveia-preta + nabo-forrageiro) elevou os teores de P e K em 29 e 92%, respectivamente, em relação a área sem cultivo. O que resultou em aumento de 22% na produtividade da soja;

Seis meses após a aplicação do pó de rocha de basalto houve aumento no teor de P no solo. Sendo que após 12 meses quando o pó de rocha foi associado as plantas de cobertura aumentou o teor de P e Ca e reduziu o pH do solo;

O uso do pó de rocha de basalto na dose de 8,4 t ha<sup>-1</sup> resultou em incremento de produtividade de 16%.

A maior dose aplicada neste trabalho ( $12 \text{ t ha}^{-1}$ ) não promoveu alteração na porosidade e densidade do solo;

Os resultados demonstram o potencial de uso do pó de rocha como insumo para agricultura sustentável;

O cultivo com plantas de cobertura do solo não promoveu melhorias na porosidade e densidade do solo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, B. G. de.; FREITAS, P. L. de.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Porosidade. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. cap.9, p.82-94. (a).
- ALMEIDA, B. G. de.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. cap.7, p.65-75. (b).
- ALMEIDA JUNIOR, J. J.; LAZARINI, E.; SMILJANICK, B. A.; SIMON, G. A.; MATOS, F. S. A.; BARBOSA, U. R.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; SILVA, A. R. da. Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*Glycine max*) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, PR, v.6, n.8, p.56835-56847, 2020.
- ALOVISI, A. M. T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S. da.; PIESANTI, G. H. L. M. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. **Acta Iguazu**, Cascavel, PR, v.6, n.5, p.69-79, 2017.
- ALOVISI, A. M. T.; GOMES, W. L.; ALOVISI, A. A.; SILVA, J. A. M. da.; SILVA, R. S. da.; CASSOL, C. J.; MUGLIA, G. R. P.; VILLALBA, L. A.; SOARES, M. S. P.; TEBAR, M. M.; CERVI, R. F.; RODRIGUES, R. B.; GNING, A. Atributos químicos do solo e componentes agronômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto. In: J. C. RIBEIRO (Org.). **Impacto, excelência e produtividade das ciências agrárias no Brasil 3**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. cap.2, p.13-26).
- AMARAL, A. S.; ANCHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.115-123, 2004.
- AMARAL, G. C. do.; BERTI, M. P. S.; SILVA, A. A. da.; SILVA JUNIOR, G. S. da.; CUSTÓDIO, J. P. C.; PEIXOTO, W. A. Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante. **Agronomic Crop Journal**, v.29, n.4, p.437-447, 2020.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n.20, p.10-12, 2003.
- ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2020.
- ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v.30, n.1, p.109-115, 2008.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.337-345, 2004.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.29, p.425-435, 2005.

BÁRBARO, I. M.; CENTURION, M. A. P. C.; MAURO, A. O. D.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; COSTA, M. M. Path analysis and expected response in indirect selection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, p.151-159, 2006.

BASAK, B. B.; BISWAS, D. R. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. **Plant Soil**, v.317, p.235-255, 2009.

BATISTA, N. T. F.; RAGAGNIN, V. A.; HACK, E.; GÖRGEN, A. L.; MARTINS, E. S. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 03, Pelotas, 2017. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017, p.241-247.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. v.1, cap.6, p.61-77.

BERNARDI, A. C. C.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G.; BOTREL, N.; OIANO-NETO, J.; MONTE, M. B. M.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.2, p.306-311, 2007.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.133-142, 2007.

BERTOSSI, A. P. A.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; PRADO, A. C. A.; DAMASCENO, C. A.; POLIDORO, J. C. Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. **Geociências**, São Paulo, v.31, n.2, p.185-195, 2012.

BOLDRIN, P. F.; SOUTO, H. F.; SALLES, L. S.; FURTINI NETO, A. E. Alternative sources of potassium for maize cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, p.1-10, 2019.

BORGES, P. H. C.; SILVA, F. J. P. da.; CARVALHO, A. M. X. de. Avaliação da disponibilização de elementos nutrientes do pó de basalto via adubação verde de inverno e de feijão como cultura de verão. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 3, 2017, Pelotas, RS. **Anais**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados, 2017. p.269-274.

BORGES, T. A.; SOUZA, F. N. S.; ALVES, J. M. Utilização de remineralizador de solos no manejo agroecológico do feijão-caupi. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 3, 2017, Pelotas, RS. **Anais**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados, 2017. p.329-335.

BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.7, p.221-278, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. **Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 2013.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura**. Diário Oficial da União, Brasília, 2016.

CAETANO, J. H. S.; ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P.; ROSSET, J. S.; MOTIN, M. C. **Produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura**. In: Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 12, 2018, Xanxerê, SC. Anais. Chapecó, SC: Argos, 2018.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, SP. Informações agronômicas nº 141, 2013.

CALONEGO, L. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, E. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.26, n.1, p.11-16, 2005.

CARVALHO, A. M. X. de. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação de emgroecossistemas sob manejo agroecológico**. 2012. 166p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Mg, 2012.

CARVALHO, A. M. X. de. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. In: SILVA, J. C. da.; SILVA, A. A. S.; ASSIS, R. T. de. **Sustentabilidade e inovações no campo**. Uberlândia: Composer, 2013. p.117-132.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 2000.

CHAVES, A. P. Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da.; CASTILHOS, Z. C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, 2010. cap.3, p.45-60.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G. dos.; SILVA, E. F. da.; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. v.1, cap.1, p.01-11.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, Mossoró, PB, v.7, n.1, p.01-08, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/2020**. Brasília: Conab, v.7, n.12, setembro de 2020. 64p.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **PIB do agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020**. Disponível em: chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea\_CNA\_relatorio\_2020.pdf

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia-preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, SP, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. cap.10, p.95-116.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja** (Circular técnica n.48). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2007.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L. de.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M. de.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.5, n.2, p.19-28, 2015.

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v.8, n.2, p.111-121, 2009.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P. de.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v.7, n.1, p.33-38, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FIXEN, P. E. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. **Better Crops**, v.93, n.3, p.8-11, 2009.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUNECENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca** (Documentos n° 314). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2009.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Koogan, 2004. cap.2, p.40-75).

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

GAMA-RODRIGUES, A. C. da.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da.; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1421-1428, 2007.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Toposequências de Latossolos originados de rochas basálticas no paraná: relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, p.307-319, 2006.

GILLMAN, G. P.; BURKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, v.17, n.8, p.987-1001, 2002.

GLOBALFERT. **Inovação e boas práticas em nutrição vegetal**. 2020. Disponível em: <https://globalfert.com.br/pdf/outlook-globalfert-2020.pdf>

GOLFETTO, P. **Uso do fonolito para reposição do potássio exportado com a colheita de gros e biomassa**. 2016. 42p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, n.2, p.189-202, 2005.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A. da.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SPAGNOLLO, E. Efeito de p de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, MG, v.3, n.2, p. 100-107, 2013.

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

HEIZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de cramb e de nabo-forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.41, n.9, p.1549-1555, 2011.

HINSINGER, P.; BARROS, O. N. F.; BENEDETTI, M. F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: Experimental evidence. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.65, n.1, p.137-152, 2001.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v.5, n.1, p.26-32, 2006.

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

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos**, Viçosa, MG: SBCS, 2009. cap.5, p.333-379. (a).

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos**, Viçosa MG: SBCS, 2009. cap.9, p.573-610. (b).

KNAPIK, J. C.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e pó de basalto. **Floresta**, Curitiba, PR, v.37, n.2, p.257-264, 2007.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2.ed. Cascavel: EDUNIOESTE, 2016.

LANDEWEERT, R.; HOFFLAND, E.; FINLAY, R. D.; KUYPER, T. W.; BREEMEN, N. V. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends in Ecology & Evolution**, v.16, n.5, p.248-254, 2001.

LAVORATO, M. P.; BRAGA, M. J. Custos de produção da soja no sistema convencional e no de precisão em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.26, n.3, 30p, 2017.

LI, J.; ZHANG, W.; LI, S.; LI, X.; LU, J. Effects of citrate on the dissolution and transformation of biotite, analyzed by chemical and atomic force microscopy. **Applied Geochemistry**, v.51, p.101-108, 2014.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap.1, p.01-61.

LOPES-ASSAD, M. L.; AVANSINI, S. H.; ROSA, M. M.; CARVALHO, J. R. P. de.; CECCATO-ANTONINI, S. R. The solubilization of potassium-bearing rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. **Canadian Journal of Microbiology**, v.56, p.598-605, 2010.

LOSS, A.; FERREIRA, L. B.; GONZATTO, R.; GIUMBELLI, L. D.; MAFRA, A. L.; GOEDEL, A.; KURTZ, C. Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, PR, v.6, n.3, p.16587-16606, 2020.

MANNING, D. A. C.; BAPTISTA, J.; LIMON, M. S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of the Total Environment**, v.574, n.1, p.476-481, 2017.

MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R. Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua relação com a paisagem no oeste do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v.39, p.48-61, 2020.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. **Rochagem**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 01, Planaltina-DF, 2010. Anais. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2010, 321p.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, 2010. cap 5, p.89-104.

MARTINS, V.; SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; LEITE, M. C. A.; MARTINS, E. S.; GONÇALVES, A. S. F.; GUILHERME, L. R. G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.194-204, 2015.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M.; PINTO, L. F. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo: Parte I - Conceitos Básicos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. cap.4.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, v.42, n.4, p.471-476, 2012.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, PR, v.4, p.435-454, 2015.

MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; ROSA, L.; OLIVEIRA, Z. B. de.; OLIVEIRA, M. B. de. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v.18, n.2, p.230-239, 2019.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.31, p.167-175, 2007.

MULLER, R.; TONINI, V.; DALACORTE, L.; KORCHAGIN, J.; ABREU, C. T.; BORTOLUZZI, E. C. Produtividade de trigo em função de doses de pó-de-basalto hidrotermalizado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal, RN. **Anais**. Brasília, DF: SBCS, 2015.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

NEUMANN, G.; ROMHELD, V. Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral Nutrition of Higher Plants**, 3.ed. Academic Press, 2012.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.32, p.237-247, 2008.

NUNES, J. M. G. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem**. 2012. 94p. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração) – Centro Universitário La Salle, Canoas, RS, 2012.

OSTERROHT, M. V. Rochagem para quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, SP, n.20, p.12-15, 2003.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L. de.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.9, p.1228-1236, 2013.

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

PAULA, A. L. de. **Argila dispersa em água em Latossolos após longo tempo de plantio direto**. 2017. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2017.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2.ed. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.82-83, 2019.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.3, p.911-920, 2008.

PEREIRA, A. C.; BECHELENI, E. M. A.; GOMES, M. R. S.; ROCHA, S. D. F. Fluoride aided potassium extraction from Verdete rock by thermal processing with ferrous sulfate heptahydrate. **Brazilian Applied Science Review**, v.3, n.2, p. 1373-1384, 2019.

PESSOTTO, P. P.; SILVA, V. R. da.; ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; STROJAKI, T.; SANTI, A. L. Influência de diferentes plantas de cobertura nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho. **Revista Agrarian**, Dourados, MS, v.9, n.34, p.348-356, 2016.

PIRES, C. A. B.; SILVA, V. R. da.; BERTOLLO, A. M.; KOPPE, E.; CANCIAN, L. C.; LUZ, F. B. da. Influência da aplicação superficial de calcário e gesso agrícola nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis, SC: Epagri, 2013.

PIZA, P. A. T.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A. A. S. da.; SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. da. Verdete da região de Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. **Geociências**, v.30, n.3, p.345-356, 2011.

RATKE, R. F.; ANDRADE, T. G.; ROCHA, S. G. da.; SOUZA, A. de.; DAI, P. V. S.; SILVA-FILHO, E. C. da.; BERTOLINO, S. C.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA, A. M. de.; AGUILERA, J. G. Pós de rochas regionais como fonte de fósforo e potássio para plantas. **Research, Society and Development**, v.9, n.7, p.1-22, 2020.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, 2003.

RESENDE, A. V. de.; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T. do.; SENA, M. C. de.; SILVA, L. C. R.; LINHARES, N. W. **Rochas moídas como fontes de**

**potássio para o milho em solo de cerrado.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 162. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 20p.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R. dos.; SOUZA, L. F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.3, p.891-897, 2010.

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.** 2018. 107p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2018.

RINALDI, L. C. B.; MACHADO, R. V.; CAZOTTI, M. M.; ANDRADE, F. V. Liberação de potássio em resíduos de rochas ornamentais por ácidos orgânicos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis, SC: Epagri, 2013.

ROCHA NETO, A. R. da. **Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho distroférico por ação de poáceas cultivadas como plantas de cobertura.** 2020. 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, SP, 2020.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; OLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.2, p.355-362, 2003.

SANDIM, A. S.; BÜLL, L. T.; FURIM, A. R.; LIMA, G. S.; GARCIA, J. L. N. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.38, n.4, p.1215-1222, 2014.

SANTANA, J. da. S. **Formas de potássio e poder tampão potássico em solos com diferentes teores de argila.** 2012. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, F. S.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; SECCO, D.; DIAS, P. P.; TOMASSONI, F.; PEREIRA, N. A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. **Acta Iguazu**, Cascavel, PR, v.3, n.3, p.82-91, 2014.

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, PR, v.14, n.1, p.18-24, 2015.

SILVA, J. F. da.; SOARES NETO, J. P.; GOMES, J. C. M.; LIMA, W. A.; SILVA, L. C. A.; CONCEIÇÃO, H. Avaliação da flogopitito como fonte alternativa de potássio na cultura do feijão em Latossolo do cerrado baiano. **Espaço e Geografia**, v.9, n.2, p.293-310, 2006.

SILVA, A. C. da; LIMA, E. P. C. de; BATISTA, H. R. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação.** In: Encontro de Economia Catarinense, 5, Florianópolis, 2011. Anais. Florianópolis: Associação de Pesquisadores em Economia Catarinense (APEC), 2011.

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

SILVA, M. P. da.; ARF, O.; SÁ, M. E. de.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. de. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.12, n.1, p.60-67, 2017.

SILVA, V. J. A.; ALMEIDA JUNIOR, J. J.; MATOS, F. S. A.; SMILJANIC, K. B. A.; FERREIRA, M. C.; MIRANDA, B. C. Avaliação dos caracteres agronômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de rocha. In: Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar, 2, 2019, Mineiros, GO. **Anais**. Mineiros, GO: UNIFIMES, 2019.

SILVEIRA, A. P. D. da.; FREITAS, S. dos. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** São Paulo, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 2007.

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

SILVEROL, A. C.; MACHADO FILHO, L. Aproveitamento de rejeitos de mineração e mantos de alteração de rocha para fertilização de solos através da técnica de rochagem. **Geografares**, n.5, 2006.

SOUZA, D. M. G. de.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do cerrado.** Encarte do Informações Agrônomicas nº 102. 2003.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.1, p.133-139, 2003.

SOUZA, M. D. B. de.; FONTANETTI, A.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n.1, p.1-7, 2017.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor.** 2000. 225p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v.5, n.6, p.1390-1407, 2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

TOSCANI, R.; CAMPOS, J. E. C. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, São Paulo, v.36, n.2, p.259-274, 2017.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, n.4, p.731-747, 2006.

VAN STRAATEN, P. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap.13, p.235-264.

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T. de.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS, J. S. de. Contribution of non-exchangeable potassium forms and its accumulation in corn plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.20, n.1, p.9-15, 2016.

WANG, H. Y.; SHEN, Q. H.; ZHOU, J. M. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. **Plant Soil**, v.343, p.209-220, 2011.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F. dos.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v.15, n.2, p.134-143, 2016.