

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

LUANE LAÍSE OLIVEIRA RIBEIRO

**EFEITO DO PÓ DE ROCHA DE BASALTO, CAMA DE FRANGO E ESTERCO
BOVINO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, TEORES DE NUTRIENTES
FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2023

LUANE LAÍSE OLIVEIRA RIBEIRO

EFEITO DO PÓ DE ROCHA DE BASALTO, CAMA DE FRANGO E ESTERCO BOVINO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Edleusa Pereira Seidel

Coorientadores: Prof^o. Dr^o. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Prof. Dr^o. Marcos Cesar Mottin

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2023

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

Ribeiro, Luane Laíse Oliveira

EFEITO DO PÓ DE ROCHA DE BASALTO, CAMA DE FRANGO E ESTERCO BOVINO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA / Luane Laíse Oliveira Ribeiro; orientadora Edleusa Pereira Seidel; coorientadora Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Marcos Cesar Mottin . -- Marechal Cândido Rondon, 2023.

81 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Adubação. 2. Bioinsumos. 3. Rendimento de grãos. 4. Rochagem. I. Seidel, Edleusa Pereira , orient. II. , Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Marcos Cesar Mottin, coorient. 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.



LUANE LAÍSE OLIVEIRA RIBEIRO

Efeito do pó de rocha de basalto, cama de frango e esterco bovino nos atributos químicos do solo, teores de nutrientes foliares e produtividade da soja e milho segunda safra

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:


Orientadora - Edlusa Pereira Seidel

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


Maria do Carmo Lana

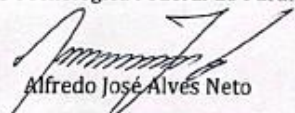
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


Tatiane Ohland

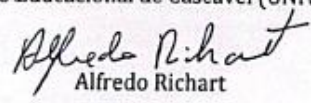
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Laercio Ricardo Sartor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)


Alfredo José Alves Neto

União Educacional de Cascavel (UNIVEL)


Alfredo Richart

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC)

Marechal Cândido Rondon, 24 de maio de 2023



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.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – Mestrado e Doutorado
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO VEGETAL
LINHA DE PESQUISA: SISTEMAS DE PRODUÇÃO VEGETAL SUSTENTÁVEIS

DECLARAÇÃO DE PARTICIPAÇÃO À DISTÂNCIA EM BANCA EXAMINADORA DE
TESE DE DOUTORADO NA
UNIOESTE – CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

Às 14 horas do dia 24/05/2023, participei de forma remota e síncrona com os demais membros que assinam a ata física deste ato público, da Banca Examinadora de Tese de **LUANE LAÍSE OLIVEIRA RIBEIRO**, discente de Doutorado deste Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Marechal Cândido Rondon, referente ao trabalho intitulado “Efeito do pó de rocha de basalto, cama de frango e esterco bovino nos atributos químicos do solo, teores de nutrientes foliares e produtividade da soja e milho segunda safra”.

Considerando o trabalho avaliado, as arguições de todos os membros da banca e as respostas dadas pela candidata, formalizo para fins de registro, por meio deste documento, minha decisão de que a candidata pode ser considerada: **APROVADA**.

Atenciosamente,

 Documento assinado digitalmente
LAERCIO RICARDO SARTOR
Data: 01/06/2023 13:42:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Laercio Ricardo Sartor

CPF nº 045.946.569-43

laerciosartor@utfpr.edu.br

Doutorado em Agronomia (2012) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus de Dois Vizinhos

À Deus pela vida, aos meus queridos e amados pais Eliana Oliveira e Lourival Ribeiro, irmã Celiane Oliveira e sobrinha Sofia, a minha família, por todo apoio e incentivo.

Ao meu parceiro de vida Wilson Fonseca, pelo amor e companheirismo, por sempre estar ao meu lado e apoiar minhas escolhas.

Aos amigos que estiveram comigo até aqui e a todos que torcem pelo meu sucesso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder sabedoria, força e coragem para trilhar a jornada da vida. Por estar ao meu lado em todos os momentos desta trajetória, principalmente os mais difíceis, me dando ânimo e força para que eu não desistisse de lutar e chegasse até aqui.

Aos meus pais, Eliana Oliveira, Lourival Ribeiro e irmã Celiane Oliveira, agradeço por todo apoio e incentivo e por sempre terem acreditado no meu potencial, por serem exemplos de luta e superação, em especial a minha maninha, por ser minha referência quanto pessoa e profissional e por ter me feito tia da princesa Sofia durante a caminhada da pós-graduação, que apesar dos momentos de ausência, sempre esteve em meus pensamentos e orações. À minha família, fonte inesgotável de amor e felicidade, pelos conselhos e incentivos prestados.

Ao meu companheiro de vida Wilson Fonseca, por sempre estar comigo em todos os momentos, apoiando e incentivando. Obrigada pela compreensão nos momentos em que estive distante por conta dos compromissos da pós-graduação, por fazer com que os meus dias ficassem mais alegres e leves quando tudo parecia ser difícil e doloroso; sem dúvida, você foi e é essencial em minha vida. Que Deus continue abençoando nossa união e que possamos somar forças para conseguirmos tudo que almejamos.

Aos amigos (as) encontrados ao longo da caminhada e que sempre torceram pelo meu sucesso pessoal e profissional, em especial Leidiane Lima, Taiara Reis, as amigas do C1, do IFPA e da república Casa Familiar na qual compartilhamos muitos momentos e até hoje emanamos energias positivas umas para as outras. Destaco com agradecimento especial a minha amiga irmã Letícia Cunha por todo apoio e incentivo e por ter compartilhado comigo o seu grande sonho que era fazer pós-graduação e que acabou se tornando também o meu, por termos sonhado e conseguido juntas esse feito, somos mais que vencedoras. Assim como aos amigos que a cidade de Rondon me presenteou, sou muito grata por todos.

A minha querida orientadora Edleusa Pereira Seidel, pela confiança a mim depositada e pela excelência na orientação. Grande exemplo de profissional, dedicação e amor pelo que faz, sendo uma das minhas inspirações para continuar seguindo com êxito a área de solos e contribuir para o avanço da Ciência do Solo, sempre em busca de uma agricultura cada vez mais sustentável. Aos meus coorientadores prof. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Marcos Cesar Mottin por todo incentivo e ajuda prestados ao longo de toda pós-graduação, tendo minha admiração pela pessoa e profissional que são.

A todos os professores e colaboradores da Unioeste que tive a honra de conviver e apreender ainda mais, em especial a prof. Maria do Carmo Lana, Jucenei Frandoloso, pelos conhecimentos transmitidos e pelo auxílio na realização das análises no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas. Assim como também o prof. Edmar Vasconcelos pelo auxílio na condução dos dados experimentais, Emerson Fey, Vanda Pietrowski, por toda ajuda e contribuições durante a caminhada.

A família do Pará, Nordeste e Paraná que construí aqui, foram muitos encontros de partilha e descontração, essenciais para criação de laços de amizade e gratidão.

A Itaipu Binacional pela parceria, fomento e auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná (CVT-UNIOESTE), pelo apoio na realização e condução do experimento.

Aos integrantes do grupo de Estudo em Solos e Agroecologia-GESA pela ajuda excepcional na realização da pesquisa.

A direção e colaboradores do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, pelo apoio na execução do experimento.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do Doutorado. A secretária do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, atenção e auxílio.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!!!

“O solo nos ensinou...

Que a visão e as atitudes de longo prazo tornam a terra mais duradoura, produtiva e estruturada, além de gerar riquezas.

O homem nos ensinou...

Que, por meio dos relacionamentos, aprendemos e ampliamos nossos horizontes e conhecimentos ao longo do tempo.

A vida nos ensinou...

Que pessoas e organizações com visão de longo prazo tornam-se mais produtivas e integrada de forma durável.”

(FRANKE DIJKSTRA)

RESUMO

RIBEIRO, L. L. O. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Maio de 2023. **Efeito do pó de rocha de basalto, cama de frango e esterco bovino nos atributos químicos do solo, teores de nutrientes foliares e produtividade da soja e milho segunda safra.** Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Edleusa Pereira Seidel. Coorientadores: Prof^º. Dr^º Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Prof^º. Dr^º. Marcos Cesar Mottin.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de pó rocha de basalto associadas a cama de frango e esterco bovino sobre os atributos químicos do solo, teores de nutriente na folha e produtividade da soja e milho segunda safra, tendo como referência a adubação a adubação química solúvel (NPK). O experimento foi conduzido em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial (5x2) + 1, com quatro repetições. Foi utilizado cinco doses de pó de rocha de basalto (0, 4, 8, 12 e 16 t ha⁻¹) associadas a duas fontes de resíduos de origem animal: esterco bovino e cama de frango (5 t ha⁻¹). No tratamento adicional, foi usado adubação química solúvel com 300 kg ha⁻¹ do formulado comercial 02-20-18 (NPK) para soja e 285 kg ha⁻¹ (12-24-12 NPK) para o milho segunda safra. Avaliou-se os teores de nutrientes foliares: N, P, K, Ca e Mg; os atributos químicos do solo: acidez (pH, H+Al), Carbono Orgânico (CO), Bases trocáveis (Ca, Mg e K), Capacidade de troca catiônica (CTC) e Fósforo disponível (P) nas camadas de 0,00 – 0,05 m; 0,05– 0,10 m e 0,10 – 0,20 m; além da produtividade de soja e do milho segunda safra. As doses de basalto em associação a cama de frango e esterco bovino proporcionaram resultados positivos nos teores de nutrientes foliares da soja e milho segunda safra assim como nos atributos químicos do solo, apresentado teores dentro da faixa recomendada para um bom crescimento e desenvolvimento das culturas. A produtividade da soja cultivada com o basalto e a cama de frango foi em média de 3.462,8 kg ha⁻¹ e com o esterco bovino foi de 3.439,2 kg ha⁻¹. No milho segunda safra, a maior produtividade foi verificada na dose de basalto de 3,7 t ha⁻¹ com a cama de frango (5.154,7 kg ha⁻¹) e na dose de 3,1 t ha⁻¹ com o esterco bovino (5.207,7 kg ha⁻¹). A pesquisa experimental demonstrou que os resultados das características avaliadas sob o efeito das doses de basalto, cama de frango e esterco bovino foram iguais as constatadas quando se utilizou a adubação química solúvel (NPK). Diante disto, o pó de rocha de basalto associado aos resíduos orgânicos de origem animal pode ser recomendado e utilizado para melhoria dos atributos químicos do solo e como fonte alternativa e complementar de adubação para as culturas, contribuindo para maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas de produção.

Palavras-chave: Adubação. Bioinsumos. Rendimento de grãos. Rochagem. Sustentabilidade.

ABSTRACT

RIBEIRO, L. L. O. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. May 2023. **Effect of basalt rock dust, poultry litter and cattle manure on soil chemical attributes, foliar nutrient content and productivity of soybean and corn second crop.** Advisor: Teacher. Dr^a. Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisor: Teacher. Dr^a. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Prof. Dr^o. Marcos Cesar Mottin.

The objective of this work was to evaluate the effect of doses of basalt rock powder associated with poultry litter and cattle manure on soil chemical attributes, leaf nutrient content and productivity of soybean and corn second crop, with reference to fertilization soluble chemical fertilizer (NPK). The experiment was conducted in randomized blocks (DBC), in a factorial arrangement $(5 \times 2) + 1$, with four replications. Five doses of basalt rock dust (0, 4, 8, 12 and 16 t ha⁻¹) associated with two sources of animal waste were used: bovine manure and poultry litter (5 t ha⁻¹). In the additional treatment, soluble chemical fertilizer was used with 300 kg ha⁻¹ of commercial formula 02-20-18 (NPK) for soybean and 285 kg ha⁻¹ (12-24-12 NPK) for corn second crop. The contents of foliar nutrients were evaluated: N, P, K, Ca and Mg; Soil chemical attributes: acidity (pH, H+Al), Organic Carbon (CO), Exchangeable Bases (Ca, Mg and K), Cation Exchange Capacity (CEC) and Available Phosphorus (P) in layers of 0.00 – 0.05 m; 0.05– 0.10 m and 0.10 – 0.20 m; in addition to soybean and second-crop corn productivity. The doses of basalt in association with poultry litter and cattle manure provided positive results in the levels of foliar nutrients in soybeans and second-crop corn, as well as in the chemical attributes of the soil, presenting levels within the recommended range for good growth and development of crops. The productivity of soybean cultivated with basalt and chicken litter was on average 3,462.8 kg ha⁻¹ and with cattle manure it was 3,439.2 kg ha⁻¹. In corn second crop, the highest productivity was verified at the basalt dose of 3.7 t ha⁻¹ with chicken litter (5,154.7 kg ha⁻¹) and at the dose of 3.1 t ha⁻¹ with manure cattle (5,207.7 kg ha⁻¹). The experimental research demonstrated that the results of the evaluated characteristics under the effect of basalt, chicken litter and bovine manure doses were the same as those observed when soluble chemical fertilization (NPK) was used. In view of this, basalt rock dust associated with organic residues of animal origin can be recommended and used to improve the chemical attributes of the soil and as an alternative and complementary source of fertilizer for crops, contributing to greater sustainability of agricultural production systems.

Keywords: Fertilizing. Bioinputs. Grain yield. Rocking. Sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	12
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	14
2.3 CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO PÓ DE ROCHA DE BASALTO E RESÍDUOS ANIMAIS.....	14
2.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E PARÂMETROS AVALIADOS.....	17
2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1 SOJA.....	20
3.1.2 Atributos Químicos do Solo.....	20
3.1.3 Teores de Nutrientes Foliareos	33
3.1.4 Produtividade da Soja.....	37
3.2 MILHO SEGUNDA SAFRA	41
3.2.1 Atributos Químicos do Solo	41
3.2.2 Teores de Nutrientes Foliareos	54
3.2.3 Produtividade do Milho Segunda Safra.....	60
4 CONCLUSÕES	65
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das oleaginosas cultivadas mais importantes no mundo. Entre as commodities agrícolas do Brasil, é uma das principais, sendo a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas e equivale a 49% da área plantada em grãos do país (MARCON et al., 2017).

O milho apresenta grande importância econômica e social. Sua utilização é ampla, abrangendo seu emprego como alimento, assim como para uso industrial e energético, e seu destino é principalmente a produção de rações para uso animal (ESALQ, 2015). O estado do Paraná é o segundo maior produtor desta commodity e nos últimos anos a cultura apresentou uma excelente rentabilidade, tornando-se o principal cultivo de segunda safra (IBGE, 2022). O cultivo do milho é tradicionalmente praticado na safrinha de outono-inverno na região Oeste do Paraná, sendo semeado em sucessão à soja cultivada no verão (RICHETTI et al., 2015).

A expansão do cultivo e produtividade de soja e milho segunda safra está associado aos avanços tecnológicos na produção, destacando-se o manejo e adubação do solo, o que proporciona um aumento no potencial de produção agrícola do país (PEIXOTO et al., 2018).

A adubação das culturas é uma prática importante no fornecimento de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (BEDIN et al., 2022). No Brasil, a forma de fertilização mais usual na agricultura é por meio de fontes industrializadas de nutrientes que são basicamente fertilizantes solúveis como o NPK (mistura de diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio), além de outros micronutrientes específicos para cada tipo de solo e cultura (TOSCANI; CAMPOS, 2017).

O Brasil é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição; atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. Importa 85 % dos fertilizantes que utiliza na agricultura, sendo as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar responsáveis por mais de 70% do consumo destes fertilizantes (BRASIL, 2021). O país importa cerca de 95% do N, 75% do P e 95% do K; sendo que 23% deste total é fornecido pela Rússia (ANDA, 2022).

Essa realidade evidencia um elevado nível de dependência externa e deixa a economia brasileira vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizantes (BRASIL, 2021). Aliado a isso, os conflitos entre Rússia e Ucrânia agravaram a situação, pois em função das oscilações de preço e oferta houve alta nos valores dos fertilizantes o que impactou diretamente o aumento nos custos de produção.

Os fertilizantes fazem parte dos insumos com maior custo na produção agrícola de grãos (mais de 40%) e o aproveitamento destes pelas plantas é baixo em muitos solos. A eficiência em médios dos nutrientes aplicados ao solo tem sido entre 40 a 50% para o nitrogênio, 20 a 30% para fósforo e de 50 a 70% para o potássio (CUNHA, 2014). Essa menor eficiência é devido às perdas significativas de nutrientes por lixiviação, escoamento, emissão na forma de gases e adsorção pelos colóides do solo em formas pouco disponíveis às plantas. Estas perdas podem potencialmente contribuir para a degradação do solo, qualidade da água e, eventualmente, levar à degradação ambiental (RIBEIRO, 2018). Desta maneira, outras técnicas de adubação devem ser avaliadas e utilizadas nas culturas (TOSCANI; CAMPOS, 2017).

Diante deste cenário agrícola, a pesquisa vem avançando no sentido de propor fontes alternativas de fertilizantes, através do uso de remineralizadores/pó de rocha que são rochas moídas que dispõem de minerais capazes de fornecer nutrientes as plantas, atendendo suas necessidades (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022).

O uso de pó de rocha na agricultura (remineralizador/técnica conhecida como rochagem) é uma estratégia antiga, inicialmente destacada por autores europeus, e como precursor na literatura tem-se o livro “Pães de Pedra” produzido em 1898 por Julius Hensel, em Leipzig na Alemanha, que retrata sobre a potencialidade da fertilização dos solos com que denominavam de “farinha de rochas”, convertendo “pedras em alimento” (HENSEL, 1898).

No Brasil para que um resíduo possa ser comercializado como remineralizador e ser usado como insumo na agricultura, deve estar enquadrado na Lei Nº 12.890 de 2013 e sua produção, registro e comercialização está fundamentada na Instrução Normativa Nº 05 de 2016, a qual estipula as garantias mínimas da concentração de nutrientes no remineralizador, além das características necessárias para que haja eficiência em seu uso (SUSTAKOWSKI, 2021).

A Lei nº 12.980 define como remineralizador, o material de origem mineral que tenha 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). A Instrução Normativa nº 5 do MAPA (2017) estabelece que os remineralizadores devem apresentar teor de óxido de potássio (K_2O) igual ou superior a 1%; soma de bases (CaO , MgO , K_2O) igual ou superior a 9%; além de algumas restrições como teor de SiO_2 livre de até 25% e apresentar quantidades máximas permitidas de contaminantes (BRASIL, 2016).

A tecnologia da aplicação de pó de rocha (rochagem) pode se configurar como uma excelente alternativa para ser utilizado na agricultura, uma vez que o Brasil apresenta uma

enorme geodiversidade e, portanto, pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas, em diferentes regiões, podendo assim, alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades das culturas e ainda facilitar mecanismos de desenvolvimento, dentro de perspectivas mais sustentáveis (THEODORO, 2000). Souza et al. (2013) adverte que a utilização do pó de rocha deve ocorrer no sentido de priorizar aqueles materiais que são encontrados na região e sejam de fácil acesso pelos agricultores.

Theodoro et al. (2021) afirmam que o uso de basaltos moídos favorece o aumento da fertilidade dos solos, o que resultará em produção mais segura do ponto de vista ambiental e nutricional, além de ser um mecanismo mais acessível para um maior número de produtores, que terão acesso a fontes de materiais nacionais e, possivelmente, com menor custo.

Há uma grande variedade de rochas que podem ser utilizadas como remineralizadores 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 basalto (BORGES et al., 2017; ALOVISI et al., 2020). O basalto é uma rocha silicatada que apresenta uma ampla distribuição nas regiões sul e sudeste do Brasil. Possui um bom potencial de uso agrícola devido a sua rica composição química, sendo constituído principalmente por minerais aluminossilicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios, pouco resistentes ao intemperismo químico e importantes fontes de Ca, Mg além de outros nutrientes. Rochas com esta composição possuem quantidades variáveis de nutrientes que podem se apresentar com maior ou menor facilidade de solubilização, contribuindo assim com o efeito residual por um longo período (FERREIRA et al., 2009; THEODORO et al., 2010).

Trata-se, portanto, de uma estratégia de aproveitamento de um material localmente abundante e de baixo custo, proveniente de minas existentes na região. A rochagem também proporciona o aproveitamento de rejeitos de pedreiras e mineradoras. Em alguns casos pode atingir 60% do produto extraído, tornando seu destino menos impactante ao meio ambiente (COLA; SIMÃO, 2012). Mostrando-se também, como uma técnica capaz de atender as necessidades da agricultura agroecológica que contém restrições ao uso de fertilizantes solúveis (CARVALHO, 2013).

O pó de rocha uma vez no solo, sofre ação do intemperismo que proporciona a liberação gradativa de minerais que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas. O processo para tornar os nutrientes contidos nas rochas disponíveis para as culturas é complexo e depende principalmente da composição química e mineralógica da rocha, sua granulometria, tempo de reação e condições do solo (atividade biológica entre outros.) (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022). Da somatória desses é que se consegue ter uma resposta a curto, médio e longo prazo, e

daí, a necessidade de se avaliar em um período maior para mensurar e quantificar esses efeitos em mais de uma cultura (AGUILERA et al., 2020).

Um das alternativas para aumentar a solubilização do basalto moído (e como consequência promover a liberação mais acelerada dos nutrientes) é a sua associação com materiais que apresentem grande atividade biológica, tais como os resíduos de origem animal. Estes podem aumentar a velocidade de solubilização dos minerais e favorecer a liberação dos nutrientes que estão associados à composição da rocha (SILVA et al., 2012). Segundo Camargo (2010) a aplicação de adubos orgânicos no solo eleva a ação microbiana e facilita a absorção dos nutrientes pelas plantas, além de melhorar as propriedades edáficas. Dentre os resíduos orgânicos com grande potencial de uso associado ao pó de basalto destacam-se a cama de frango e o esterco bovino.

O Brasil se destaca na produção de aves e bovinos, evidenciando dessa forma, o potencial para reciclagem dos nutrientes presentes nos resíduos originados nessas atividades (SILVA, 2018). A cama de aviário ou cama de frango geralmente é constituída de maravalha que é depositada sobre o piso do aviário e recebe dejetos, penas, resíduos de ração e outros materiais que se acumulam durante todo o período de permanência dos pintainhos sobre estas; e os esterco são excremento de dejetos oriundos da produção pecuária (GUIMARÃES, 2015).

Ambos os resíduos são ricos em matéria orgânica, nutrientes e apresentam grande diversidade biológica que pode atuar diretamente sobre o pó de rocha e favorecer a dissolução de seus nutrientes, além de também serem fonte para fertilização e melhoria da qualidade dos solos. Contudo, são raros os trabalhos que utilizam o pó de rocha de basalto em associação a cama de frango e esterco bovino no cultivo de grãos e as pesquisas precisam ser intensificadas neste sentido.

A partir do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e apoio da Itaipu binacional; teve como hipótese que o uso de pó de rocha de basalto associado a resíduos animais (cama de frango e esterco bovino) promove alterações e melhorias nos atributos químicos do solo, nos teores de nutrientes foliares refletindo na produtividade da soja e do milho segunda safra, sendo os resultados equivalentes e/ou superiores aos obtidos pela adubação química solúvel (NPK). Uma vez confirmada essa hipótese, o mesmo poderá ser indicado como insumo, contribuindo para a maior sustentabilidade dos sistemas de produção. Para avaliar a hipótese, foram desenvolvidos dois cultivos.

O primeiro cultivo foi realizado com a cultura da soja e o segundo com o milho segunda safra e teve como objetivo avaliar o efeito de doses de pó de rocha de basalto associada a cama de frango e esterco bovino sobre os atributos químicos do solo, teores de nutrientes na folha e produtividade da soja e milho segunda safra, tendo como referência a adubação química solúvel (NPK).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O cultivo da soja foi realizado no ano agrícola de 2020/2021 e o do milho safrinha em 2022 na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando situada no município de Entre Rios do Oeste-PR, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus Marechal Cândido Rondon-PR* (UNIOESTE/MCR). As coordenadas geográficas são 24°40'32,66" de latitude Sul e 54°16'50,46" de longitude Oeste, a 244 metros de altitude.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura muito argilosa, com relevo suave ondulado (SANTOS et al., 2018). Para fins de caracterização química e granulométrica da área, foram coletadas amostras nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m e seus resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m antes da implantação do experimento.

Profundidades	P	CO	pH	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺²
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
0,00-0,10	40,18	17,50	5,40	4,61	0,00	1,54	6,46	1,99
0,10-0,20	8,89	10,75	5,20	4,61	0,00	0,80	5,34	1,61
Profundidades	Cu	Fe	Mn	Zn	SB	CTC	V	
m	-----mg dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----		%	
0,00-0,10	7,40	30,00	68,10	4,60	9,99	14,60	68,42	
0,10-0,20	8,70	30,9	46,50	2,70	7,75	12,36	62,7	
Profundidades	Argila			Silte			Areia	
m	-----g kg ⁻¹ -----							
0,00-0,10	723,60			164,24			112,16	
0,10-0,20	690,00			201,70			108,30	

P e K⁺ – Extrator Mehlich⁻¹; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg⁺² – Extrator KCl 1 mol L⁻¹. Granulometria: Densímetro de Bouyoucos.

De acordo com os resultados da análise de solo da área experimental (Tabela 1) é possível verificar que a maior parte dos elementos no solo estão com teores considerados alto e muito alto segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019).

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, temperaturas médias superiores a 22°C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600-1800 milímetros (CAVIGLIONE et al., 2000). Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os dados meteorológicos no período do experimento e as principais práticas agrícolas realizadas durante a condução da soja e milho segunda safra.

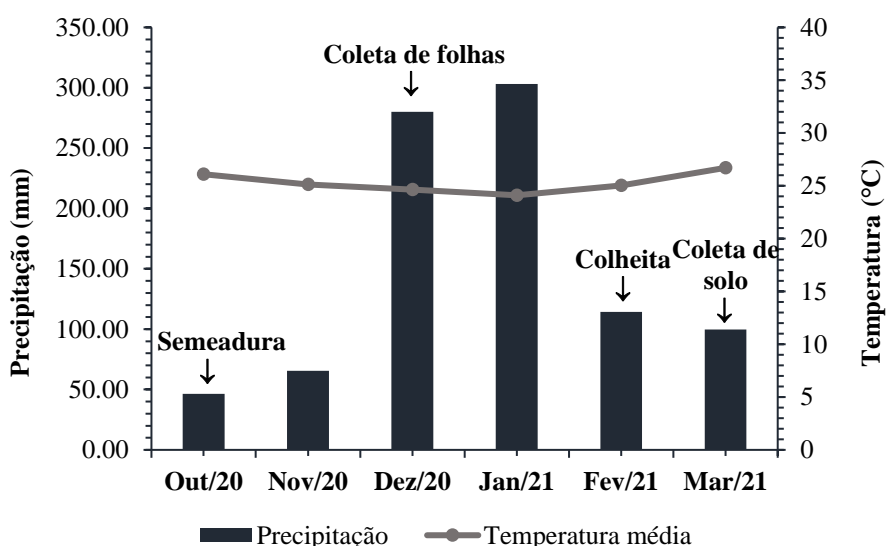


Figura 1 - Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) durante a condução do cultivo da soja (outubro/2020 a março/2021). Fonte: Estação Automática de Marechal Cândido Rondon/PR (2020).

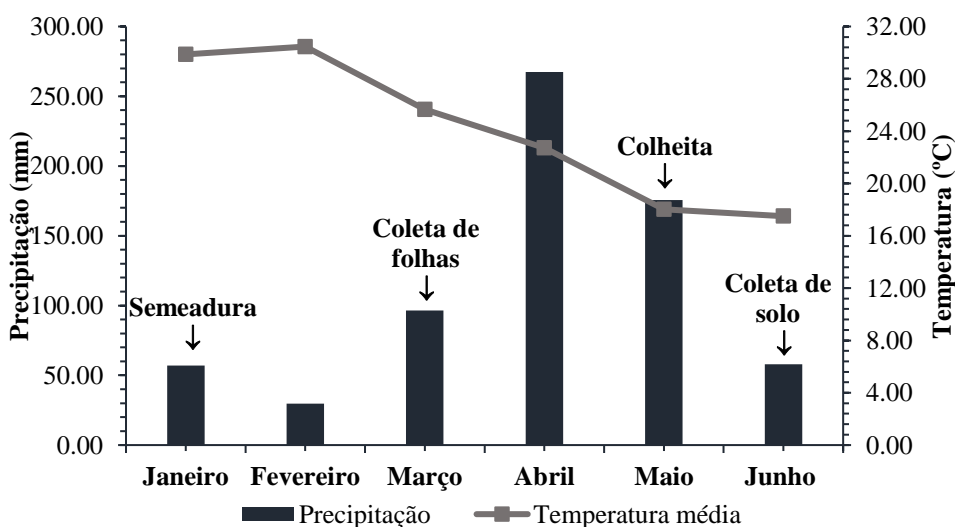


Figura 2 - Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) durante a condução do cultivo do milho segunda safra (janeiro a maio de 2022). Fonte: Estação Automática de Marechal Cândido Rondon/PR (2022).

Anteriormente a instalação do cultivo da soja (20/21), a área era cultivada com soja no verão (safra 19/20) e milho segunda safra no outono-inverno (safra 2020). Antes do cultivo do milho segunda safra (2022), houve tentativas de se cultivar milho segunda safra (2021), trigo (2021) e soja (21/22), porém não se obteve sucesso na condução dos mesmos principalmente pelas condições climáticas adversas constatadas na região no ano de 2021.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso (DBC) em arranjo fatorial (5x2) + 1; com quatro repetições, totalizando 44 parcelas experimentais. Foram utilizadas cinco doses de pó de rocha de basalto (0, 4, 8, 12 e 16 t ha⁻¹) associadas a duas fontes de origem animal: esterco bovino e cama de frango (5 t ha⁻¹) aplicadas antes da semeadura da soja e do milho segunda safra. O tratamento adicional consistiu na utilização de adubação química solúvel onde foram usados no sulco de semeadura da soja 300 kg ha⁻¹ do formulado comercial 02-20-18 (NPK) e no milho segunda safra 285 kg ha⁻¹ do formulado comercial 12-24-12. As parcelas foram constituídas de oito linhas de semeadura e apresentaram área total de 40 m² (5x8 m), com área útil de 28 m².

2.3 CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO PÓ DE ROCHA DE BASALTO E RESÍDUOS ANIMAIS

A cama de frango e o esterco bovino foram escolhidos dada a sua grande abundância na região e facilidade de aquisição bem como seu grande potencial de utilização como material rico em microrganismos e fonte de nutriente. A aquisição da cama de frango foi feita através da compra, sendo a mesma proveniente de 8-10 lotes. O esterco bovino foi adquirido em fazenda de criação de gado de corte confinado. Ambos os resíduos orgânicos animais foram utilizados na forma sólida.

O pó de rocha de basalto utilizado no cultivo da soja foi oriundo da empresa Minerpal/Palotina-PR e o do milho foi adquirido da mineradora Dalmina/Marechal Cândido Rondon-PR. O remineralizador utilizado provém de uma rocha ígnea de origem basáltica, sendo a rocha principal que compõe o Oeste do Paraná.

A fim de identificar a composição química do pó de rocha de basalto utilizado, foi realizada a análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios X no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (LAMIR-UFPR, Curitiba-PR). Os

resultados da composição química do pó de basalto usado no cultivo da soja e do milho segunda estão apresentados abaixo (Tabela 2).

Tabela 2- Composição química total do pó de rocha de basalto utilizado no cultivo da soja e do milho segunda safra.

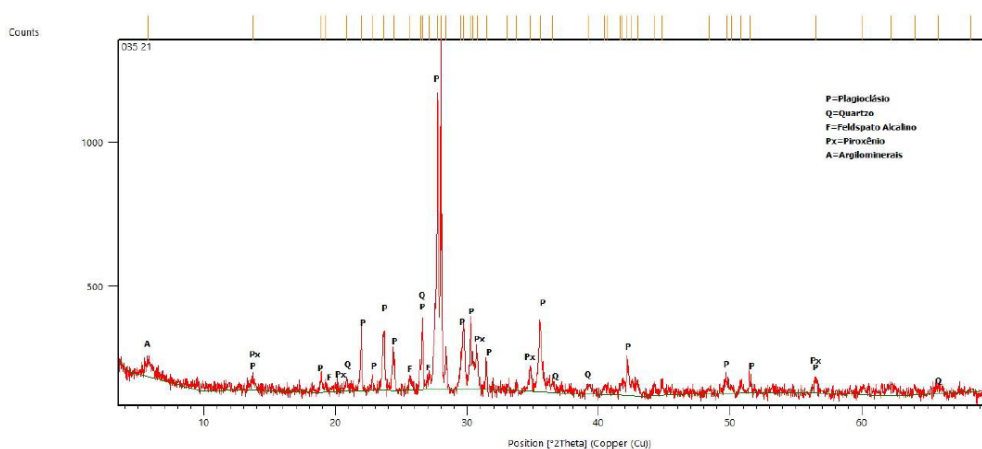
Cultivo da Soja											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	P.F	Soma
%											
51,39	13,3	14,91	8,77	4,4	1,18	2,73	2,01	0,22	0,27	0,90	100,09
Cultivo do Milho Segunda Safra											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	P.F	Soma
%											
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

O pó de basalto apresentou características que estão em conformidade com as especificações exigidas pela Instrução Normativa nº 05 (BRASIL, 2016), onde é estabelecida que a soma de bases totais (CaO+MgO+K₂O) deve ser no mínimo 9%, teor mínimo de K₂O total de 1% e sílica livre (quartzo) de no máximo 25%. O quartzo é o mineral mais comum presente nos remineralizadores e é considerado inerte nos solos agrícolas. O teor total de SiO₂ (51,39 e 51,17%) presente nos remineralizadores é obtida pela análise geoquímica está relacionado a todos os minerais silicáticos presentes, principalmente associado às bases, cálcio, magnésio e potássio, que são reativos e podem ser biointemperizados na escala de tempo agrônômica (ABREFEN, 2023).

Ainda sobre a composição dos remineralizadores, é sabido que a grande maioria são formados por aluminossilicatos. Porém, o alumínio (Al₂O₃) nestes insumos não são biodisponibilizados no processo de interação com o solo por causa do processo incongruente de intemperismo (Krahl et al., 2022). As bases são disponibilizadas mais rapidamente que os outros elementos, junto com parte do silício, sendo que o alumínio e o restante do silício formarão novas fases minerais cristalinas, como é o caso da transformação de biotita em vermiculita, ou de baixa cristalinidade, como é o caso da transformação de silicatos básicos. Ou seja, o alumínio integrará novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial, promovendo benefícios para a melhoria de solos (ABREFEN, 2023; NUNES, 2012). Este fato é extremamente positivo, devido ao alumínio ser tóxico para os vegetais (SUSTAKOWSKI, 2019).

Foi realizado também a análise mineralógica por difratometria de raios X, utilizando Difratômetro PANalytical Empyrean (Figura 3).



Composição Mineralógica:

Legenda	Mineral	Fórmula
P	Plagioclásio (<i>Grupo</i>) ¹	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) - \text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$
Q	Quartzo ¹	SiO_2
F	Feldspato alcalino (<i>Grupo</i>) ¹	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
Px	Clinopiroxênio (<i>Grupo</i>) ¹	$(\text{Ca}_x\text{Mg}_y\text{Fe}_z)(\text{Mg}_{y+1}\text{Fe}_{z+1})\text{Si}_2\text{O}_6$
A	Argilominerais (<i>Provável Grupo da Esmectita</i>) ¹ <i>Confirmar com tratamento</i>	-

¹ Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

Figura 3 - Análise mineral qualitativa do pó de basalto utilizado na pesquisa.

Os minerais mais presentes na constituição do pó de rocha de basalto foram o Plagioclásio (P) e Clinopiroxênio (Px) (Figura 3). Essa composição já era esperada visto que o basalto contém dois tipos de minerais comuns formadores de rochas que são os piroxênio (orto e clinopiroxênio) e um plagioclásio rico em cálcio (bytownita ou anortita), mas também pode apresentar Olivina e Augita (CORNELIS & DUTROW, 2012).

A granulometria do pó de basalto foi determinada com base na Metodologia Oficial de Análise de Corretivos de Acidez, por meio de peneiramento. Para tanto, foram utilizados um conjunto de peneiras onde obteve-se: 100 % das partículas menores que 2,0 mm, 99 % menores que 0,84 mm e 98 % menores que 0,30 mm para o pó de rocha de basalto utilizado no cultivo da soja; e 100 % das partículas menores que 2,0 mm, 80 % menores que 0,84 mm e 50 % menores que 0,3 mm para o pó de rocha de basalto usado no cultivo do milho segunda safra.

Neste sentido, verificou-se que a granulometria do pó de rocha de basalto estava de acordo com as exigências estabelecidas para ser utilizado na agricultura; isto é, com pelo menos 100 % das partículas menores que 2,00 mm, 70% menores que 0,84 mm e 50% das partículas menores que 0,3 mm (BRASIL, 2016).

A cama de frango e o esterco bovino foram analisados conforme Método Analítico Oficial para Fertilizantes Orgânicos e Organominerais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, realizado por SBS Laboratório, Análises Agronômicas e Veterinárias (Cascavel-PR) assim como no laboratório da Unioeste (MCR) e os resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química da cama de frango e esterco bovino utilizados nos cultivos da soja e milho segunda safra.

SOJA							
Cama de Frango							
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CO	Umidade	pH
g kg ⁻¹					%		
42,8	28,6	10,6	33,9	20,5	25,2	25,5	7,2
Esterco bovino							
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CO	Umidade	pH
g kg ⁻¹					%		
34,3	10,5	15,2	17,6	10,5	20,1	16,6	6,5
MILHO SEGUNDA SAFRA							
Cama de Frango							
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CO	Umidade	pH
g kg ⁻¹					%		
24,78	42,45	26,80	110,0	57,0	20,52	26	7,6
Esterco bovino							
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CO	Umidade	pH
g kg ⁻¹					%		
26,80	36,93	32,0	13,0	15,0	12,98	21	6,7

Antecedendo a semeadura da soja e do milho segunda safra, aplicou-se manualmente o pó de rocha de basalto nas doses estudadas e de 5,0 t ha⁻¹ dos resíduos animais sobre a superfície do solo e em área total de cada parcela.

2.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E PARÂMETROS AVALIADOS

A semeadura da soja foi realizada de forma mecânica em outubro de 2020. Foi utilizada a cultivar M 5947 IPRO, com espaçamento de 0,50 m entre linhas sendo distribuídas aproximadamente 15 sementes/metro linear. A cultivar é de hábito de crescimento indeterminado, com ciclo precoce e grupo de maturação 5.9.

A semeadura do milho segunda safra foi realizada em janeiro de 2022. Foi utilizado o híbrido PIONER P3223VYH, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de 3,3

sementes/metro linear. O híbrido é de ciclo super-precoce, com alto potencial produtivo, sanidade foliar e boa qualidade de colmo, raiz e grãos. Além de contar com a tecnologia Leptra, composta por três proteínas inseticidas (Cry1F, Cry1Ab e Vip3Aa20), que auxilia na proteção contra as principais lagartas que atacam a cultura do milho (PIONER, 2021).

Após as sementeiras foram feitos monitoramentos constantes a fim de se realizar os tratamentos culturais necessários das culturas. No cultivo da soja, para controle de plantas espontâneas, foram realizadas capinas manuais. Realizou-se o monitoramento com pano de batida para avaliar a presença de pragas e realizar o controle fitossanitário quando necessário. No milho segunda safra, para o controle de plantas espontâneas utilizou-se o controle químico com o herbicida GESAPRIM® 500 Ciba-Geigy ($4,5 \text{ L ha}^{-1}$) e capinas. Também foi adotado o controle fitossanitário com inseticida Connect ($0,8 \text{ L ha}^{-1}$) com o objetivo de proporcionar melhores condições para o seu desenvolvimento.

A adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho segunda safra foi realizada no estágio vegetativo V4, utilizando-se ureia granulada comum (46% de N) na dose de 110 kg ha^{-1} de N, conforme recomendação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019). A aplicação foi manual e a lanço, no período da manhã, após a ocorrência de precipitação pluviométrica.

A coleta de folhas de soja para as avaliações dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido foliar ocorreram quando as plantas estavam no florescimento (estádio R2), onde retirou-se de forma aleatória em cada parcela trinta folhas, sendo coletado o terceiro trifólio completamente desenvolvido de cima para baixo na haste principal. No milho segunda safra, procedeu-se as coletas quando as plantas estavam no florescimento (estádio R1), retirando-se de forma aleatória em cada parcela, dez folhas abaixo e oposta a primeira espiga, utilizando o terço médio, sem a nervura (SBCS/NEPAR, 2019).

Posteriormente os materiais foram acondicionados em sacos de papel, levados para o Laboratório de Física do Solo (LAFIS) da UNIOESTE/MCR. As folhas foram emergidas em água destilada e levados para estufa de circulação de ar forçada com temperatura de 65° C até atingir massa constante.

As folhas de soja e milho segunda safra após secas, foram trituradas em moinho tipo Willey. Procedeu-se então, as avaliações dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido foliar. Para determinação do P, K, Ca^{+2} e Mg^{+2} , o material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica. Já para o N, a avaliação foi feita por meio de digestão sulfúrica. A quantidade de N foi determinada pela destilação em sistema semi-micro Kjeldahl, o P foi determinado por espectrofotometria UV-VIS, enquanto o K foi determinado por fotometria de chama e o Ca^{+2} e

Mg⁺² por espectrofotômetro de absorção atômica (EAA). As avaliações foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas (LABSOLOFERT) da UNIOESTE/MCR, conforme metodologia proposta por Lana et al. (2016).

As coletas de solo ocorreram após a colheita da soja e do milho segunda safra. Com o auxílio de uma pá de corte foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m duas amostras simples por parcela para formar uma composta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o LAFIS onde foram secas ao ar (Terra Fina Seca ao Ar-TFSA), passadas em peneira de 2 mm de malha e levadas para o LABSOLOFERT para avaliação dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg), assim como determinação de parâmetros de acidez (pH e H+Al) e Carbono Orgânico (CO), conforme metodologias descritas por Lana et al. (2016). O teor de P foi determinado pelo método de Olsen, cujo extrator não é ácido (OLSEN et al., 1954).

Na soja, a avaliação dos componentes de produção (Número de vagens por planta, Número de grãos por vagem) foram realizadas em dez plantas da área útil de cada parcela quando estas encontravam-se no estágio R8. O número de vagens por planta foi determinado quantificando todas as vagens com grãos, calculando-se a média de vagens por planta. O número de grãos por vagens foi determinado contando os grãos viáveis por vagem. O número médio de grãos por planta, foi calculado multiplicando o valor médio do número de grãos por vagens pelo número de vagens encontradas por planta.

No milho segunda safra, o Número de Grãos por Espiga (NGE) foi resultado do produto obtido a partir do número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga

Para a avaliação da massa de mil grãos da soja e do milho segunda safra, foram separadas, conforme determinação estabelecidas pela Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), oito subamostras de 100 grãos, cujas massas foram determinadas em balança de precisão e corrigidas para 13% de umidade.

A produtividade (kg ha⁻¹) da soja e milho segunda safra foram determinadas quando as culturas se encontravam em estágio R8 e R6 (maturação fisiológica) respectivamente. Foram coletadas as plantas e espigas da área útil da parcela, sendo trilhadas e pesadas em balança. Determinou-se a umidade dos grãos e sua massa foi corrigida para 13% de umidade e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos erros e homogeneidade de variância utilizando os testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Atendido os pressupostos, foi realizada análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância para o teste F.

Para as doses dentro de cada resíduo orgânico animal, os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustou aos fenômenos investigados.

Para comparação dos tratamentos (doses de pó de rocha e resíduos animais) com a testemunha adicional (adubação química solúvel-NPK) foi aplicado o teste Dunnett (5% de probabilidade de erro), onde calculou-se a DMS Dunnett sendo esta somada e subtraída ao valor médio da testemunha para obtenção de uma margem de comparação. De acordo com Vasconcelos (2018), neste teste não se faz comparações entre os tratamentos, mas sim compara cada tratamento com a testemunha afim de verificar se são iguais ou diferentes.

As análises e elaboração das figuras foram realizadas usando os softwares estatísticos Genes (CRUZ, 2006) e SigmaPlot® 12.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 SOJA

3.1.2 Atributos Químicos do Solo

Houve efeito significativo para o pH do solo (acidez ativa) ($p < 0,05$) apenas na camada 0,00 – 0,05 m das doses de pó de rocha de basalto com a utilização de cama de frango e o esterco bovino (Figura 4A). O pH aumentou com o uso da cama de frango e esterco bovino à medida que houve um acréscimo das doses de pó de rocha de basalto, atingindo valores máximos de 5,9 e 5,7 respectivamente, com a maior dose aplicada ($16,0 \text{ t ha}^{-1}$); ou seja, um aumento de 9,2 % e 14% no pH em relação a ausência de uso com basalto.

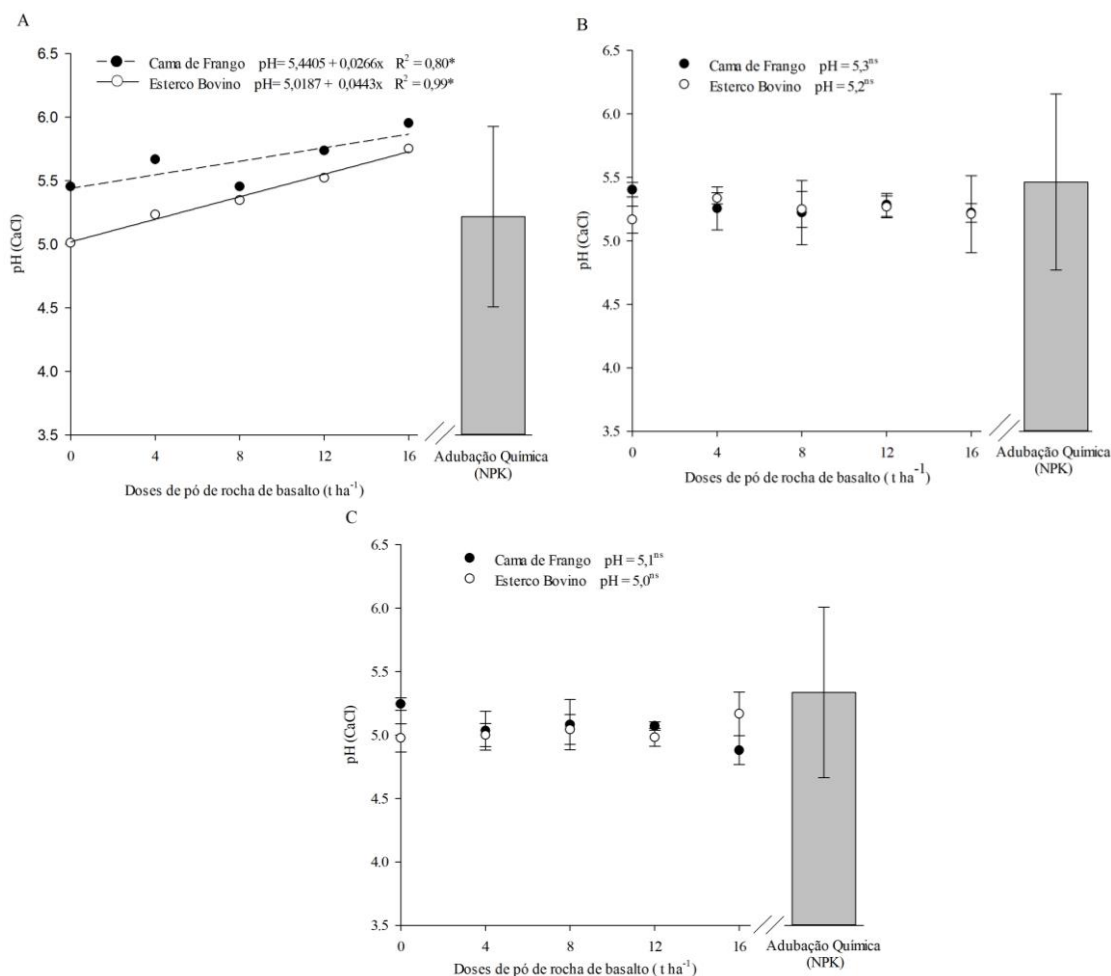


Figura 4- pH do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. ns: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

A elevação do pH à medida que as doses de basalto aumentaram independente da fonte de resíduo usada, demonstra o potencial deste insumo em aumentar o pH do solo. A cama de frango influenciou mais a elevação do pH do solo; isso porque há maior teor de CaO e MgO em sua composição ($33,9\ g\ kg^{-1}$; $20,5\ g\ kg^{-1}$) em relação ao esterco bovino ($17,6\ g\ kg^{-1}$; $10,5\ g\ kg^{-1}$).

A presença de CaO (óxido de cálcio) na cama é uma explicação para o aumento do pH, visto que esse elemento é oriundo da cal virgem utilizada na sanitização do aviário e ainda, da própria alimentação dos animais confinados (MACHADO, 2022). De acordo com este autor, a cama de aves não tem a capacidade de corrigir o solo a curto prazo, mas sim, de manter o pH do solo em um nível original.

A significância para os valores de pH obtidas na camada mais superficial pode ter influência da aplicação dos insumos em superfície, fato este que pode ter contribuído com o efeito a curto prazo e significativo dos tratamentos sobre o pH. Mas ainda assim, os resultados da acidez ativa em todas as camadas apresentaram valores de pH dentro da faixa considerada como alta (5,0 – 5,5) e muito alta (> 5,5) (SBCS/NEPAR, 2019), o que é um bom indicativo do uso em conjunto dos insumos, contribuindo para elevação e manutenção de bons valores pH no solo.

A acidez ativa do solo é obtida através do pH, que é a determinação da quantidade de H^+ encontrado na solução do solo. Logo, o pH é um dos atributos químicos do solo mais importantes relacionados a disponibilidade de nutrientes para as plantas (MALAVOLTA, 1976). O aumento do pH do solo é uma característica de grande importância do pó de rocha, visto que proporciona criação de cargas negativas, mitigando perdas de potássio por lixiviação, além de estimular a atividade biológica (QUAGGIO, 2000).

O fato do basalto e os resíduos terem contribuído com o aumento e manutenção do pH dentro de parâmetros recomendados, menor será a quantidade de íons H^+ e Al^{3+} que ocupam as cargas negativas na superfície dos colóides do solo, dando lugar aos cátions essenciais (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e demais nutrientes que irão favorecer o desenvolvimento das plantas (NOLLA; ANGHINONI, 2004), indicando assim que não houve impedimento químico para absorção de nutrientes pela soja.

Em um experimento com basalto moído, Melo et al. (2012) observaram aumento nos valores de pH até a dose de $50 t ha^{-1}$ de basalto (ponto de máxima neutralização da acidez) e decréscimo do Al^{3+} . Também foi observado pelos mesmos autores que a adição de doses de pó de basalto apresentou maior eficiência para neutralização da acidez potencial do solo.

A acidez ativa no solo observada com o uso das doses de basalto e os resíduos animais foi igual a constatada com o uso da adubação química solúvel (NPK) em todas as camadas, fato este que pode ter sido influenciado pelos altos valores de pH inicial (5,3) que o solo já se encontrava. Esse resultado poderia ter sido diferente, uma vez que há uma tendência na diminuição do pH com o uso da adubação química, uma vez que o efeito de acidificação do solo pela adubação mineral é reflexo da constituição do adubo, que tem característica ácida (MIRANDA, et al., 2017). Porém, por mais que a adubação mineral apresente potencial de promover a acidificação do solo, esse efeito não foi constatado no presente trabalho, fato este que talvez poderia ser observado a médio e longo prazo de desenvolvimento da pesquisa.

Para o valor de H+Al (acidez potencial) em todas as camadas de solo avaliadas (0,00 – 0,05 m Figura 5A; 0,05 – 0,10 m Figura 5B e 0,10 – 0,20 m Figura 5C) com o uso de doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais, não foi verificado modelo de regressão polinomial que ajustasse os dados de acidez potencial, assim como não foi observado diferença nos valores obtidos com a adubação química solúvel.

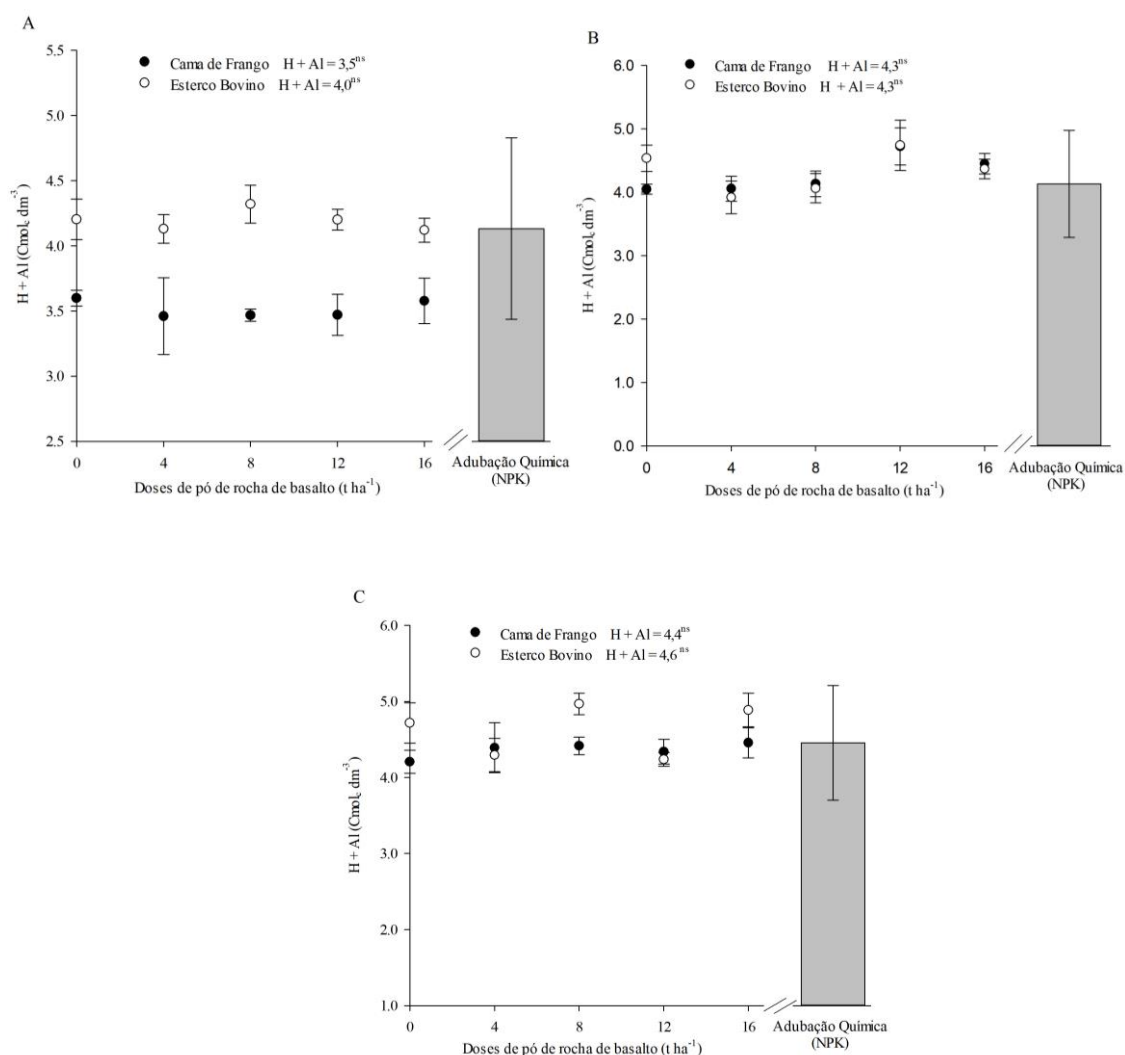


Figura 5 – H+Al do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. ns: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

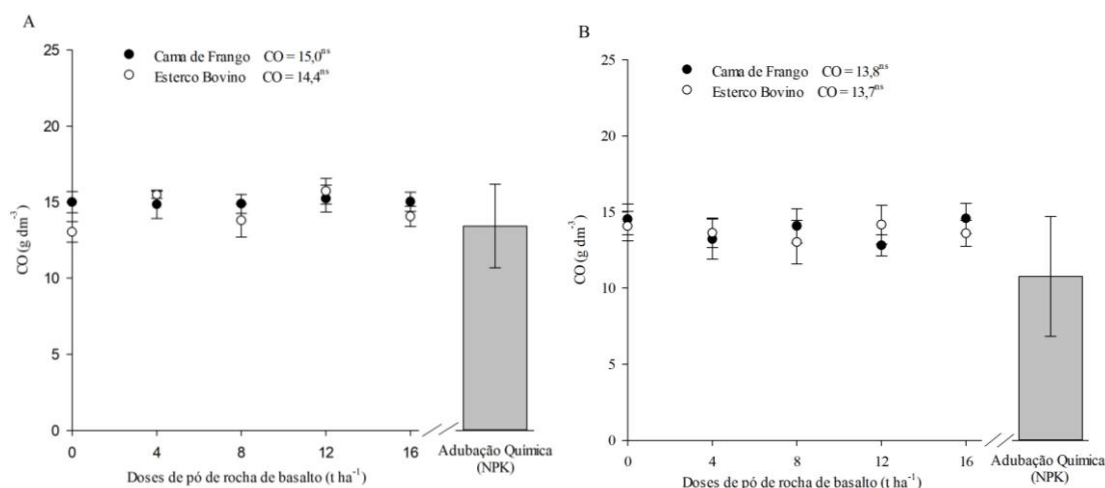
A acidez potencial corresponde às substâncias ou aos compostos que liberam íons H⁺ para a solução do solo e causa acidificação do meio. Estas incluem, o Al³⁺ trocável adsorvido às cargas negativas das argilas, os grupos funcionais COOH e OH da matéria orgânica assim como os OH₂ e OH ligados às superfícies dos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio e os existentes

nas bordas dos argilominerais que também podem dissociar íons H^+ para a solução do solo (MEURER, 2017).

Os valores médios de $H+Al$ ficaram abaixo de 4,6, o que pode ser efeito dos altos teores de pH obtidos. Esses resultados são positivos, pois quanto menor a acidez potencial melhores serão as condições químicas que o solo apresenta para o desenvolvimento das culturas.

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 $t\ ha^{-1}$) sobre os atributos químicos do solo cultivado com soja em sucessão a sorgo, observaram que o pó de basalto aumentou o pH e por consequência diminuiu a acidez potencial do solo ($H+Al$), 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. Sustakowski (2020) encontrou redução de 19% no valor de $H+Al$ do solo com a aplicação de 10,3 $t\ ha^{-1}$ de pó de rocha de basalto.

Os resultados experimentais para o teor de Carbono Orgânico (CO) no solo demonstram que não foi constatado efeito significativo das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais nas profundidades analisadas (0,00 – 0,05 m Figura 6A; 0,05 – 0,10 m Figura 6B e 0,10 – 0,20 m Figura 6C). Apesar de não ter obtido efeito significativo, os teores de CO com ambos os resíduos, apresentaram-se entre médio (9-14 $g\ dm^{-3}$) e alto (15-20 $g\ dm^{-3}$) (SBCS/NEPAR, 2019), e foram diminuindo de acordo com o aumento da profundidade.



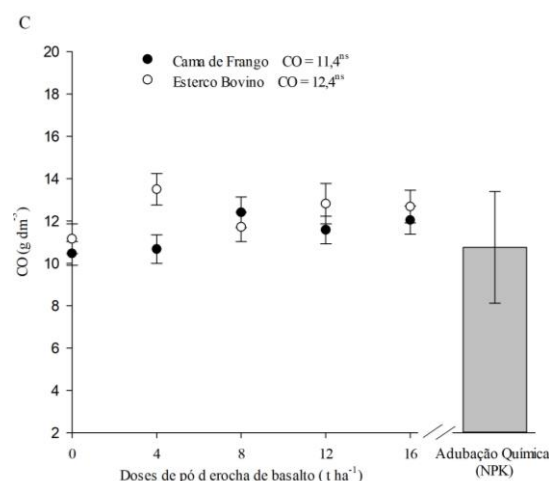


Figura 6 – Carbono Orgânico (CO) do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Esse efeito já era esperado pois os resíduos animais são compostos em sua grande maioria por material orgânico, que quando depositados ao solo acabam sendo decompostos, gerando assim um incremento no teor de CO, entretanto; não foi suficiente para que ocorresse diferenças significativas, fato este que pode ter relação entre outros fatores com a alta relação C/N (5,9) de ambos os resíduos orgânicos. A cama de frango e o esterco bovino usados na pesquisa apresentaram teores de 25,2 % e 20,1 % de CO; respectivamente, e somados ao efeito potencial que o pó de rocha apresenta no sentido de contribuir com a maior dinâmica da atividade microbológica no solo, esses critérios podem ter influenciado os valores de CO encontrado, principalmente nos teores mais elevados na camada de 0,00 – 0,05 m, considerando que os insumos foram aplicados em superfície (DA SILVA et al., 2017).

O teor de CO do solo obtido com as doses pó de basalto e resíduos animais não apresentou diferenças do observado na adubação química solúvel em todas as profundidades analisadas (0,00 – 0,05 m Figura 6A; 0,05 – 0,10 m Figura 6B e 0,10 – 0,20 m Figura 6C). Este fato pode ser explicado pelo teor inicial de CO no solo (14 g dm⁻³ Tabela 1), oriundo dos cultivos anteriores e que pode ter influenciado os resultados encontrados.

Foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos para os teores de Ca apenas nas camadas de 0,00 – 0,05 m (Figura 7A) e 0,10 – 0,20 m (Figura 7C), sendo a regressão quadrática a que melhor representou o comportamento do nutriente.

Na camada de 0,00 – 0,05 m observa-se que os teores de Ca apresentaram dinâmica similar no solo quando as doses de basalto foram associadas aos resíduos animais. Na dose de basalto de 8,8 t ha⁻¹ com a cama de frango e de 8,4 t ha⁻¹ com esterco bovino foram encontradas as maiores concentrações de Ca no solo, apresentando valores de 6,4 cmol_c dm⁻³ e 6,3 cmol_c dm⁻³ respectivamente.

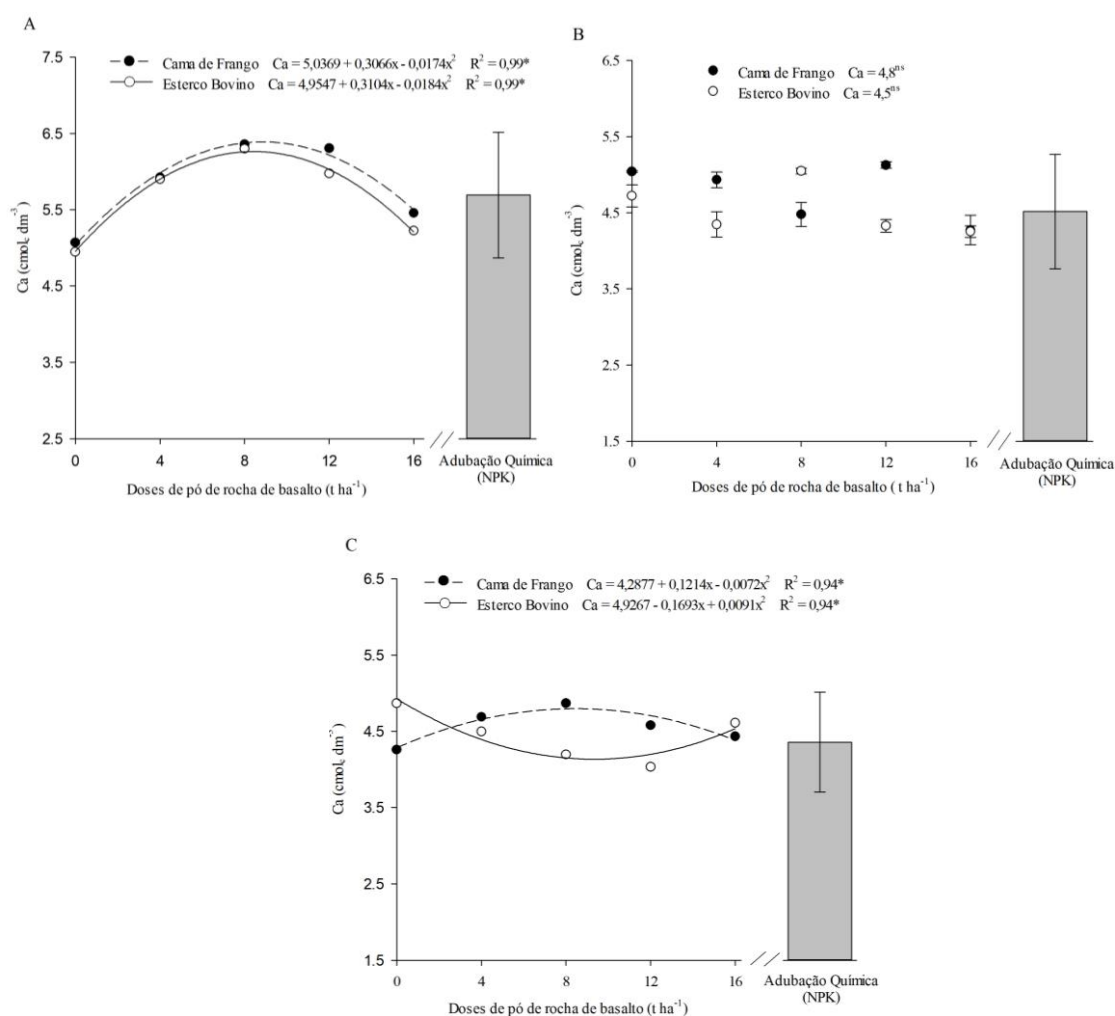


Figura 7 – Cálcio (Ca) no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Na camada de 0,10 – 0,20 m, a dose de pó de rocha de basalto de 8,4 t ha⁻¹ com cama de frango apresentou o maior teor de Ca (4,8 cmol_c dm⁻³) no solo. Quando o pó de rocha de basalto foi associado ao esterco bovino, os teores do nutriente apresentaram comportamento quadrático negativo, onde na dose de 9,3 t ha⁻¹ foi encontrado o menor teor de Ca (4,1 cmol_c dm⁻³), uma diferença de 9,7% da concentração do nutriente obtida com a dose máxima utilizada de 16,0 t ha⁻¹ (4,5 cmol_c dm⁻³).

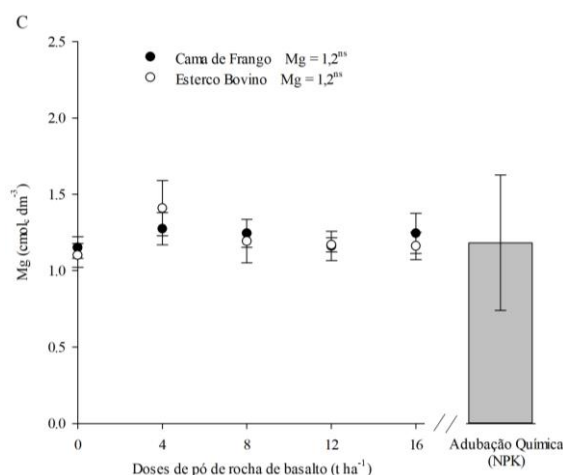


Figura 8– Magnésio (Mg) no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

A disponibilização de Mg para o solo por remineralizadores tem apresentado resultados distintos, alguns autores observaram incrementos dos teores de Mg no solo com a aplicação de remineralizadores (MELO et al., 2012; RESENDE et al., 2006); enquanto outros não verificam incrementos do nutriente, ou apresentam até mesmo reduções nos teores (LUCHESE et al., 2021; RIBEIRO et al., 2010).

Nichele (2006) e Silva (2007) avaliaram o efeito da aplicação do pó de basalto em doses crescentes até 10 t ha⁻¹, não verificando diferenças significativas dos teores de Mg entre os tratamentos, mas ambos observaram aumentos de Mg com o incremento da dose do pó de basalto.

Embora não tenha sido constatado diferenças das doses de basalto e os resíduos sobre as concentrações de Mg no solo, o nutriente apresentou teores classificados na faixa de interpretação como altos (1,1-2,0 cmol_c dm⁻³) no solo, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019), sendo mais uma vez indicativo de que os resíduos que apresentaram em sua composição MgO de 20,5 g kg⁻¹ na cama de frango e 10,5 g kg⁻¹ no esterco bovino e somado ao pó de rocha de basalto que apresentou 4,4% de MgO, pode ter influenciado na manutenção dos teores do nutriente no solo.

No que se refere aos teores de K no solo, não houve efeito das doses de basalto e os resíduos animais nas camadas analisadas assim como não foi verificada diferença dos teores do nutriente dos tratamentos com a adubação química solúvel (0,00 – 0,05 m Figura 9A; 0,05 – 0,10 m Figura 9B e 0,10 – 0,20 m Figura 9C).

Os valores médios de K encontrados diminuíram com o aumento da profundidade, o que é uma tendência do nutriente devido a sua característica de mobilidade facilitada no perfil

do solo. Os teores de K constatados na pesquisa são tidos como muito alto ($> 0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SBCS/NEPAR, 2019). Os resíduos animais apresentavam teores de K_2O de $10,6 \text{ g kg}^{-1}$ na cama de frango e de $15,2 \text{ g kg}^{-1}$ no esterco bovino e no pó de rocha de basalto de $1,18 \%$. Entretanto, por mais que se tenha observado elevados teores médios do nutriente, para este cultivo, este período não foi suficiente para se constatar diferença significativa dos tratamentos.

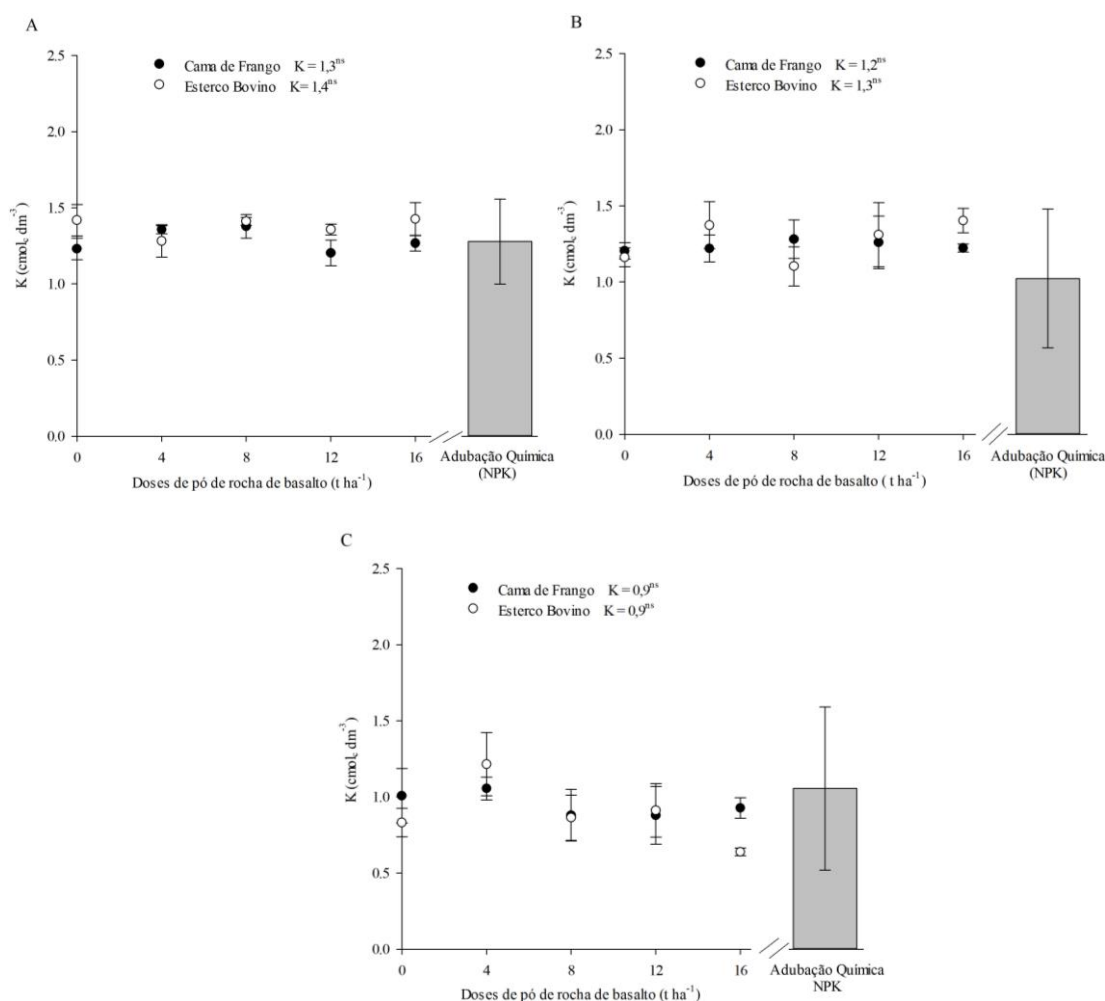


Figura 9 –Potássio (K) no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

A disponibilidade de K com o uso de remineralizadores apresenta diferentes resultados em pesquisas. Swoboda et al. (2022) verificaram em revisão de literatura aumento nos teores de K no solo em 67,5% dos trabalhos avaliados quando foi usado o pó de rocha, independente do tipo de rocha utilizada. Em alguns trabalhos, a resposta de K no solo e tecido variou com a

aplicação do mesmo remineralizador, dependendo do tipo de solo e cultura semeada (LUCHESE et al, 2021).

Inocêncio et al. (2009) a partir dos resultados encontrados observaram baixa influência do basalto na liberação de potássio para todos os solos estudados, observando incrementos pouco expressivos nos teores de K trocável. Já Ribeiro et al. (2010) ao avaliar o efeito da aplicação de pó de rochas silicáticas (flogopita, 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 verificaram que o teor do nutriente reduziu após o cultivo com soja.

No cultivo da soja com doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais não foi observado modelo de regressão polinomial que ajustasse os dados da CTC do solo em nenhuma das camadas (0,00 – 0,05 m Figura 10A; 0,05 – 0,10 m Figura 10B e 0,10 – 0,20 m Figura 10C).

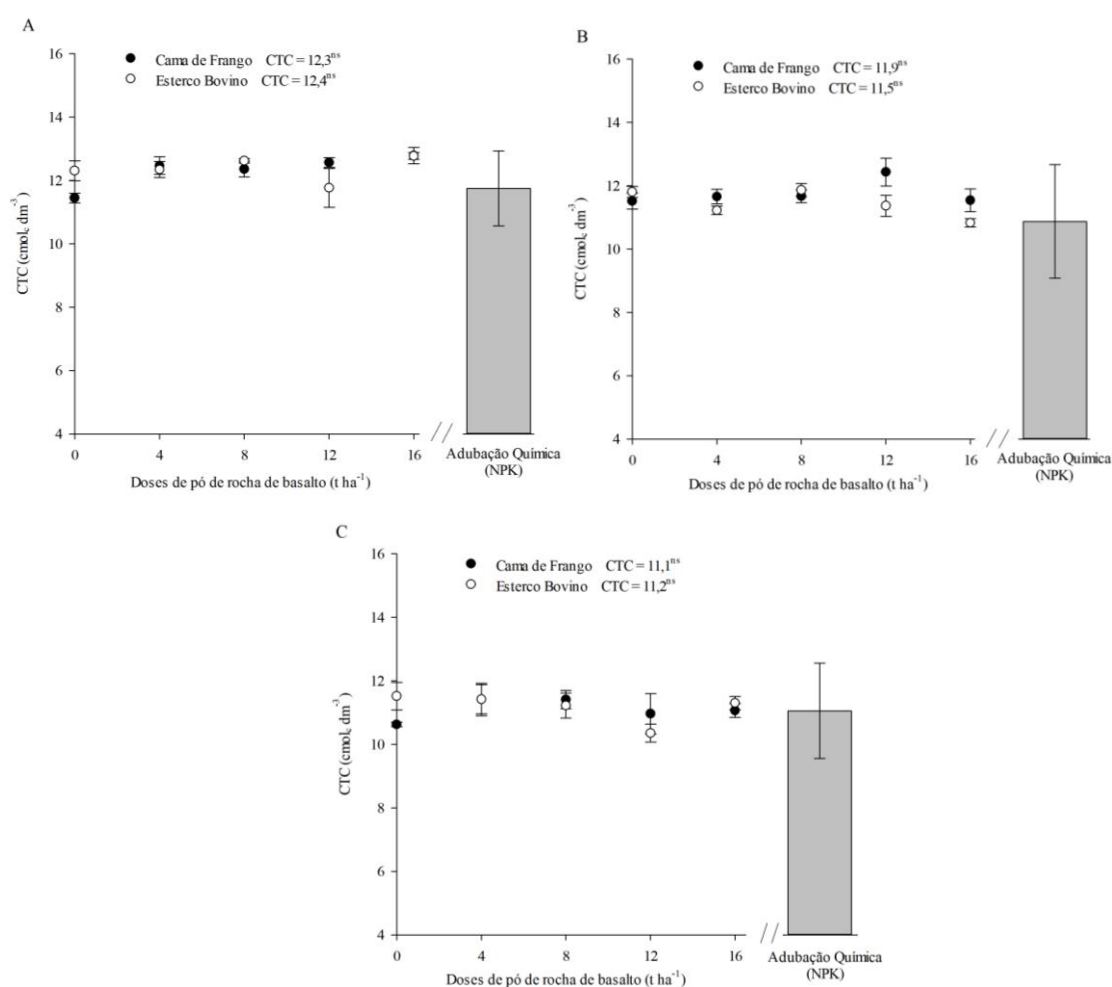


Figura 10 – Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial após o cultivo da soja. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

No desdobramento do pó de rocha de basalto e os resíduos animais (fatorial) versus a adubação química solúvel (NPK) (adicional) não foi encontrado diferença nos valores de CTC nas camadas de solo estudadas (Figura 10).

Com base nos critérios de interpretação da CTC a pH 7,0 (SBCS/NEPAR, 2019), constatou-se que os valores encontrados são considerados médio ($8-14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Vários fatores podem afetar a CTC, dentre eles: matéria orgânica do solo (CO), pH da solução do solo e adsorção específica de íons. Os teores de CO e pH do solo pode ter influenciado os valores de CTC encontrados. Segundo Meurer (2017), a interação da matéria orgânica com os argilominerais e os óxidos do solo altera as cargas superficiais. A MOS é adsorvida à caulinita e aos óxidos de ferro e essa interação resulta na diminuição das cargas positivas do solo, aumentando, desta forma, a capacidade de troca de cátions. À medida que aumenta o teor de carbono orgânico, aumenta a CTC do solo.

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. Isso demonstra a importância de se trabalhar práticas de manejo que favoreçam o incremento de matéria orgânica no solo como o uso de resíduos de origem animal e que conseqüentemente, contribua na melhoria dos atributos químicos do solo.

Além disso, Luchese et al. (2021) verificaram aumento da CTC pela aplicação de remineralizadores amplia as opções de ganhos de CTC, tanto pela formação de novas fases minerais de maior CTC, quanto dos ganhos de CO, que ocorrem também pela interação destes novos minerais com a matéria orgânica.

Como a CTC é dependente de vários fatores já mencionados e que são relativas as condições que o solo apresenta, os efeitos significativos deste atributo poderiam ser encontrados em ensaios consecutivos de médio e longo prazo.

Os teores de P no solo foram influenciados pelas doses de basalto e os resíduos animais nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 11B e C), sendo a equação de regressão quadrática a que melhor representou o comportamento do nutriente.

Na profundidade de 0,05-0,10 m, o pó de rocha de basalto associado a cama de frango aumentou os teores de P até a dose de $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ ($16,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) e com o esterco bovino até a dose de basalto de $10,2 \text{ t ha}^{-1}$ ($12,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P).

Já na camada de solo de 0,10-0,20 m, a dose de basalto $7,7 \text{ t ha}^{-1}$ associada com cama de frango apresentou a maior concentração do nutriente no solo ($14,3 \text{ mg dm}^{-3}$) e na dose de $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ com esterco bovino foi obtido o valor máximo de P ($13,5 \text{ mg dm}^{-3}$).

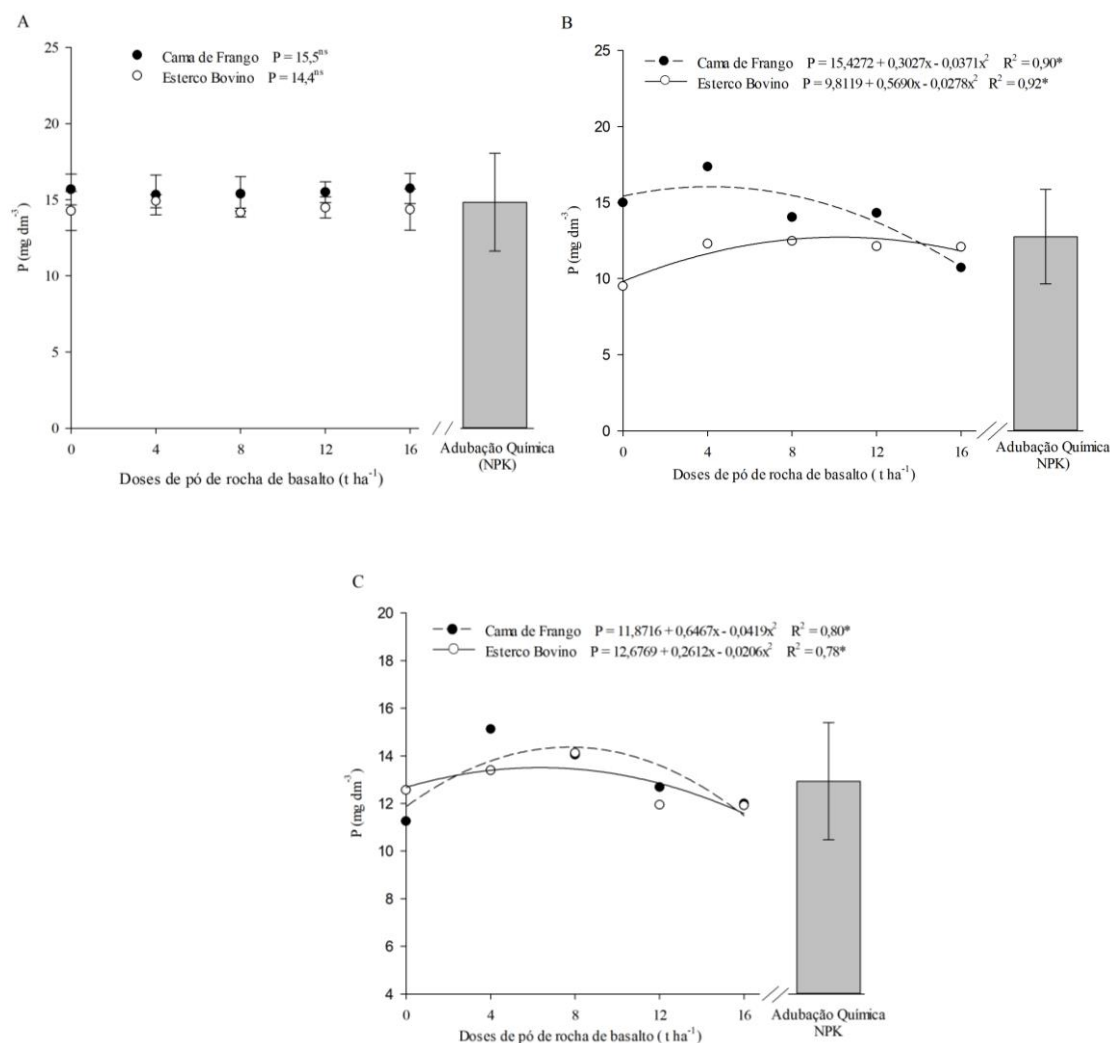


Figura 11 –Fósforo (P) no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo da soja. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. ns: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os teores de P obtidos são classificados na faixa de interpretação de Olsen (1954) como baixo ($< 15 \text{ mg dm}^{-3}$) e médio ($15\text{--}22,5 \text{ mg dm}^{-3}$) (KORALAGE et al., 2015).

Os resultados significativos encontrados para o nutriente no solo podem estar vinculados ao efeito da cama de frango que apresentava em sua composição teor de P_2O_5 de $28,6 \text{ g kg}^{-1}$ e no esterco bovino de $10,5 \text{ g kg}^{-1}$ e que somados a presença do nutriente no remineralizador (mesmo que em baixas concentrações de 0,27% de P_2O_5), podem ter favorecido os incrementos de P no solo.

De acordo com Luchese et al. (2021), as respostas encontradas para o P quando se utiliza remineralizadores podem ser ocasionadas também por dois outros efeitos indiretos que

ocorrem com a sua aplicação, sendo eles o aumento do pH e a entrada de óxido de silício no sistema (51,39 % SiO₂), que competiria com os sítios de adsorção do fosfato. E segundo Novais (2007), a mineralização de resíduos animais bem como a ação da microbiota do solo neste processo, pode favorecer a liberação de ácidos orgânicos e influenciar a dinâmica e disponibilidade de P no solo. Os ácidos orgânicos também podem competir com o P pelos sítios de adsorção, favorecendo a dessorção de P para a solução do solo.

Estudos demonstram que a adição de resíduos animais no solo tem sido eficiente em aumentar o teor de P no solo (FARIA et al., 2020). A adubação orgânica, além de ser eficiente em aumentar o teor de P, prontamente disponível no solo, é a forma mais sustentável de recuperar a fertilidade dos solos. Essa prática está relacionada ao aumento da fertilidade, pois aumenta os valores de CTC e teores de CO, além de elevar a solubilidade de P, sendo disponível em maiores quantidades para as plantas (SCOTTI et al., 2015).

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⁻¹). Deus et al. (2007) encontraram aumento no teor de P com doses crescentes de pó de basalto em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e verificaram que a maior dose utilizada (8 t ha⁻¹) resultou em maior teor de P (7,50 mg dm⁻³), o que representou acréscimo de 96% em relação a testemunha (3,83 mg dm⁻³). Assim como Santos (2022) constatou que a aplicação de pó de basalto (12 t ha⁻¹) resultou em maior teor de P (26,12 mg dm⁻³) no solo e acarretou aumento de 78,65% em relação ao tratamento sem pó de basalto (14,62 mg dm⁻³).

Os teores de P no solo com as doses de basalto e os resíduos foram iguais aos encontrados na adubação química em todas as camadas avaliadas (Figura 11).

O P é considerado o nutriente mais limitante à cultura de soja, em consequência de sua baixa disponibilidade natural e alta fixação nos solos. Desse modo, para a obtenção de uma alta produtividade, é indispensável que o solo apresente teores consideráveis de P disponível para as plantas (MELO, 2020).

3.1.3 Teores de Nutrientes Foliare

Não houve efeito significativo para os teores de Nitrogênio (N) foliar da soja nas diferentes doses de pó de rocha de basalto associada aos resíduos animais, assim como na comparação com a adubação química solúvel (Figura 12). Os teores do nutriente mantiveram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura (45-61 g kg⁻¹) (SBCS/NEPAR, 2019).

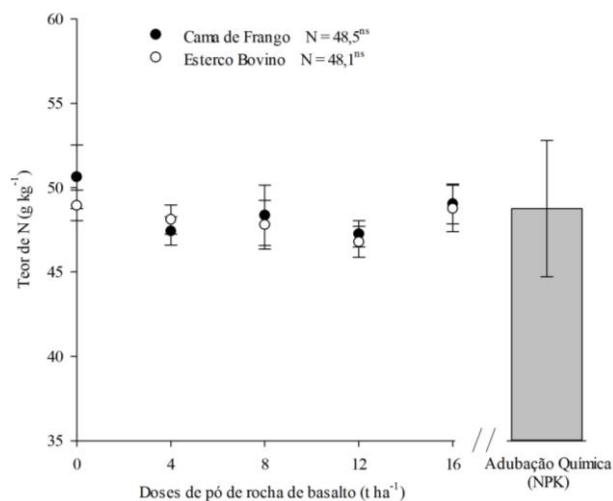


Figura 12- Teor de N foliar da soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Foi obtido efeito significativo ($p < 0,05$) das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos para os teores de Fósforo (P) no tecido foliar da soja (Figura 13). Houve incremento de P foliar até a dose de basalto de $11,3 \text{ t ha}^{-1}$ ($2,9 \text{ g kg}^{-1}$) quando associada a cama de frango e até a de $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ ($2,8 \text{ g kg}^{-1}$) com o uso do esterco bovino. Verificou-se incremento de 11,5% no teor de P para a dose de $11,3 \text{ t ha}^{-1}$ ($2,9 \text{ g kg}^{-1}$) com cama de frango em relação a ausência de pó de basalto que foi de $2,6 \text{ g kg}^{-1}$.

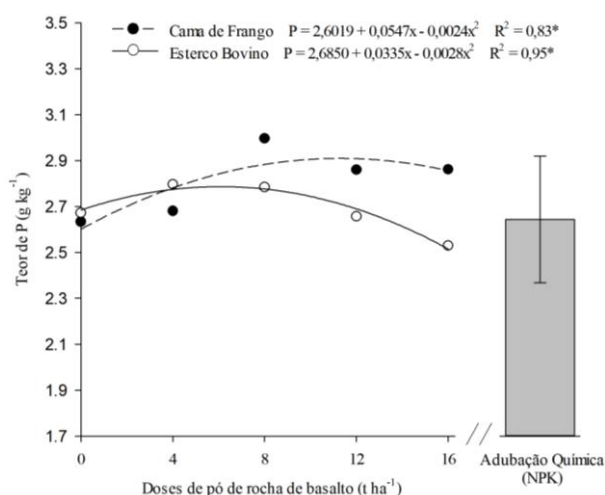


Figura 13- Teor de P foliar da soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os resultados das concentrações de P no solo podem ter refletido nas respostas obtidas do nutriente nas folhas de soja, que por sua vez pode estar ligado diretamente pela liberação do

nutriente no solo com a presença de rochagem ou mesmo no deslocamento do P adsorvido nos colóides por seu potencial reativo (REIS, 2021).

Os teores máximos de P encontrados na folha estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura (2,8-4,2 g kg⁻¹) (SBCS/NEPAR, 2019). Teores adequados de P foliar são importantes visto que este é um elemento que exerce função vital na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e passagem de energia, na divisão e no desenvolvimento celular, bem como na troca de informações genéticas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Não houve diferença no teor de P com doses de pó de rocha de basalto e os resíduos em comparação ao obtido na soja cultivada com adubação química solúvel.

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os teores de Potássio (K) foliar da soja com o uso das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais (Figura 14).

Os teores de K foliar aumentaram de forma linear, atingindo 20,5 g kg⁻¹ na dose de 16 t ha⁻¹ de pó de rocha de basalto com a utilização de cama de frango. Assim, foi obtido um aumento de 8% no teor médio de K quando comparado a ausência de pó de rocha de basalto (19,0 g kg⁻¹).

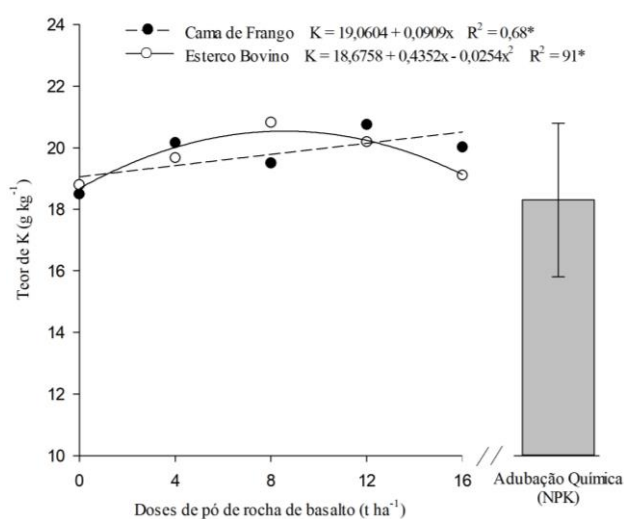


Figura 14- Teor de K foliar da soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Quando o pó de rocha foi associado ao esterco bovino, observou-se elevação nos teores do nutriente à medida que as doses aumentaram até atingir o teor de máximo de K de 20,5 g kg⁻¹ na dose 8,5 t ha⁻¹.

Os teores de K da soja cultivada com basalto associada a cama de frango e esterco bovino foi igual ao obtido com a adubação química solúvel.

Os níveis de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na folha de soja apresentaram significância com as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais, sendo a regressão linear crescente a que melhor representou os valores dos nutrientes (Figuras 15 e 16 respectivamente). É possível observar que os teores de Ca e Mg foliar apresentaram acréscimo à medida que as doses de pó de rocha de basalto se elevaram, tanto quando estas foram associadas a cama de frango quanto ao esterco bovino.

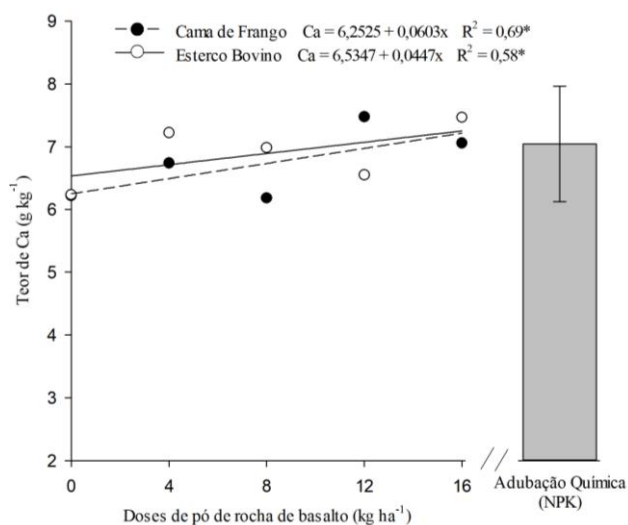


Figura 15- Teor de Ca foliar da soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

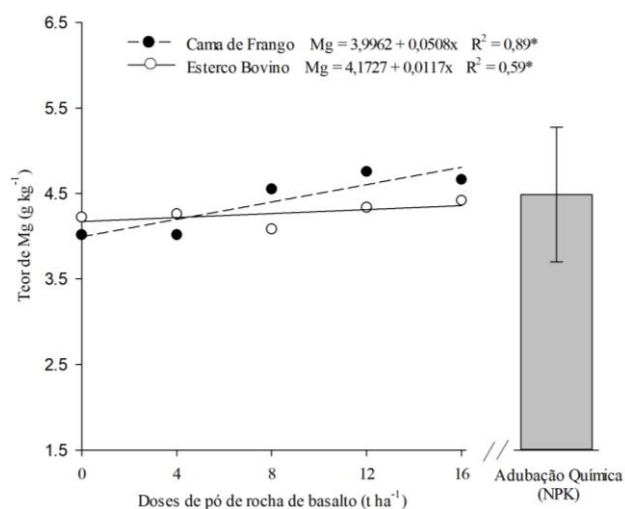


Figura 16- Teor de Mg foliar da soja em função de doses de pó de rocha de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os nutrientes Ca e Mg foliar apresentaram suas maiores concentrações na dose de basalto de 16 t ha⁻¹ com a cama de frango (7,2 g kg⁻¹ para Ca e 4,8 g kg⁻¹ para Mg) e o esterco bovino (7,2 g kg⁻¹ para Ca e 4,3 g kg⁻¹ para Mg).

Tais comportamentos podem ser oriundos dos altos teores de Ca e Mg constatados no solo. Apesar dos tratamentos não apresentaram diferença significativa nas concentrações de Mg no solo, os teores do nutriente foram elevados e somados aos de Ca, podem ter sido aproveitados pela cultura o que se refletiu nos resultados obtidos de acréscimo foliar.

Os teores de Ca e Mg obtidos na soja cultivada com as doses pó de rocha de basalto e resíduos animais não apresentaram diferença quando comparada à adubação solúvel com NPK (Figuras 15 e 16).

Com base nos valores de referência dos nutrientes Ca (7-12 g kg⁻¹) e Mg (3,0-4,9 g kg⁻¹) para cultura da soja (SBCS/NEPAR, 2019), os teores encontrados no presente estudo estão dentro da faixa recomendada para a cultura. Esses resultados são importantes pois o Ca é componente estrutural das plantas, de grande importância na composição da parede celular, na germinação do grão de pólen e desenvolvimento do canal polínico. Ademais, é indispensável para reproduzir as flores, fixar os botões florais e formar as vagens e o Mg é essencial à formação da clorofila e à fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2017).

3.1.4 Produtividade da Soja

As doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais não promoveram alterações significativas no N° de vagens por planta (NVP), N° de grãos por planta (NGP), Massa de mil grãos (MMG) e produtividade da soja, assim como os valores dessas variáveis foram iguais aos obtidos na adubação química solúvel (Figuras 17, 18, 19 e 20).

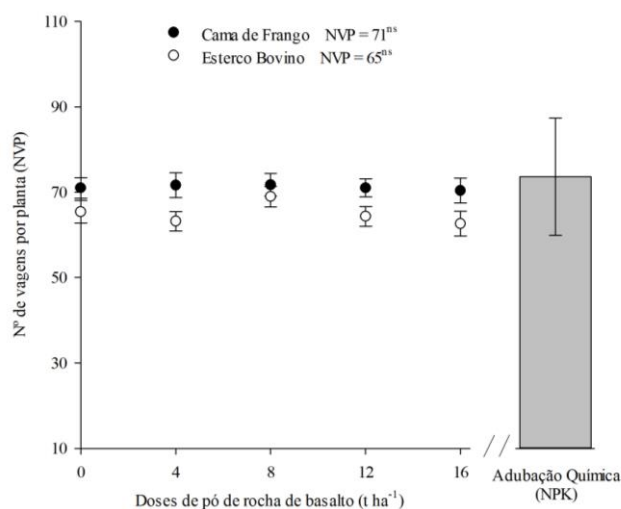


Figura 17- N° de vagens por planta (NGV) de soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais.
^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Alovisi et al. (2020), trabalhando com a aplicação de doses de pó de rocha que variaram de 0 a 10 t ha⁻¹ não verificaram efeito significativo das doses sobre o NVP, obtendo-se média de 74 vagens por planta. Resultados diferentes foram observados por Sustakowski (2020), neste caso com a dose de pó de rocha de basalto de 6,9 t ha⁻¹ apresentou o maior NVP (85,25); ou seja, cerca de 17 vagens a mais que a quantidade obtida sem a aplicação de pó de rocha, o que conferiu um incremento de 25%.

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 com maior número de vagens também apresentaram maior peso de sementes por planta, o que pode interferir na produtividade final.

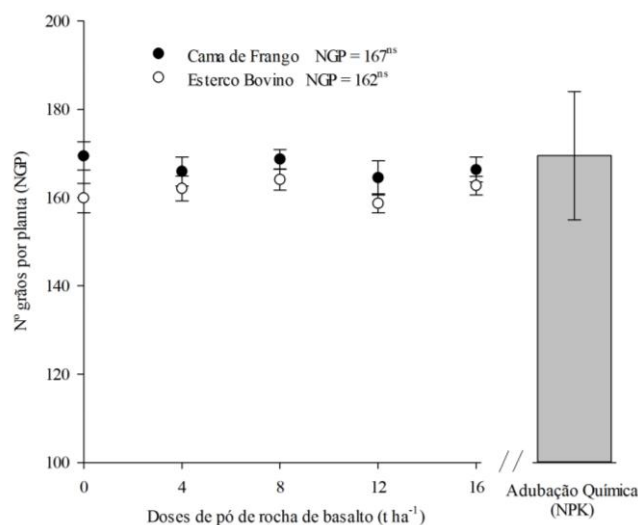


Figura 18- N° de grãos por planta (NGP) de soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais.
^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

A massa de mil grãos para a cultivar de SOJA M 5947 IPRO é em média de 170 g, sendo encontrado neste estudo valores acima da média com o uso da cama de frango (182 g) e com o esterco bovino (180 g) nas diferentes doses de basalto testadas, o que é um bom resultado de que mesmo não observando efeito dos tratamentos sobre esta variável, ainda sim, obteve-se valores consideráveis de MMG da soja (Figura 19).

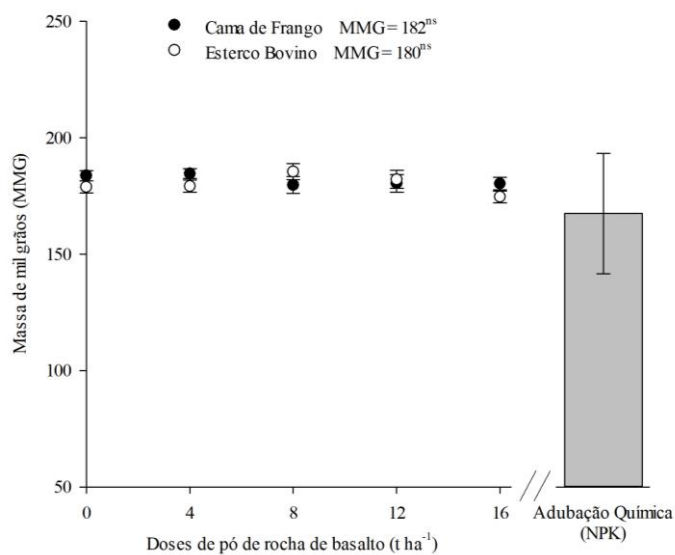


Figura 19- Massa de mil grãos (MMG) da soja em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

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 superiores aos verificados no presente trabalho. De forma geral, os autores verificaram massa média de mil grãos de 197,5 g para as doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹. Em contrapartida, Silva et al. (2019), também observaram efeito das doses de pó de rocha sobre a massa de mil grãos, contudo a maior massa foi na dose de 6 t ha⁻¹, com valor de 155 g em mil grãos.

A produtividade da cultura ficou próxima a média nacional (3.527 kg ha⁻¹) e a do Estado do Paraná (3.535 kg ha⁻¹), sendo obtidas no cultivo da soja submetida as doses de basalto com a cama de frango uma produtividade de 3.462,8 kg ha⁻¹ e com esterco bovino de 3.439,2 kg ha⁻¹ (Figura 20).

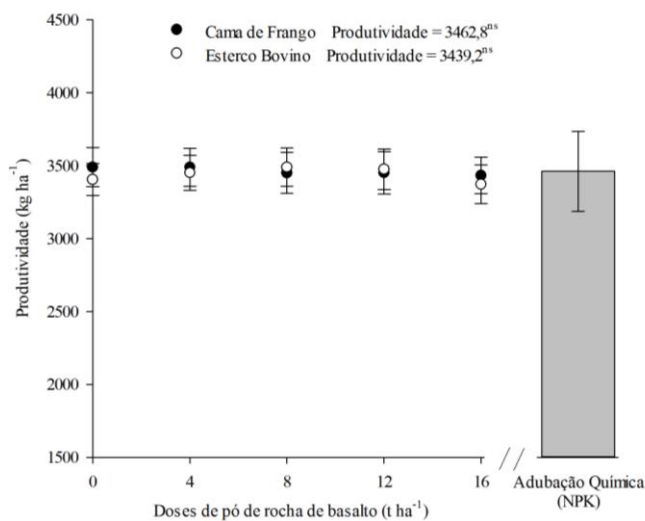


Figura 20- Produtividade da soja em função de doses de pó de rocha basáltica e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

A produtividade dos tratamentos utilizados não apresentou diferença da encontrada com uso da adubação química solúvel, fato este muito positivo e que reforça a ideia de que o uso desses insumos pode favorecer o rendimento da cultura tanto quanto o adubo químico, podendo ser uma alternativa de complementação ou até mesmo substituição de uso ao longo do tempo. Silva et al. (2020) que por duas safras consecutivas avaliaram o efeito de doses de pó de basalto (5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160 e 200 t ha⁻¹) e fertilização química (NPK) sobre a cultura do feijão preto verificaram que as doses de 5 a 60 t ha⁻¹ apresentaram ação equivalente na produtividade em comparação com a fertilização química.

Embora não tenha acarretado respostas significativas para os modelos de regressão polinomial testados, os resultados médios obtidos dos componentes de produtividade foram positivos e dentro dos valores de referência constatados para a cultura, reflexo este que pode ter sido influenciado pelos teores de nutrientes no solo e na folha e que contribuíram de forma essencial para as produtividades obtidas.

De acordo com Lana et al. (2003), há uma relação direta entre a fertilidade do solo e a produtividade de soja, sendo, diretamente, dependente da concentração disponível de nutrientes na solução do solo. Portanto, o pó de rocha de basalto e os resíduos animais foram eficientes em fornecer os nutrientes para manutenção de produção de soja; resultando, assim, em valores médios adequados de produtividade de grãos.

Estudos recentes têm mostrado algumas divergências em relação aos resultados obtidos ao empregar remineralizadores em espécies de interesse agrícola (AGUILERA et al., 2020). De Moraes et al. (2020), ao avaliar a cultura da soja, após aplicação de doses de pó-de-

ametista, obtiveram aumento no número de vagens por plantas, entretanto, não se obteve alteração na produtividade de grãos, independentemente das doses aplicadas.

Para Aguilera et al. (2020), as doses de pó de rocha de basalto (0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹) não influenciaram o rendimento de três cultivares de soja, mas contribuíram para obter um melhor tamanho de grãos e, assim, melhorar sua qualidade.

Por sua vez, Almeida Júnior et al. (2020) ao empregarem doses de 0 até 24 t ha⁻¹ de basalto na cultura da soja obtiveram alterações nos componentes produtivos para todas as características agrônômicas testadas e para a produtividade, com acréscimo de 59% (dose de 24 t ha⁻¹ com 5.338 kg ha⁻¹) valores acima da média nacional (3.337 kg ha⁻¹, CONAB, 2023) a favor do remineralizador.

Para Sustakowski (2020) a maior produtividade da soja (3.590,23 kg ha⁻¹) foi obtida na dose de basalto de 8,4 t ha⁻¹; ou seja, incremento de 16% em relação a produtividade obtida sem aplicação de pó de rocha (3.083,80 kg ha⁻¹).

De modo geral, a falta de efeito significativo associados a utilização da rochagem pode estar ligados a uma serie de fatores como o ciclo curto da cultura utilizada como planta “piloto”, período curto de avaliação, condições climáticas desfavoráveis ao intemperismo e solos extremamente estéreis ou com baixa atividade microbiana (SILVA et al., 2008), fatores estes que estão diretamente relacionados a capacidade de remineralização decorrente do uso de pó de rocha.

Neste sentido, resultados significativos podem ser obtidos em cultivos sucessivos, o que é recomendado quando se trabalha com remineralizadores de solo que apresenta um efeito residual de médio a longo prazo.

3.2 MILHO SEGUNDA SAFRA

3.2.1 Atributos Químicos do Solo

Foi constatado diferença significativa ($p < 0,05$) para o pH do solo apenas nas camadas de 0,00 – 0,05 m (Figura 21A) e 0,10 – 0,20 m (Figura 21C). Para a camada de 0,00 – 0,05 m a dose de 4 t ha⁻¹ de pó de rocha de basalto associada a cama de frango proporcionou o maior valor de pH (5,6); enquanto, quando associado ao esterco bovino foi observado maior valor na dose de basalto de 6,8 t ha⁻¹ com pH de 5,5.

Na camada de 0,10 – 0,20 m, foi observado efeito linear crescente do pH do solo com o uso do pó de rocha de basalto associado a cama de frango e quadrático quando se associou

com o esterco bovino. É possível verificar que o maior pH (5,2) foi com a dose de basalto de 16 t ha⁻¹ com a cama de frango; enquanto, com o esterco bovino o valor máximo foi obtido na dose de 6,9 t ha⁻¹ de basalto com pH de 5,4.

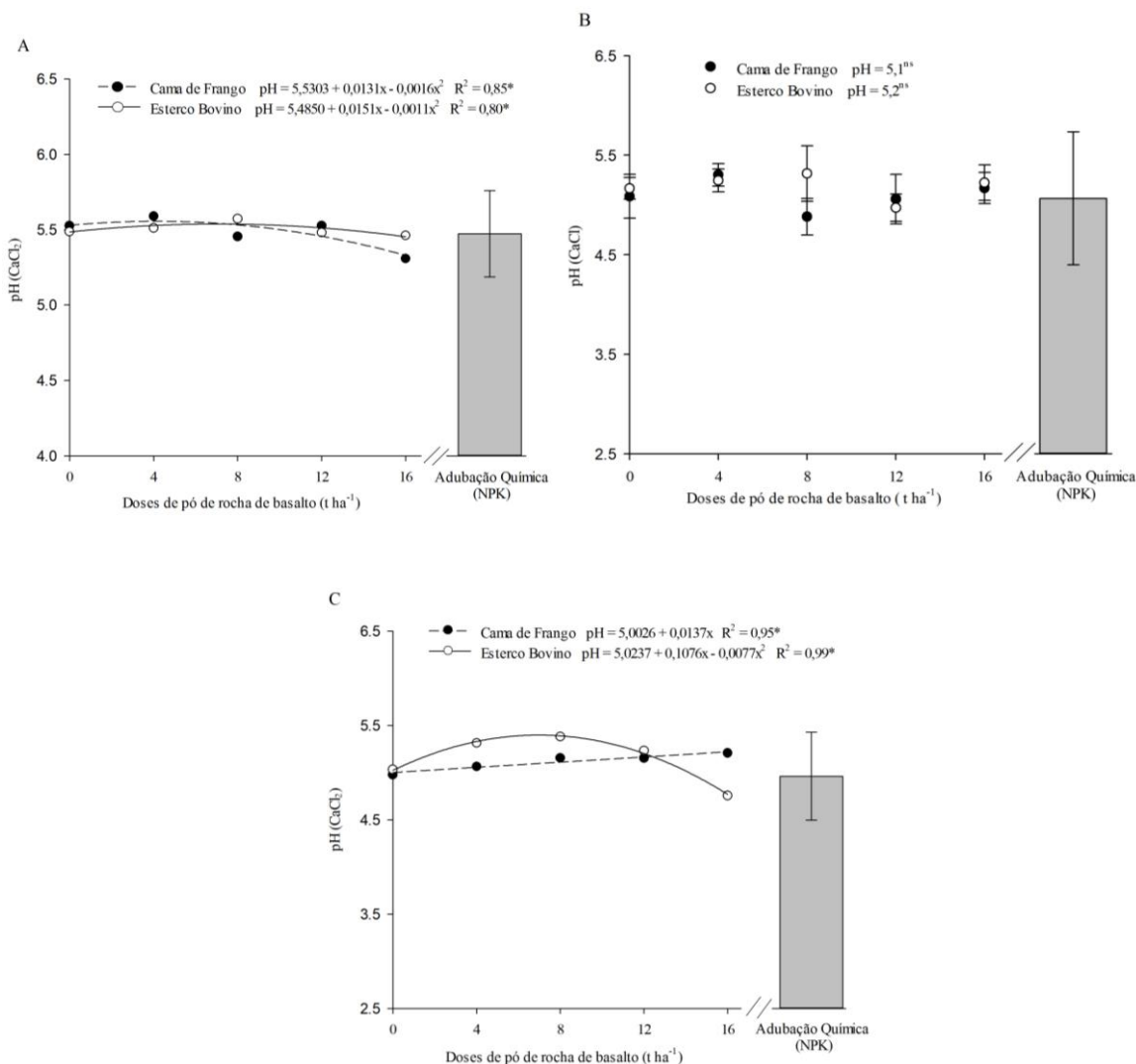


Figura 21 – pH do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. ns: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

No presente estudo foi possível observar que o efeito do pó de rocha de basalto sobre o pH do solo foi potencializado com o uso dos resíduos orgânicos. Com a mineralização da matéria orgânica do solo há a liberação de ácidos orgânicos e minerais e estes promovem o aumento das cargas negativas do solo e a elevação do pH (FAVARATO et al., 2015).

De acordo com Guimarães (2015), para os parâmetros de fertilidade do solo, os compostos orgânicos promovem benefícios ao solo, favorecendo a elevação do pH, da soma de

bases (SB), da capacidade de troca catiônica (T) e da saturação por bases (V%), onde em seu estudo observou ligeiro aumento de pH com uso de cama de frango e esterco bovino.

Para Naramabuye e Haynes (2006) o aumento no valor de pH do solo com a adição de resíduos orgânicos é consequência principalmente do pH elevado desses insumos e pela presença de carbonatos de cálcio e de magnésio.

É observado variações nas alterações no pH do solo com uso de remineralizadores, principalmente em solos com alto poder tampão, influenciados pelo teor de argila e matéria orgânica. Estudos tem demonstrado menor influência e/ou ausência de efeito no pH de solos em condições de tamponamento, submetidos a aplicação de basalto (SUSTAKOWSKI, 2020; INOCÊNCIO et., 2009).

Porém, na presente pesquisa foram encontrados incrementos positivos nos valores de pH do solo, o que demonstram o grande potencial do pó de rocha de basalto em associação aos resíduos animais em alterar o pH do solo e mantê-lo em níveis adequados, proporcionando assim maior disponibilidade de nutrientes às plantas.

Ratke et al. (2020) verificaram aumento do pH do solo com a aplicação de pó de rocha e atribuíram esse resultado à presença de SiO_2 na sua composição mineralógica. De acordo com Menegale et al. (2015), os materiais contendo o íon silicato (SiO_4) em sua composição podem promover a elevação do pH do solo.

Cardoso et al. (2021) encontraram que os valores de pH aumentaram conforme houve o aumento das doses de pó de rocha de basalto, sendo o maior valor de pH (7,17) observado quando se aplicou a maior dose de pó de basalto (50 t ha^{-1}). Os autores atribuíram esse resultado as quantidades de Ca e Mg presentes no pó de rocha utilizado, sendo $12,38$ e $1,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

Por outro lado, Ferreira et al. (2009) utilizando a rochagem com pó de basalto de forma isolada nas doses de $2,5$, 5 e 10 Mg ha^{-1} 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. Segundo Kudla et al. (1996), a utilização unicamente do pó de basalto na correção da acidez em solos com alto poder tampão é pouco provável, pois é necessário a aplicação de altas doses do remineralizador.

O pH do solo em todas as camadas avaliadas sob o uso de doses de pó de rocha de basalto e os resíduos não diferiram do tratamento com adubação química solúvel.

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) das doses de basalto e resíduos animais sobre os valores de H+Al (acidez potencial) em nenhuma das camadas de solo estudadas, assim como

a mesma foi igual a obtida com o uso da adubação solúvel (0,00 -0,05 m Figura 22A; 0,05-0,10 m Figura 22B e 0,10-0,20 m Figura 22C).

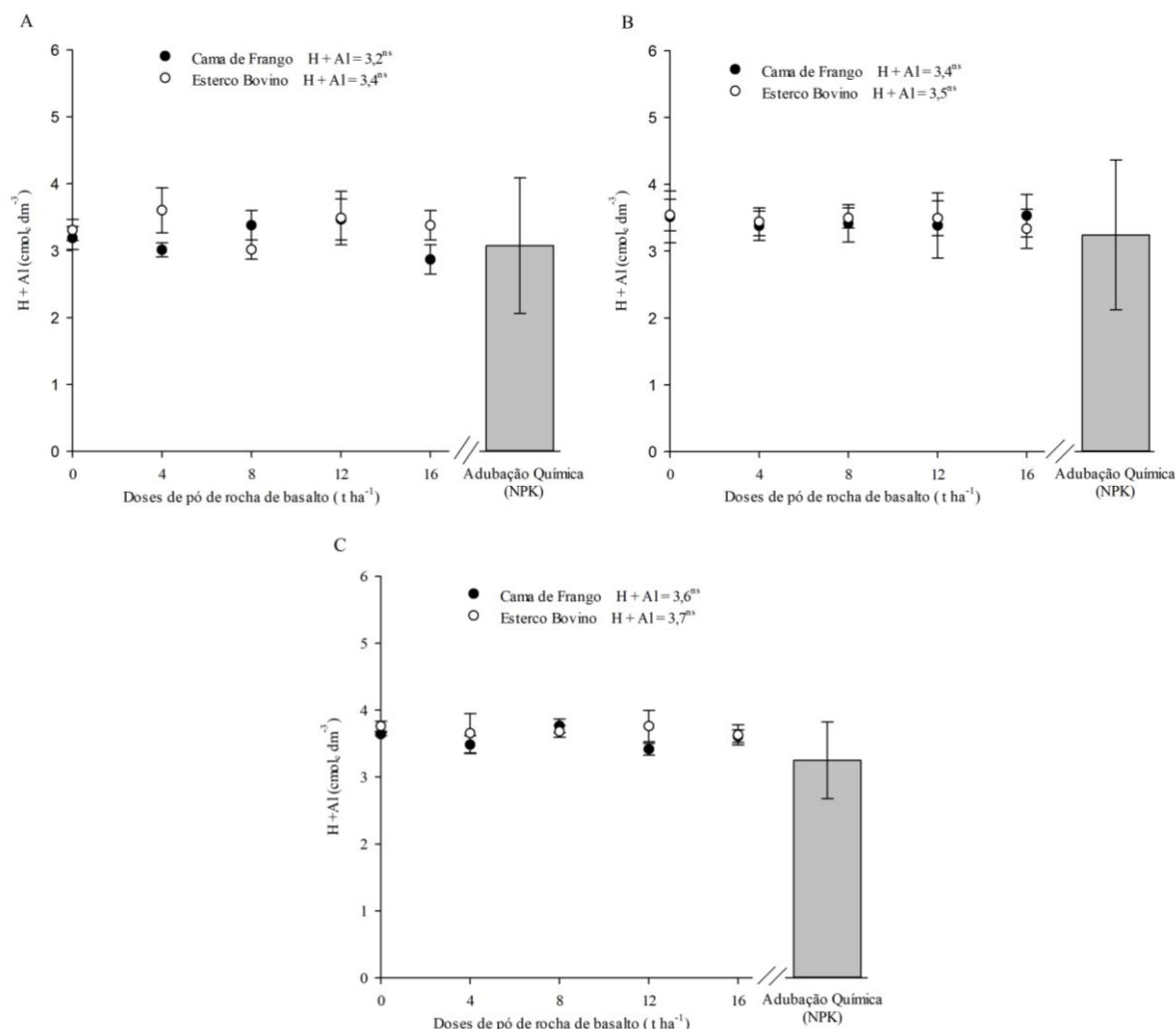


Figura 22 – H+Al do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha basáltica e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Observa-se que a acidez potencial apresentou valores baixos; provavelmente, pelo efeito do pH do solo. Dessa forma, esse resultado pode ser decorrente da complexação dos íons H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo por Ca, Mg e K adicionados via resíduos animais, o que reduziria a acidez potencial (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Para todas as camadas avaliadas (0,00-0,05 m Figura 23A; 0,05-0,10 m Figura 23B e 0,10-0,20 m Figura 23C), não foi observado efeito significativo da regressão ($p > 0,05$) das doses de pó de rocha basalto associadas a cama de frango e ao esterco bovino para os teores de

Carbono Orgânico (CO) do solo, assim como os valores encontrados de CO foram iguais aos verificados com o uso da adubação química solúvel.

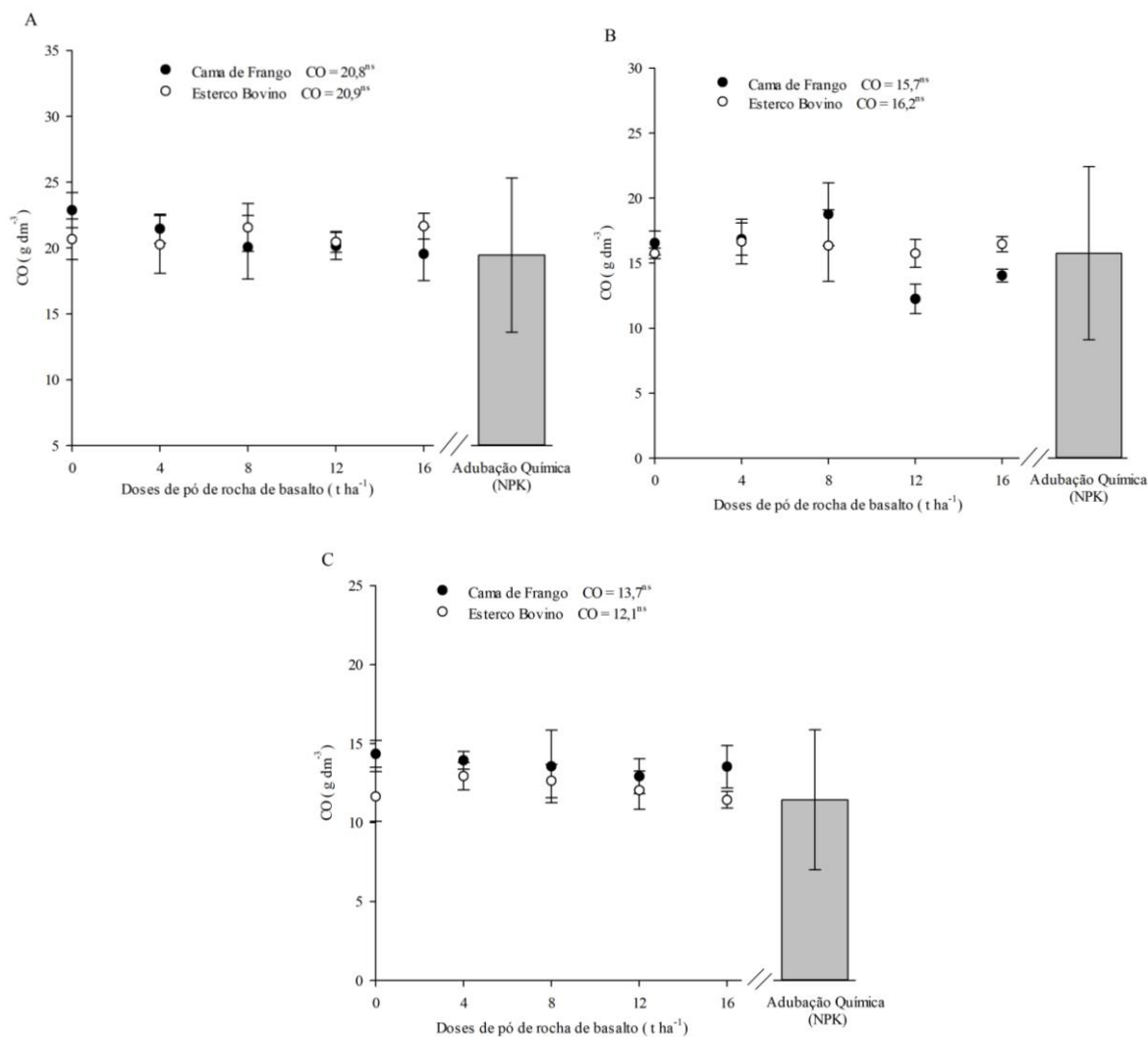


Figura 23 – Carbono Orgânico (CO) do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os teores de CO no solo oscilaram de médio (9-14 g dm⁻³) a muito alto (>20 g dm⁻³) (SBCS/NEPAR,2019), fato este que pode ser oriundo do efeito residual de CO promovido pelo uso dos resíduos animais no cultivo anterior e que somados ao efeito de sua utilização nesta safra pode ter favorecido o aumento nos teores médios de CO no solo, mesmo não se obtendo resultado significativo.

A duração do efeito residual de um resíduo orgânico depende de fatores climáticos, biológicos e edáficos, além dos fatores inerentes à composição da fonte utilizada, sendo que a

presença de materiais mais recalcitrantes, como os compostos orgânicos de maior complexidade e peso molecular, contribuem para maior permanência destes no solo (ZIMMER, 2002). A incorporação do CO dentro de agregados pode contribuir para a manutenção deste no solo por maior período, o que pode restringir o acesso dos microrganismos a estes compostos orgânicos (TISDALL; OADES, 1982).

Observa-se também que o maior teor de CO foi obtido na camada de 0,00 – 0,05 m (20,8 e 20,9 g dm⁻³) (Figura 23A), diminuindo conforme o aumento das profundidades. Isso porque a cama de frango e o esterco bovino foram distribuídos em superfície. Esse resultado corrobora com o encontrado por Ourives et al. (2010) que também observaram aumento do teor de MO na camada superficial com o uso de materiais orgânicos no solo; resultando em melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

Aliado a isso, Novais et al. (2007) enfatizam que solo com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de carbono. Essa influência está ligada à capacidade da MOS em formar diferentes tipos de ligação com partículas de elevada superfície específica, tais como as frações argila e silte, favorecendo a proteção coloidal da MOS. Esse mecanismo de proteção é mais atuante em camadas mais superficiais, onde a incorporação de resíduos orgânicos é maior e os processos de decomposição da MOS são mais ativos.

Para os teores de Ca no solo, houve efeito das doses de pó de rocha de basalto de basalto e os resíduos animais em todas as camadas avaliadas.

Na camada 0,00 - 0,05 m (Figura 24A), o teor de Ca aumentou quando o pó de rocha foi associado a ambos os resíduos. Os maiores valores de Ca foram observados na dose de 16 t ha⁻¹. Com a cama de frango o Ca inicial foi de 5,4 cmol_c dm⁻³ atingindo valor máximo de 8,1 cmol_c dm⁻³, ou seja, incremento de 50%. O esterco bovino associado a dose de 16 t ha⁻¹ resultou no teor de 7,0 cmol_c dm⁻³. Portanto, houve uma elevação de 21% em comparação ao teor inicial de Ca (5,8 cmol_c dm⁻³).

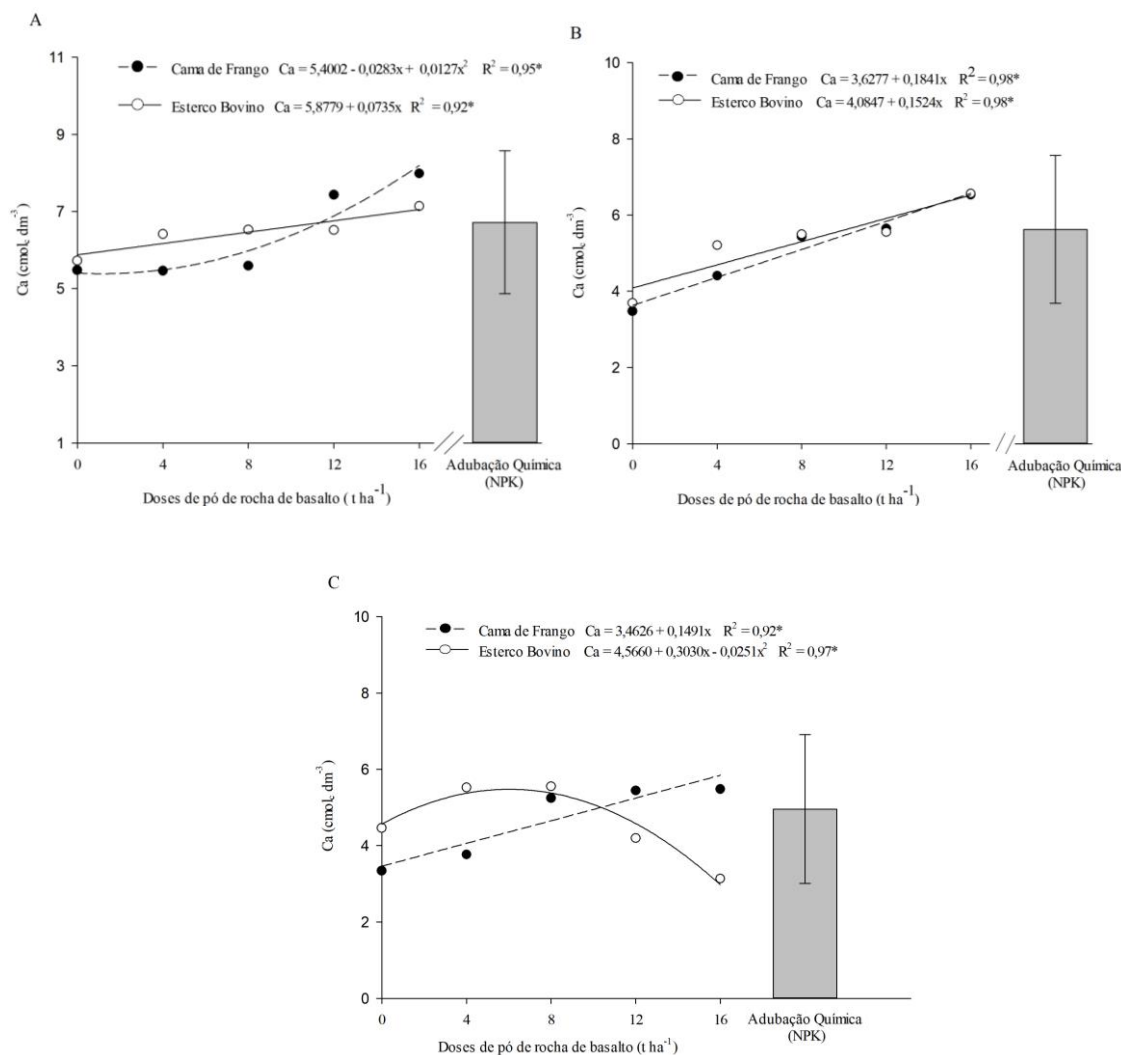


Figura 24 - Teor de Ca no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra.*: Significativo para ajuste da regressão polinomial. NOTA: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Na camada de 0,05-0,10 m (Figura 24B), o teor de Ca teve juste linear crescente. Na maior dose de pó de rocha de basalto (16 t ha⁻¹) o teor de Ca foi de 6,5 cmol_c dm⁻³ com o uso da cama de frango e esterco bovino.

Para última camada avaliada (0,10-0,20 m Figura 24C), o maior teor de Ca no solo (5,8 cmol_c dm⁻³) foi na dose de pó de basalto de 16 t ha⁻¹ com a cama de frango, enquanto com o esterco bovino foi na dose de 6,0 t ha⁻¹ (5,5 cmol_c dm⁻³).

Os teores encontrados de Ca com o pó de rocha associado aos resíduos foram estatisticamente iguais aos constatados com o uso da adubação química solúvel.

Os teores encontrados no estudo são considerados como alto (2,1-6,0 cmol_c dm⁻³) e muito alto (> 6,0 cmol_c dm⁻³) (SBCS/NEPAR, 2019). Esses resultados eram esperados visto do

grande potencial que o pó de rocha de basalto e os resíduos apresentam em incrementar os teores do nutriente no solo, principalmente na camada mais superficial.

Sustakowski (2020) aos 12 meses após a aplicação de pó de rocha, constatou aumento linear no teor de Ca na camada de 0,00-0,05m o que foi atribuído a presença de 9,73% de CaO no pó de basalto utilizado, sendo encontrado na dose de 12 t ha⁻¹ o maior teor de Ca (9,48 cmol_c dm⁻³), representando incremento de 25% em relação a ausência da aplicação de pó de rocha (7,55 cmol_c dm⁻³).

Os teores de Mg no solo apresentaram efeito dos tratamentos apenas na camada de 0,10-0,20 m (Figura 25C). O pó de rocha quando associado a cama de frango na dose de 6,7 t ha⁻¹ apresentou o maior teor de Mg (1,7 cmol_c dm⁻³) e quando associado ao esterco bovino esse resultado foi obtido na dose de pó de rocha de basalto de 4,2 t ha⁻¹ (1,9 cmol_c dm⁻³).

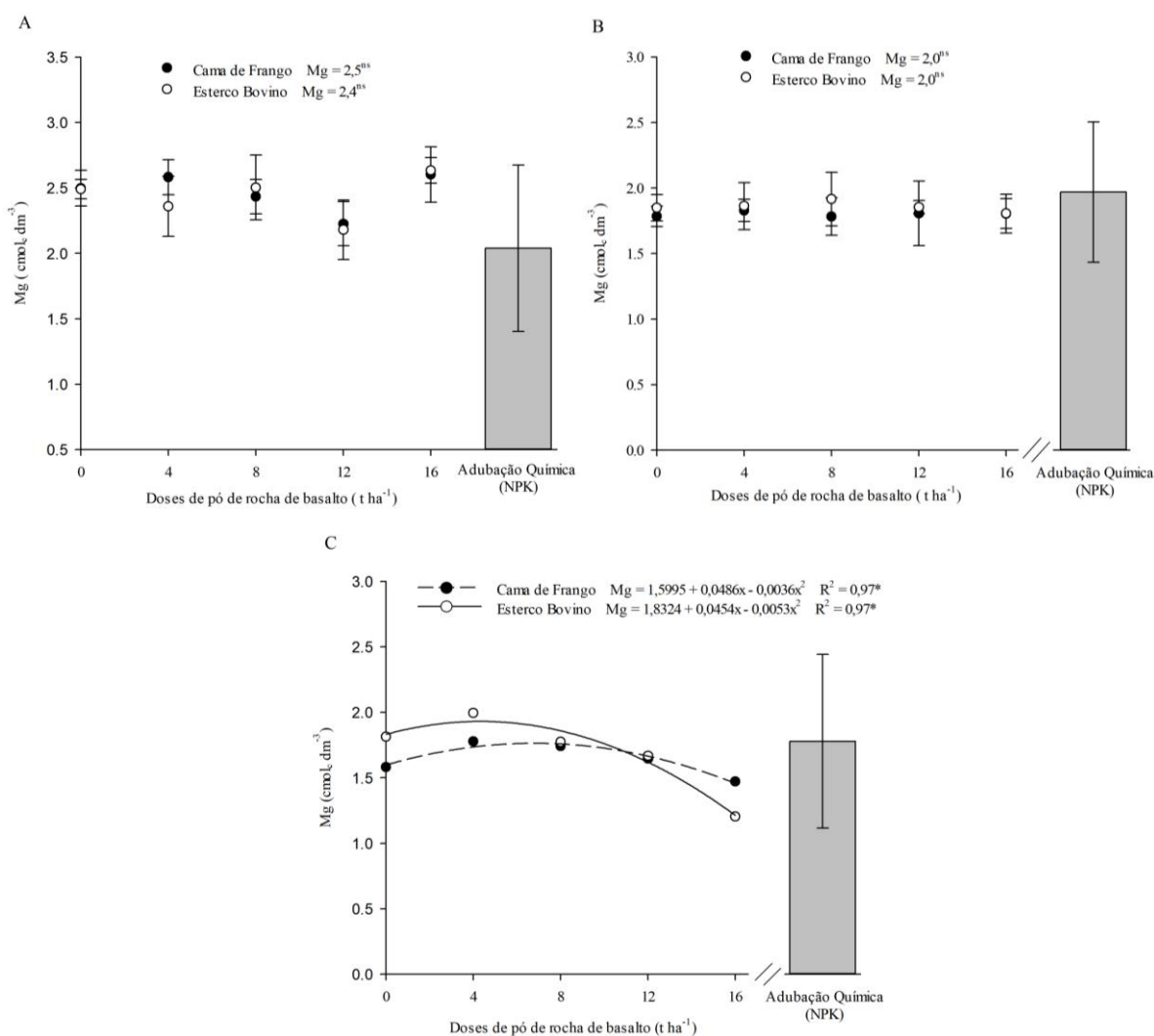


Figura 25 - Teor de Mg no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão

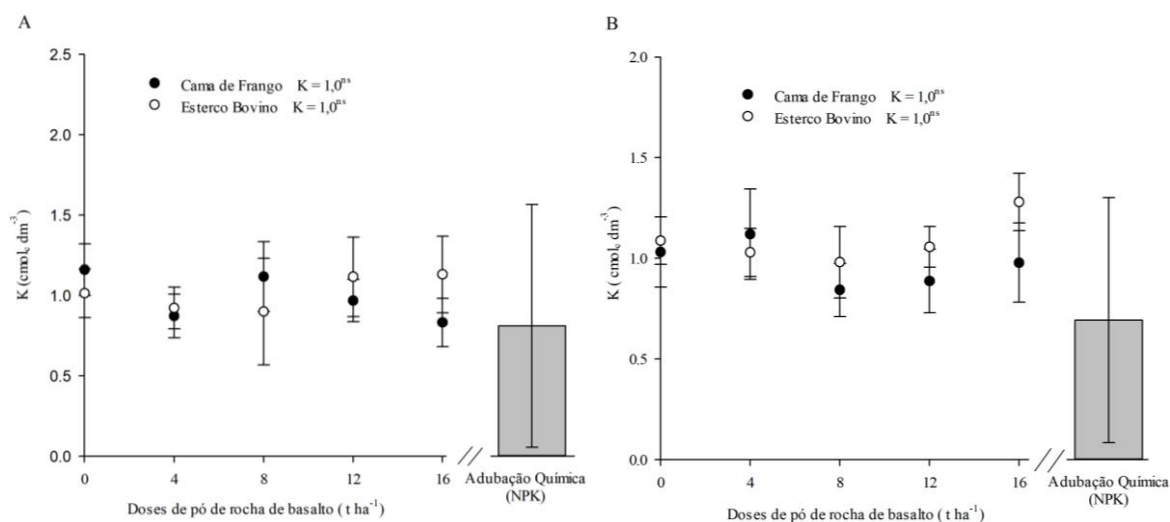
polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os resultados encontrados de Mg no solo com tratamentos foram iguais aos constatados com o uso da adubação química solúvel.

Ao avaliar os teores de Mg obtidos após o uso de pó de rocha e resíduo orgânico verifica-se que estes estão na faixa considerada alta ($1,1-2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e muito alto ($>2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SBCS/NEPAR, 2019).

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 do teor de Mg e micronutrientes no solo com o aumento das doses de pó de basalto aos 14 meses após sua aplicação.

Não foi encontrado diferença significativa do efeito das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais para os teores de K no solo em nenhuma das camadas avaliadas (0,00-0,05 m Figura 26A; 0,05-0,10 m Figura 26B e 0,10-0,20 m Figura 26C); assim como, não houve diferença significativa nos teores de K quando comparou-se o pó de rocha de basalto associado aos resíduos com a adubação química solúvel (NPK).



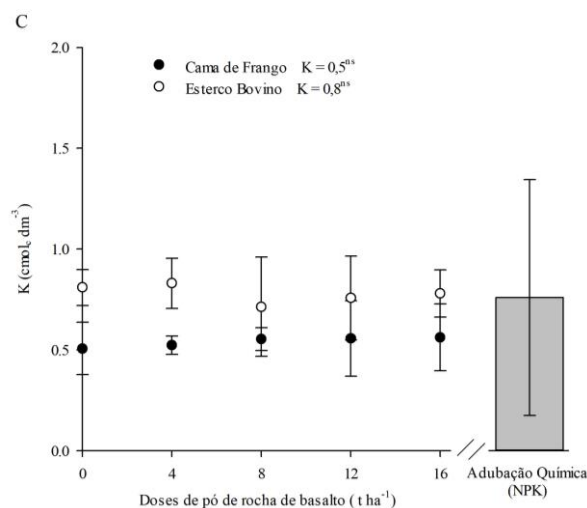


Figura 26 - Teor de K no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

As concentrações médias de K mantiveram-se elevadas ($>0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SBCS/NEPAR, 2019), fato este que indica que o pó de rocha de basalto e os resíduos contribuíram para este incremento, apesar de não ter refletido em significância. Essa ausência pode ser explicada pelo fato de que na maioria dos minerais silicáticos este nutriente está na forma insolúvel, apresentando uma liberação lenta no solo o que não impede um impacto significativo sobre a nutrição das culturas em longo prazo (ALOVISI et al., 2017). 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).

Também deve-se considerar que de acordo com Novais (2007), a capacidade dos adubos orgânicos de origem animal em liberar K para o solo independe da taxa de mineralização, já que se encontra mineralizado, por isso, tem o mesmo comportamento do K oriundo dos fertilizantes minerais e, por isso, se torna disponível às plantas imediatamente após o produto ser adicionado ao solo.

Os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com os de Sustakowski (2020) que após a aplicação de pó de basalto verificou que os teores de K não modificaram significativamente.

Houve efeito ($p < 0,05$) das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais na CTC do solo das três camadas avaliadas (0,00-0,05 m Figura 27A; 0,05-0,10 m Figura 27B e 0,10-0,20 m Figura 27C).

Nas três camadas avaliadas, é possível observar que a CTC aumentou de maneira linear com o incremento das doses de pó de rocha de basalto, apresentando valores máximos de CTC de 14, 13, 11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com a cama de frango na dose de basalto de 16 t ha^{-1} (Figura 27A, 27B e 27C respectivamente) e com esterco bovino de 15 e 13 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na referida dose (Figura 27A e 27B) e de 11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na dose basalto de $11,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 27C).

Não houve diferença para os valores de CTC do solo que recebeu as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos orgânicos em comparação ao submetido a adubação química solúvel.

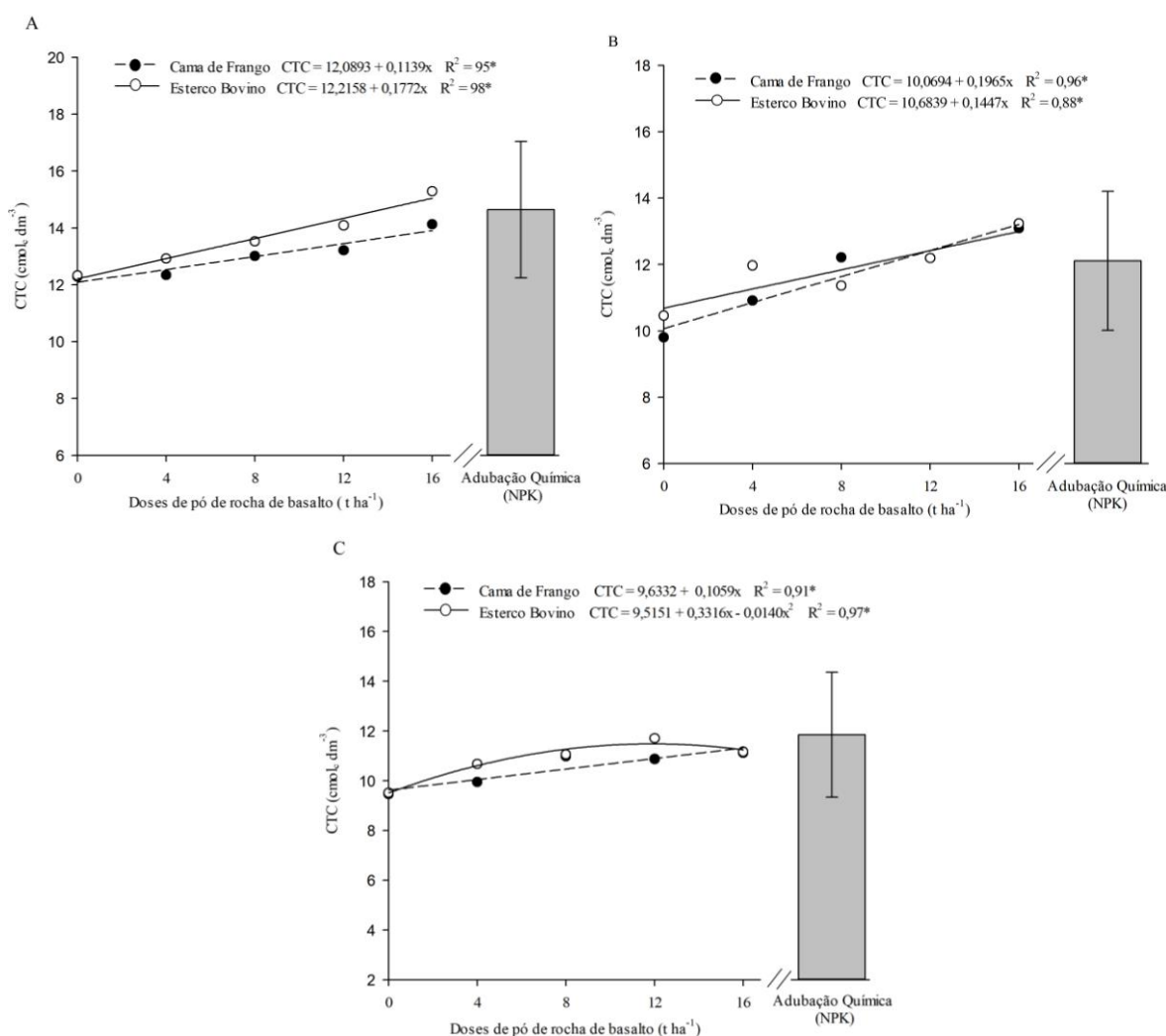


Figura 27 – Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha basáltica e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Os valores de CTC encontrados são tidos como médio ($8-14 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e alto ($15-24 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Isso pode ser efeito da ação dos resíduos orgânicos 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).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os teores de P em função das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais em todas as camadas de solo (0,00 - 0,05 m Figura 28A; 0,05-0,10 m Figura 28B e 0,10-0,20 m Figura 28C).

Os maiores teores de P no solo foram alcançados nas doses de pó de rocha de basalto de 7,5 t ha⁻¹ (35,6 mg dm⁻³), 16 t ha⁻¹ (28,6 mg dm⁻³) e 16 t ha⁻¹ (25,7 mg dm⁻³) com a cama de frango (Figura 28A, B e C respectivamente) e com esterco bovino na dose máxima de 16 t ha⁻¹ (37,0 mg dm⁻³ e 26,4 0 mg dm⁻³) (Figura 28A e B respectivamente) e com 8,7 t ha⁻¹ (21,0 mg dm⁻³) (Figura 28C). É importante observar também que na camada de 0,00 – 0,05 m (Figura 28A), o menor teor de P encontrado foi de 29,4 mg dm⁻³ na dose de 8,0 t ha⁻¹ com o esterco bovino, tendo a concentração do nutriente aumentada em 26 % com o uso da dose máxima (16 t ha⁻¹; 37,0 mg dm⁻³).

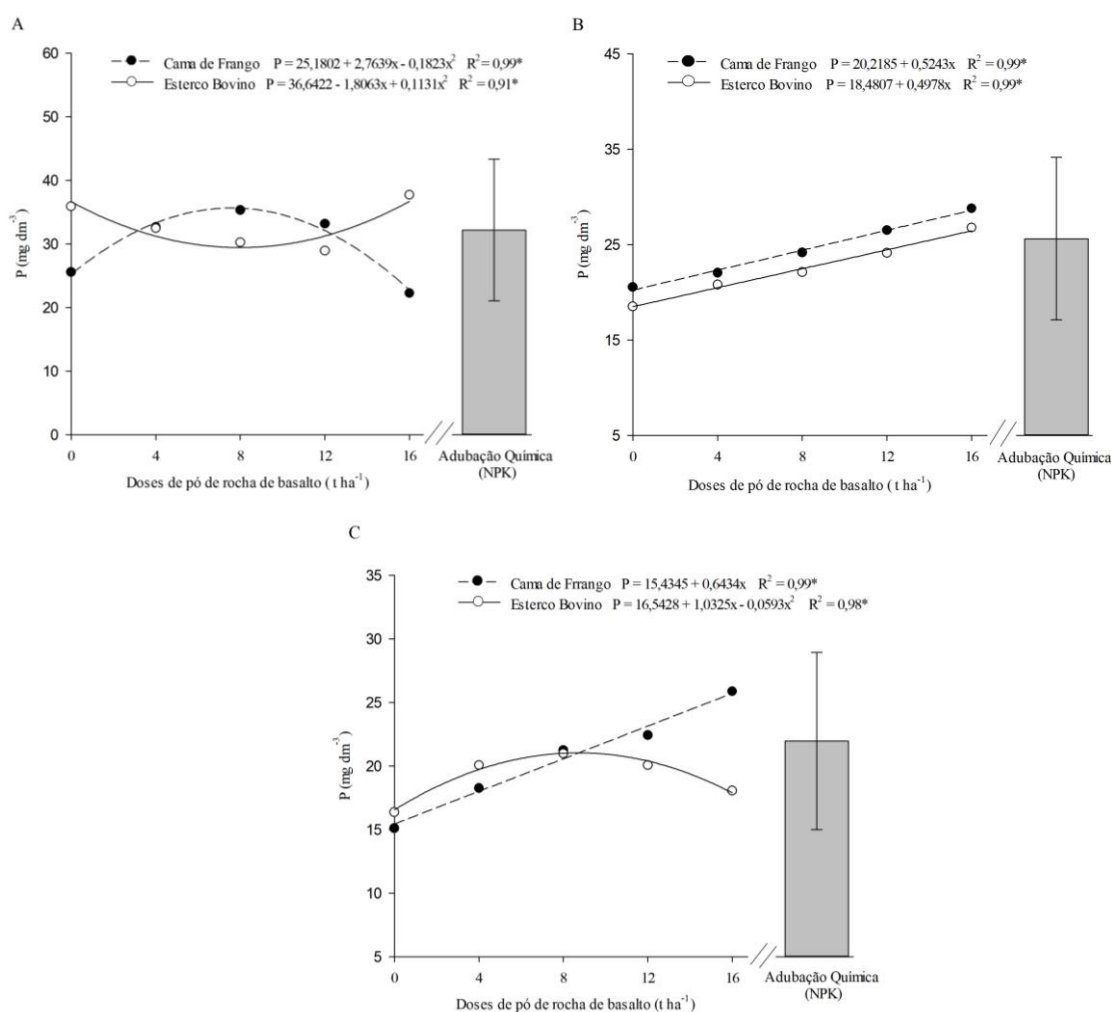


Figura 28 - Teor de P no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Não houve diferença nos teores de P para o solo que recebeu as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais em comparação ao submetido a adubação química solúvel.

Os valores de P encontrados são altos (22,5 a 30 mg dm⁻³) e extremamente altos (> 30 mg dm⁻³) (KORALAGE et al., 2015).

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).

Erhart (2009) testou quatro doses de pó de basalto (0, 10, 20 e 50 t ha⁻¹) associado ou não a aplicação de esterco bovino, em comparação com o uso de formulados NPK. O autor verificou que houve incremento no teor de P no solo conforme o aumento das doses de pó de basalto e que este resultado sofreu interferência da profundidade do solo, onde os maiores teores de P foram constatados em menores profundidades, o que evidencia a baixa mobilidade deste nutriente no solo.

Sustakowski (2020), encontrou diferença do nutriente na camada de 0,05-0,10 m, onde observou que houve incremento nos teores de P no solo até a dose de 7 t ha⁻¹ de pó de rocha basáltica, reduzindo após essa dose. Nessa camada houve incremento de P de 59% para a dose de 7 t ha⁻¹ (27,84 mg dm⁻³), em relação a ausência de pó de rocha que foi de 17,55 mg dm⁻³. E Muller et al. (2015) verificou que a aplicação de 8 t ha⁻¹ de pó de basalto apresentou tendência de aumento nos teores de P no solo. Assim como Borges et al. (2017) que encontraram aumento proporcional do teor de P no solo às doses de pó de rocha (3,2 a 6,4 t ha⁻¹) após 3 meses de aplicação.

Os resultados demonstraram que após duas safras, o pó de basalto foi exposto ao intemperismo possivelmente favorecido pela ação da atividade microbiológica presente nos resíduos, assim como outras condições edáficas e climáticas, que contribuiu para o aumento da solubilização dos minerais constituintes e liberação das frações de P presentes na tanto na rocha quanto nos resíduos animais é que se refletiu em significância para as três camadas estudadas.

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 (SUSTAKOWSKI, 2020).

3.2.2 Teores de Nutrientes Foliare

Para o cultivo do milho segunda safra com doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais, não foi observado modelo de regressão polinomial que ajustasse os dados para os teores de nitrogênio (N) foliar. O teor de N foliar do milho cultivado com pó de basalto nas doses de 12 t ha⁻¹ (31,9 g kg⁻¹), 16 t ha⁻¹ (31,5 g kg⁻¹) e os resíduos foram significativamente maiores que os obtidos com a adubação química solúvel (NPK) (28,9 g kg⁻¹) (Figura 29).

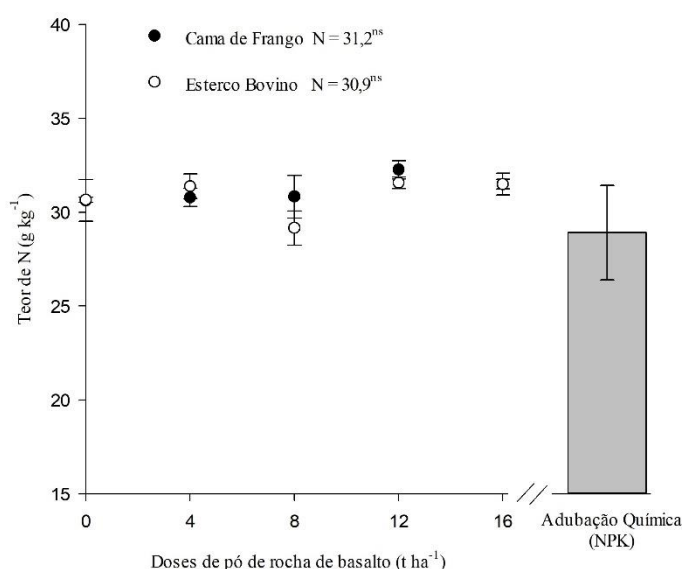


Figura 29- Teor de N foliar do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

A ausência de efeito no teor de N foliar do milho segunda safra submetidos aos tratamentos pode ter relação com a composição dos resíduos utilizados bem como a do pó de basalto, onde foram observadas quantidades próximas desse nutriente na cama de frango (24,78 g kg⁻¹) e esterco bovino (26,80 g kg⁻¹) que podem não ter sido o suficiente para expressar diferenças significativas nas folhas.

Além do que, deve-se atentar que também foi fornecido N para atender a demanda deste nutriente pela cultura, a partir de uma fonte mineral solúvel. As quantidades de nitrogênio aplicadas foram equivalentes em todos os tratamentos e isso pode ter contribuído para a falta de seu efeito (GHIZZONI et al., 2021).

Os teores médios (31,2 e 30,9 g kg⁻¹) de N no tecido foliar do milho segunda safra demonstra a elevada necessidade deste nutriente, sendo o mais acumulado pela planta (REIS, 2021).

Apesar de não ter constatado efeito significativo dos tratamentos, os teores foliares do nutriente podem ser interpretados como adequados, uma vez que se encontram dentro da faixa de suficiência (27-35 g kg⁻¹) indicada para cultura (SBCS/NEPAR, 2019). Este fato é importante uma vez que o N é usado na formação de proteínas; as quais, participam como enzimas, nos processos metabólicos das plantas, tendo neste, um papel mais funcional do que estrutural. Além disso, participa da composição da molécula de clorofila (RAIJ, 2011).

Resultados semelhantes foram obtidos por Ghizzoni et al. (2021), que não encontraram diferenças significativas para o teor de N no milho cultivado com fontes de nutrientes a base de pó de rocha e resíduos orgânicos.

Os resultados experimentais do teor de fósforo (P) foliar no milho segunda safra mostram que não foi constatado efeito significativo das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos. O teor de P obtido no milho cultivado com as doses pó de basalto e resíduos animais não apresentou diferença do observado na adubação solúvel com NPK (Figura 30).

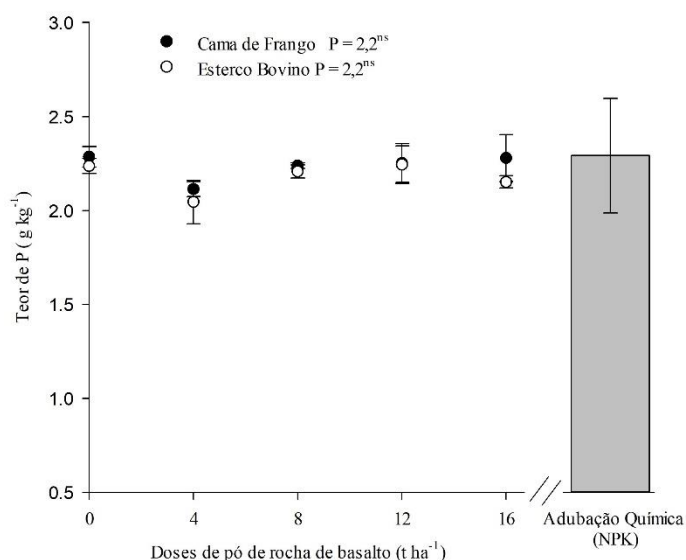


Figura 30- Teor de P foliar do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

A ausência de resposta nos teores de P foliar, não interferiu nos valores obtidos do nutriente que em média foi de 2,2 g kg⁻¹, estando dentro faixa adequada (1,9-4,0 g kg⁻¹) para a cultura. O fósforo está presente nos processos de transferência de energia e seu suprimento

adequado é importante para a formação dos primórdios das partes reprodutivas. Em quantidades adequadas, o nutriente estimula o desenvolvimento radicular (RAIJ, 2011).

Com base nos valores de P, infere-se que o pó de rocha em conjunto com os resíduos animais pode ter contribuído para a liberação do nutriente (fato este que foi observado pelos elevados teores de P encontrados no solo) e com isso a absorção pela planta, refletindo nos adequados teores foliares. Estas respostas revelam o potencial desses insumos como fontes alternativas para a nutrição das culturas (GHIZZONI et al., 2021).

Resultados contrários foram constatados por Ghizzoni et al. (2021) que estudando o milho submetido a fontes de nutrientes, encontraram que as parcelas que receberam apenas a cama de poedeiras de forma isolada e associada ao pó de rocha resultaram em maiores teores de P foliar ($1,7 \text{ g kg}^{-1}$).

O teor de potássio (K) foliar no milho cultivado com doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais não apresentou diferença significativa para nenhum dos modelos de regressão polinomial testados. Quando se comparou este nutriente no milho segunda safra cultivado com as doses e resíduos, notou-se que ambos apresentaram o mesmo teor de K foliar quando comparado a adubação solúvel (Figura 31).

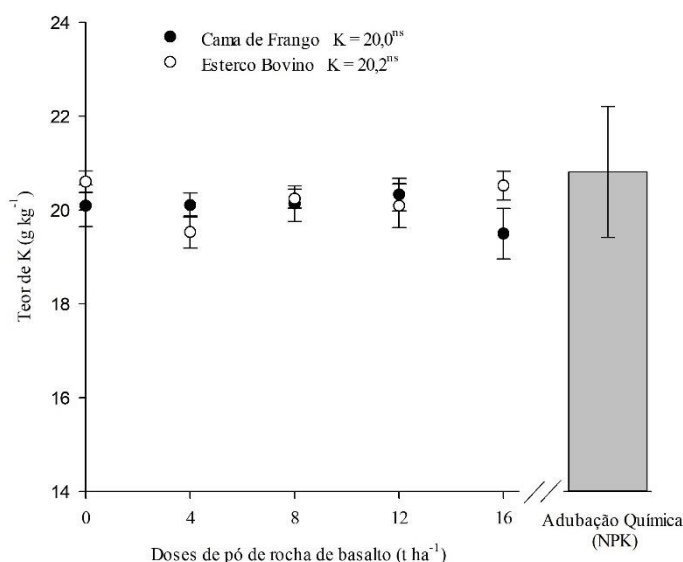


Figura 31- Teor de K foliar do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

O K é um dos macronutrientes mais utilizados pelo milho sendo o segundo mais demandado pela cultura, perdendo apenas para o N. Sua inadequada disponibilidade pode interferir diretamente nos fatores produtivos (KINPARA, 2003; REIS, 2021). É um elemento essencial aos processos metabólicos nas plantas, pois exerce fundamental papel na fotossíntese,

regula a entrada de dióxido de carbono, através da abertura e fechamento dos estômatos, ativação de sistemas enzimáticos e de manutenção da turgidez das células (ANDRADE et al., 2000; RAIJ, 2011).

O K se apresentou em quantidades adequadas nas folhas (17-35 g kg⁻¹) fato este constatado no presente estudo (20,00 e 20,2 g kg⁻¹ para cama de frango e esterco bovino respectivamente) o que é um bom indicativo pois pode ser reflexo dos tratamentos utilizados. Como esse nutriente estava em quantidades altas no solo, as condições de clima e solo favoreceram sua absorção em quantidades suficientes o que foi constatado pelos teores foliares. O K nas folhas é consequência da disponibilidade do nutriente no solo, das condições de absorção pelas raízes e de sua translocação para a parte aérea, incluindo os grãos (NOVAIS et al., 2007).

Na maioria dos minerais silicáticos os nutrientes são liberados de forma gradativa em uma concentração dependente da composição mineral da rocha. Porém, essa liberação lenta não impede um impacto significativo sobre a nutrição das culturas de médio a longo prazo, onde a disponibilização mais lenta e gradual pode otimizar o aproveitamento do nutriente pelas plantas e reduzir perdas por lixiviação (SUSTAKOWSKI, 2020; RESENDE et al., 2006).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para o teor de Cálcio (Ca) foliar no milho cultivado com doses de basalto, cama de frango e o esterco bovino (Figura 32). As doses de basalto associada a cama de frango, apresentaram um comportamento linear decrescente para o Ca, obtendo assim o teor de máximo de 3,4 g kg⁻¹ na ausência de pó de rocha (0 t ha⁻¹) e diminuindo de acordo com o aumento das doses. Já para o esterco bovino, foi possível verificar efeito quadrático, apresentando máximo teor de Ca (3,6 g kg⁻¹) com a dose de 6,0 t ha⁻¹ de pó de basalto.

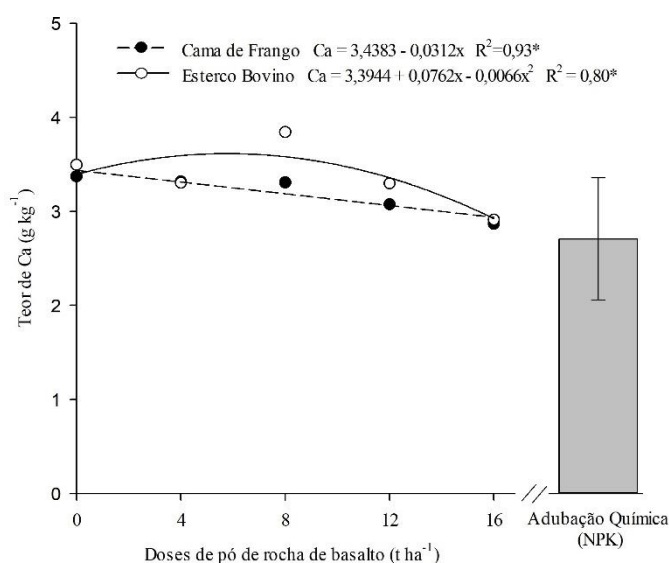


Figura 32- Teor de Ca foliar do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Pode-se identificar que a utilização de doses de basalto com o esterco bovino proporcionou maiores teores de Ca foliar no milho quando comparado com a cama de frango e apesar do decréscimo em seus valores conforme aumento das doses, o nutriente manteve-se em teores adequados no tecido foliar, ficando entre a faixa recomendada para a cultura (2,3-8,0 g kg⁻¹) (SBCS/NEPAR, 2019).

O milho cultivado com esterco bovino apresentou diferença no teor de Ca foliar (acima de 3,4 g kg⁻¹) entre as doses pó de rocha de basalto de 0,5 a 11,03 t ha⁻¹, quando comparado ao obtido na adubação solúvel (2,7 g kg⁻¹). Já analisando as doses de pó de basalto associada a cama de frango, é possível observar que estas foram iguais as constatadas no milho utilizando a adubação solúvel.

Foi possível verificar efeito significativo das doses de pó de rocha de basalto e resíduos (p<0,05) para os teores de Magnésio (Mg) foliar no milho. Nota-se que o nutriente apresentou comportamento diferente para cada resíduo e doses de basalto utilizadas no estudo (Figura 33).

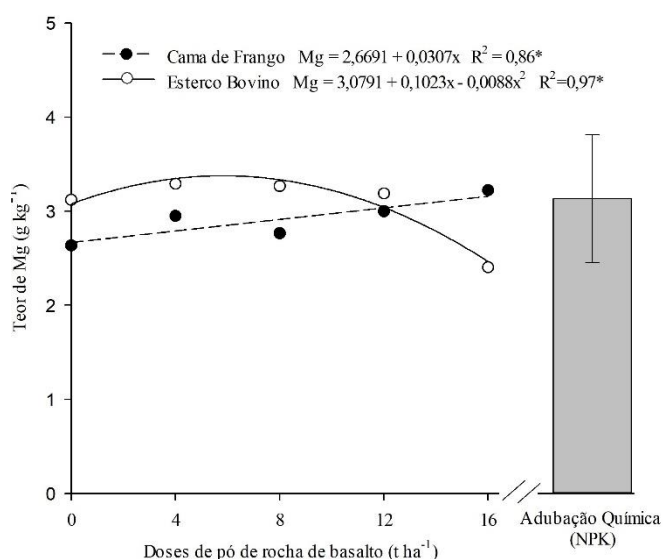


Figura 33- Teor de Mg foliar do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Houve incremento no teor de Mg foliar de forma linear crescente no milho cultivado com cama de frango à medida que as doses aumentaram, apresentando máxima concentração do nutriente de $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ com a maior dose aplicada (16 t ha^{-1}). O aumento médio no teor de Mg em função da aplicação da maior dose de pó de rocha foi de 15,6% em relação a ausência de pó de rocha ($2,7 \text{ g kg}^{-1}$).

Quando foi utilizado esterco bovino com as doses de pó de rocha de basalto, a regressão quadrática foi a que melhor ajustou aos dados de Mg foliar. Na dose de 6 t ha^{-1} pode-se obter o maior teor de Mg foliar ($3,4 \text{ g kg}^{-1}$) no milho segunda safra.

De acordo com os resultados, o esterco bovino conforme aumento das doses de pó de basalto apresentou teores de Mg maiores que o da cama de frango até a dose de $12,01 \text{ t ha}^{-1}$, e a partir desta, houve comportamento inverso, apresentando a cama de frango os maiores valores de Mg foliar.

Comparado as doses de pó de rocha de basalto e resíduos com a adubação química solúvel, verificou-se que os teores de Mg foliar foram iguais. É importante salientar também que o teor foliar de Mg ficou dentro da faixa adequada ($1,5\text{-}5,0 \text{ g kg}^{-1}$) de concentração foliar (SBCS/NEPAR, 2019).

Segundo Ferreira et al. (2009) o basalto (rocha básica de origem vulcânica) é constituído principalmente por minerais aluminosilicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios, pouco resistentes ao intemperismo químico e importantes fontes de Ca, Mg e micronutrientes. Kämpf et al. (2009) ainda afirmam que nutrientes como Ca e Mg são liberados

mais rapidamente pelas rochas, em comparação a outros nutrientes, porém isso pode ainda variar uma vez que a solubilização da rocha é dependente de inúmeros fatores.

Reis (2021) enfatizou que os teores de óxidos de Ca e Mg contidos no pó de basalto, sugerem que o material pode ser fonte desses nutrientes e com isso, espera-se uma maior resposta desses nutrientes.

Este fato pode justificar os resultados obtidos, já que o pó de basalto usado no estudo apresentou em sua composição cerca de 9,73 % de CaO e 5,21% de MgO que associado aos elementos contidos nos resíduos animais (cama de frango apresentou 110 g kg⁻¹ de CaO e 57 g kg⁻¹ de MgO; e o esterco bovino com 13 g kg⁻¹ de CaO e 15,0 g kg⁻¹ de MgO), foram disponibilizados no solo e aproveitados pelo milho e seus teores refletidos na folha até certo ponto do uso das doses, uma vez que, em geral, a planta absorve os nutrientes necessários para atender suas funções metabólicas, por mais que este se apresente com ampla disponibilidade no solo.

Além do que, o processo de decomposição da rocha que é lento e contínuo permite que os minerais não absorvidos sejam submetidos a vários processos de interações com os componentes biológicos do solo e podem ser aproveitados em novo ciclo de cultivo (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022).

Da Silva et al. (2017) ainda destacam que a associação dos pós de rocha com materiais orgânicos que favoreçam a atividade biológica como os que foram usados na pesquisa, pode influenciar no processo de alteração dos minerais e disponibilidade dos nutrientes fazendo com que sejam aproveitados pela cultura. Estes efeitos podem ter sido preponderantes para liberação parcial de alguns nutrientes ao solo e posterior aproveitamento pela planta.

3.2.3 Produtividade do Milho Segunda Safra

O número de grãos por espiga (NGE) do milho segunda safra apresentou efeito linear, onde a dose de pó de rocha de basalto de 16 t ha⁻¹ associada a cama de frango e ao esterco bovino proporcionaram as maiores quantidades de grãos de milho, com 444 e 437 respectivamente. O NGE do milho cultivado com as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais não diferiu do encontrado com o seu cultivo sobre adubação química solúvel (NPK) (Figura 34).

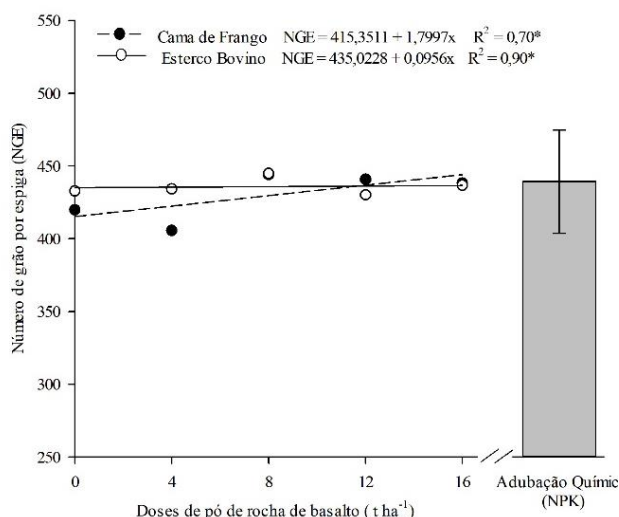


Figura 34 - Número de grãos por espiga (NGE) do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha basáltica e resíduos animais. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Corroborando com esses resultados, Aguilera (2022) estudando o efeito residual de doses de pó de basalto no milho segunda safra também verificou aumento significativo no NGE do milho com a maior dose de basalto.

Quanto a Massa de mil grãos (MMG) não houve efeito significativo para doses de pó de rocha de basalto e os resíduos. Embora não tenha acarretado respostas significativas para os modelos de regressão polinomial testados nas diferentes doses, o esterco bovino resultou em incremento de aproximadamente 2 % a mais na massa de mil grãos em relação cama de frango. A massa de mil grãos do milho cultivado com pó de rocha de basalto e resíduos animais foi igual ao produzido com a adubação química solúvel (Figura 16).

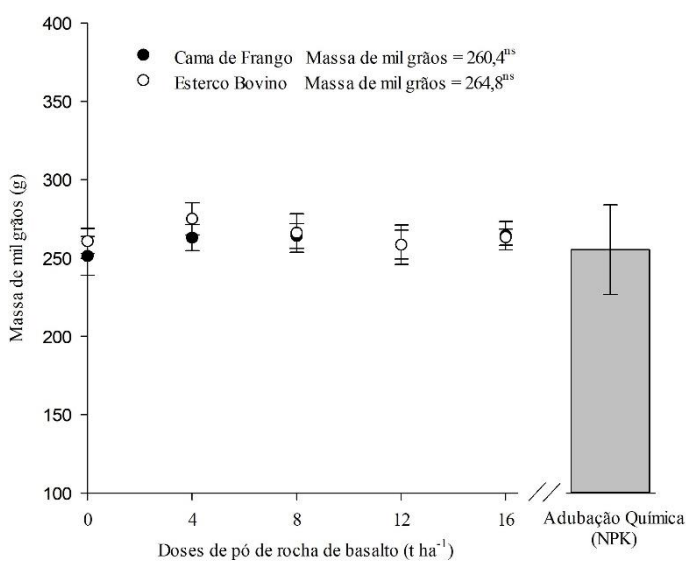


Figura 35- Massa de mil grãos (g) de milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{ns}: Não significativo para ajuste da regressão polinomial. Notas: Barras dos pontos indicam o erro médio. Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Resultados semelhantes foram obtidos por Reis (2021), quando cultivou o milho na presença (12 t ha⁻¹) e ausência (0 t ha⁻¹) de pó de rocha, não identificando diferenças significativas para os componentes agronômicos de rendimento, entre eles a massa de mil grãos.

Marquette e Castamann (2017), em experimento com diferentes doses de pó de rocha e fontes de fertilizantes na cultura do milho, constataram que nenhum dos tratamentos testados influenciou a massa de mil grãos do milho e nem a interação do pó de rocha com esterco bovino.

Ghizzoni et al. (2021), encontraram para a massa de mil grãos que o tratamento com pó de rocha e cama de frango apresentou o valor médio de 261,2 g, sendo igual ao obtido quando se utilizou apenas o composto de cama de poedeira. Assim, os resultados evidenciaram que tanto a aplicação do composto quanto a aplicação deste com o pó de rocha promoveram o acréscimo da massa seca de mil grãos de milho. Mesmo não sendo constatado efeito significativo para massa de mil grãos, o valor encontrado no presente trabalho (260,4 g) está próximo ao obtido por Ghizzoni et al. (2021) (261,2 g).

Observou-se significância ($p < 0,05$) entre as doses de pó de rocha de basalto e ambos os resíduos utilizados para os valores de produtividade do milho segunda safra, apresentando comportamento semelhante (Figura 36). Verifica-se que houve incremento na produtividade do milho cultivado com cama de frango e esterco bovino até as doses de basalto de 3,7 t ha⁻¹ (5.154,7 kg ha⁻¹) e 3,1 t ha⁻¹ (5.207,7 kg ha⁻¹) respectivamente.

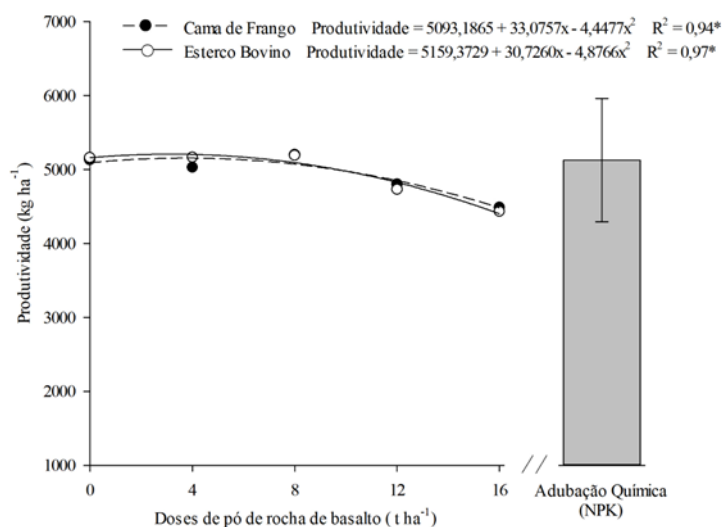


Figura 36 – Produtividade do milho segunda safra em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais. ^{*}: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Solúvel indica DMS Dunnett (5% de erro).

Como a solubilização dos minerais contidos na rocha é lenta e depende de inúmeros fatores como já mencionados, o tempo de reação pode ter sido insuficiente para uma dissolução considerável dos minerais presentes nas maiores quantidades de basalto e somado as condições climáticas e edáficas durante o ciclo da cultura, pode ter favorecido ainda mais o gradual processo do intemperismo, contribuindo para a liberação lenta dos nutrientes ao solo e refletindo em seu limitado aproveitamento de forma imediata pela cultura e como consequência no seu rendimento.

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. Além do que evita a contaminação do solo e dos recursos hídricos pelo excesso e pode contribuir na formação de minerais secundários que agem na elevação da CTC do solo com redução das perdas por lixiviação dos nutrientes na solução do solo (THEODORO et al., 2012; MARTINS et al., 2010).

Pode ser vantajoso utilizar o pó de rocha na agricultura, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes que podem ser utilizados de curto a longo prazo (COLA; SIMÃO, 2012).

Em função dos resultados, é possível verificar que o milho segunda safra estava nutricionalmente bem equilibrado e que a aplicação do pó de rocha com resíduos animais não proporcionou efeitos negativos ou desequilíbrios nutricionais que possam ter influenciado nos fatores produtivos (REIS, 2021).

Alovisi et al. (2017) quando conduziram experimento com a utilização de doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹) associados ou não a bioativo na cultura do milho em única safra e registraram que o tratamento não influenciou o rendimento de grãos e outras variáveis tecnológicas da planta.

Já Almeida et al. (2004), em experimentos com pó de basalto, isolado e associado ao esterco bovino, em cultivo de feijão, observaram que os maiores rendimentos foram obtidos com 2 t ha⁻¹ de basalto, seguido do tratamento com 4 t ha⁻¹ de basalto associado ao esterco bovino. Também Ghizzoni et al. (2021), verificaram que as maiores produtividades de grãos com composto de cama de poedeiras aplicado isolado foi de 6.650,44 kg ha⁻¹ e a do associado ao pó de rocha foi de 6.407,20 kg ha⁻¹.

O milho quando cultivado com as doses de pó de rocha e resíduos não apresentou diferença de produtividade em relação ao cultivo com a adubação química solúvel. Isso reforça

a ideia de que o uso de basalto associado aos resíduos animais na agricultura se caracteriza como estratégia eficiente, onde os resultados da pesquisa foram equivalentes aos obtidos com o uso da adubação solúvel.

Segundo Pádua (2012), a rochagem pode ser utilizada como uma técnica complementar à fertilização, podendo atuar como forma de garantir um maior estoque dos nutrientes para a reposição na solução do solo à medida que os das fontes solúveis fossem demandados pelas plantas, adsorvidos ou perdidos com a lixiviação e erosão do solo. Sustakowski (2020) enfatizou que quando a adubação química 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, refletindo assim no desempenho das culturas.

Esses resultados corroboram com os constatados por Dettmer et al. (2020), no qual concluíram que as produtividades do milho foram semelhantes a adubação com fertilizante mineral NPK e com o uso de pó de rocha. Assim como para Writzl et al. (2019) que observaram efeitos favoráveis à utilização da associação de adubos orgânicos com pós de rocha. A mistura de pó de basalto e cama de frango proporcionou rendimento de grãos de milho pipoca equivalente à obtida com a aplicação de fertilizantes minerais solúveis.

De acordo com levantamentos da Conab (2022), a produtividade do milho segunda safra a nível de Brasil foi de 5.580 kg ha⁻¹, no estado do Paraná foi em média de 5.484 kg ha⁻¹ e a de Entre Rios do Oeste-PR, município onde foi desenvolvido a pesquisa foi de 5.200 kg ha⁻¹.

Desta forma, observa-se que as produtividades máximas obtidas no estudo (5.154,7 kg ha⁻¹ e 5.207,7 kg ha⁻¹) foram inferiores à média nacional e a do estado, e próximas a adquirida no município.

Esses resultados podem ser atribuídos às condições meteorológicas instáveis que resultaram em distribuição irregular de chuva ao longo do ciclo da cultura, como demonstrado na Figura 1. Entre janeiro a março houve um baixo regime hídrico que proporcionou em média apenas 60 mm de precipitação nos três primeiros meses de cultivo e nos meses seguintes foram obtidos 167 mm, ou seja, quase o triplo do constatado no início.

Foi observado também que no final de março e início de abril, a cultura entrou na fase VT (Pendoamento) e posteriormente em R1 (embonecamento e polinização), período este em que houve os maiores volumes de precipitação (Figura 2).

A Região Sul do país tem um histórico de períodos prolongados de estiagem, baixos níveis pluviométricos e irregularidade na distribuição das chuvas, o que pode impactar a

evolução fenológica das plantas e comprometer o potencial produtivo da cultura (CONAB, 2022).

Segundo Machado (2016), devido ao fato de o milho necessitar de uma precipitação média de 400 a 600 mm de água durante o ciclo, o déficit hídrico ou o excesso de chuva em determinadas fases do desenvolvimento podem comprometer a produtividade final, principalmente para aqueles que se encontram em fase de pendoamento, isso porque a chuva pode lavar o pólen impossibilitando a polinização e fecundação da boneca.

Ainda Magalhães e Durões (2006) reafirmam que nos estádios de VT a R1, a planta de milho é mais vulnerável às intempéries da natureza que qualquer outro período, devido ao pendão e todas as folhas estarem completamente expostas.

Neste sentido, as condições citadas acima podem justificar os baixos valores de rendimento do milho segunda safra, o que dessa forma acabou limitando as respostas dos tratamentos testados.

Ainda assim, é uma necessidade desenvolver experimentos de longa duração, tendo em vista a maior compreensão do efeito residual do pó de rocha e os fatores que podem influenciar a liberação dos elementos minerais para o solo, levando em consideração os diferentes sistemas de produção, associações com adubos orgânicos, a microbiota entre outras interações e seus efeitos nas plantas cultivadas (GRECCO et al., 2013).

4 CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo foram influenciados pelo uso do pó de rocha de basalto e resíduos animais, contribuindo para o incremento e manutenção das concentrações e níveis adequados no solo, com efeitos significativamente positivos o que indica a construção de um ambiente edáfico favorável ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

Os teores foliares de P e K da soja apresentaram incrementos com o uso do pó de rocha de basalto até as doses de pó de rocha de basalto de 11,3 t ha⁻¹ e 16,0 t ha⁻¹ associado a cama de frango e até as doses de basalto de 6,7 t ha⁻¹ e 8,5 t ha⁻¹ com o esterco bovino, respectivamente; e Ca e Mg aumentaram expressivamente sua disponibilidade com a elevação das doses de pó de rocha de basalto.

Não foi verificado efeito das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais para nenhum dos componentes de produtividade da soja, mas ainda assim, obteve-se valores expressivos, mantendo bons resultados de produtividade.

Os atributos do solo, teores de nutrientes foliares e produtividade da soja encontrados com a aplicação de basalto associado aos resíduos foram iguais aos constatados com o uso da adubação química solúvel.

Os teores de N, P, K e Mg no tecido foliar do milho segunda safra cultivado com pó de basalto associado a cama de frango e esterco bovino foram iguais aos constatados na adubação química solúvel, assim como para o número de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade.

O uso de esterco bovino com as doses de pó de rocha de basalto favoreceram maiores teores de Ca e Mg no tecido foliar no milho, sendo igual ao constatado na adubação convencional.

As maiores produtividades do milho segunda safra foram obtidas na dose de basalto de 3,7 t ha⁻¹ (5.154,7 kg ha⁻¹) com cama de frango e na e 3,1 t ha⁻¹ (5.207,7 kg ha⁻¹) com esterco bovino.

Neste sentido, o pó de rocha de basalto associado a cama de frango e ao esterco bovino podem ser recomendados e utilizados para melhoria dos atributos químicos do solo e como fonte alternativa e complementar de adubação para as plantas, contribuindo para maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE REMINERALIZADORE DE SOLO E FERTILIZANTES NATURAIS (ABRAFEN). **Revista novosolo**, v.3, 2023.

AGUILERA, J.G.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; TRENTO, A. C. S.; LIMA, R. E. L.; GRIS, G. A.; MORAIS, K. A. D de.; SILVA, J. X da.; MARTINS, W. C. Influência de doses de polvo de basalto sobre cultivares de soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 5197-3974, 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3974.

AGUILERA, Jorge G.; ALVES, Zinete.; ZUFFO, Alnan M.; RATKE, Rafael F.; SILVA, Luane N. da S.; DA SILVA, Carlos E. S.; MARTÍNEZ, Leandris A.; GONZALES, Herbt H. S. Efeito Residual de Doses de Pó de Basalto no Milho Segunda Safra. **Ensaio e Ciências**, v. 26, n. 2, p. 281-288, 2022

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SOUZA, A. I.; ALMEIDA, E. V de; CARNEIRO, A. O. T.; SANTOS, L. J. S.; GARCIA, E da, C.; BASTOS, R. J. M. M.; FERREIRA, D. V.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B; C.; SILVA, D. S da. Milho implantado em segunda safra no Centro-Oeste do Brasil com utilização do remineralizador micaxisto. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 29669-29680, 2022.

ALMEIDA JÚNIOR, J.J. et al. Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. **Brazilian Journal Development**, v. 6, n.11, p.88440-88446, 2020.

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.

ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, K. A. de; MAFRA, A. L. Saprólito de basalto cozeólitas como fonte de nutrientes as plantas. In: Reunião de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 26., Lages, 2004. **Resumos...** Lages: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1 CD (Resumos/FSNP), 2004.

ALOVISI, A. M. T.; FRANCO, D.; ALOVISI, A. A.; HARTMANN, C. F.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S. da. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 57-68. 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).

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M. da; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. de. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 6, n. 29, p. 1589-1595, 2000.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2022.

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.

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 indirectselection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, p.151-159, 2006.

BEDIN, F. SILVA, V. N.; PRITSCH, E. J. P.; ZANETTI, E. J.; STECKLING, E. A. S.; SANTOS, E dos. Efeito de doses de adubo orgânico no desenvolvimento inicial de plantas de trigo. **Ciência Agrícola, Rio Largo**, v. 20, n. 3, p. 13-20, 2022.

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.

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

BRASIL. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050:** Uma Estratégia para os Fertilizantes no Brasil. Brasília: SAE, 2021, 195 p.

CAMARGO, C. K. **Produtividade, caracterização físico-química e dinâmica de nutrientes no morangueiro cultivado sob doses de esterco bovino e pó de basalto.** 94p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

CARDOSO, W. P. S.; LIMA, R. de S.; CAZELA, E. B.; SOUZA, C. D de.; SOUZA JÚNIOR, I. G de.; COSTA, A. C. S. da. Efeito do pó de basalto no pH de um LATOSSOLO VERMELHO. Encontro Internacional de Produção Científica da UNICESUMAR, 2021. Disponível em: 890.pdf (unicesumar.edu.br). Acesso em: 04 fev. 2023.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PIPOLO, 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: 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 agrônômico do Paraná (IAPAR), 2000.

COLA, A. P. G; SIMÃO, P. B. J. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/2023.** Brasília: Conab, v.10, n.2, novembro de 2022. 83p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos (Quarto levantamento – Safra 2021/22).** v. 9, n. 4, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>. Acesso em: 14 jan. 2022.

CORNELIS, K.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais.** 23.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CRUZ, C.D. **Programa Genes:** Estatística experimental e matrizes. Viçosa: Editora UFV, 2006.

CUNHA, J. F. da; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira 2009-2012. **Informações Agrônomicas** (BRASIL) n.145, 2014.

DA SILVA, V. A.; DA SILVA, L. E. S. F.; DA SILVA, A. J. N.; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G. R. de. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources**, v. 51, p. 142-147, 2017.

DE MORAIS, K.A.D. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de soja precoce em função de doses de pó-de-ametista. **Ensaio Ciência**, v. 24, p. 343-347, 2020. doi:10.17921/1415-6938.2020v24n4p343-347.

DETTMER, C. A.; GUILHERME, D. de O.; Neto, J. F.; DETTMER, T. L.; ABREU, U. G. P. de. Produtividade em milho safrinha a partir do uso do “pó de rocha” como fonte de adubação. V Congresso Internacional das Ciências Agrárias. p. 1-6, 2020.

DEUS, A. C. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; SILVA, E. A.; FERNANDES, F. M.; SANTOS, T. E; B.; MALTONI, K. L. Influência da rochagem nos atributos químicos e atividade microbiana de um Latossolo. In: I ENCIVI, 2007, Ilha Solteira. 2007, 1-4.

EDWARD, W. O., PAULA, A. M., GATTO, A. **Influência do uso de pó de rochas fosfáticas e basálticas na ocorrência de micorrizas arbusculares em solo de Cerrado**. Trabalho de Conclusão (Engenheira Florestal) - Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2016.

ERHART, J. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo e nutrição da videira (Cabernet saubignon)**. 2009. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Visão Agrícola: Milho, Piracicaba-SP. v. 9, n. 13, 2015. Disponível em: < <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf> >. Acessado em: 25 de janeiro de 2017.

FARIA, M. R.; GUIMARÃES, R. A.; PINTO F. A. M. F.; SIQUEIRA, C. S.; SILVA, C. A.; MEDEIROS, F. H. V.; BETTIOL, W. Contribution of organic amendments to soil properties and survival of Stenocarpella on maize stalk. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 6, 2020.

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.

GHIZZONI, J. C.; GOTZ, L. F.; CASTAMANN, A.; ONESKO, J. C.; BAMPI, E.; Sá, K. R. de. Maize yield and nutrition after different application forms of rock powder and manure. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. 1-8, 2021.

GRECCO, M. F.; BAMBERG, A. L.; POTES, M. DAL.; LOUZADA, R.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M. **Efeito de rochas moídas e torta de tungue sobre a concentração e acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (*zea mays*)**.

In: II Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais... 101-108p. Poços de Caldas, MG, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/295099176_Anais_do_II_Congresso_Brasileiro_de_Rochagem_coletanea_de_varios_autores> Acesso em <24 de dezembro de 2018>.

GUIMARÃES, G. **Cama de frango e esterco bovino na produção de cana-de-açúcar**. 2015. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

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.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A. da.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SPAGNOLLO, E. Efeito de pó 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.

HENSEL, J. **Pães de pedra**. Pesquisa e tradução, Fundação Juquira Candiru, 1898.

INOCENCIO, M. F.; NOVELINO, J. O.; PAIM, L. R.; GUTIERREZ, R. S. EFEITO DA Aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Caatinga**, Mossoro, v. 22, n. 4, p. 145-151, out.-dez. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola 2022. Disponível em: [epag_2022_maio.pdf](https://ibge.gov.br/epag_2022_maio.pdf) (ibge.gov.br). Acesso em: 02 de out. 2022.

KRAHL, L. L.; VALADARES, L. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; Marchi, G.; MARTINS, É de. S. Dissolution of silicate minerals and nutrient availability for corn grown successively. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, 2022.

KÄMPF, N. CURI, N., MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. **Química e Mineralogia do Solo**. SBCS, Viçosa, 2009.

KINPARA, D. L. A. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. p. 27. (Série Documentos Embrapa Cerrados).

KORALAGE, I.S.A.; WEERASINGHE, P.; SILVA, N.R.N.; SILVA, C.S. de. The determination of available phosphorus in Soil: A quick and simple method. **OUSL Journal**, v.8, p. 1-17, 2015.

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

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.

LANA, R.M.Q.; VILELA FILHO, C.E.; ZANÃO JÚNIOR, L.A. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do plantio direto. **Scientia Agricola**, Curitiba, v.4, n.1/2, p.53-60, 2003.

LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.5, p.1547-1557, 2014.

LUCHESE, A.V.; PIVETTA, L. A.; BATISTA, M. A.; STEINER, F.; GIARETTA, A. P. S.; CURTIS, J. C. D. Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 17, p. 487-497, 2021.

MACHADO, G. F. **Dinâmica dos atributos químicos no perfil do solo sob aplicação de cama de aves de frango de corte**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Dois Vizinhos, 2022.

MACHADO, J. R de. A. O excesso de chuvas e a cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo 2016. Acesso em: 02 nov 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/8900890/artigo---o-excesso-de-chuvas-e-a-cultura-do-milho>.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. Circular Técnica 76, 2006. Acesso em: 02 nov 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976.

MARCON, E. C., ROMIO, S. C., MACCARI, V. M., KLEIN, C., LÁJUS, C. R. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 298-308, 2017. Disponível em: doi: 10.15536/thema.14.2017.298-308.427.

MARQUETTO, L.; CASTAMANN, A. Diferentes fontes de fertilizantes utilizadas na cultura do milho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. x, n. x, p. xxx-xxx, 2017.

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.

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

MELO, W. S. **Adubação da cultura da soja com fertilizante orgânico produzido a partir de carcaças de frango**. 45p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, 2020.

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.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 6. ed. Porto Alegre. 266p, 2017.

MIRANDA, H. M. S.; DURAN, L. M. G.; BUSINARO, J. M. M.; MARTINS, D. C. Efeitos de adubação mineral e orgânica na acidez do solo. 8º Fórum Científico da FUNEC. v.8. n.8, 2017. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/forum/article/view/3199/2859> . Acesso em: 04 jun. 2022.

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.

MUMBACH, G. L.; GATIBONI, L.; DE BONA, F. D.; SCHMITT, D. E. Organic, mineral and organomineral fertilizer in the growth of wheat and chemical changes of the soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, p. 1-7, 2019.

NARAMABUYE, F. X.; HAYNES R. J. Short-term effects of three animal manures on soil pH and Al solubility. **Australian Journal of Soil Research**, v. 44, p. 515-521, 2006.

NICHELE, E. R. **Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinados**. 2006. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2006.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 1, p. 97-111, 2004.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; NAIRAM, F. de B.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

NUNES, J. M. G.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, v.84, p.649-656, 2014.

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.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S.; DEAN, L. A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington: United States Department of Agriculture, 19p. (United States of Agriculture. Circular, 939). 1954.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA G. M.; TIRITAN C. S; SANTOS, D. H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 126-132, 2010.

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.

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.

PEIXOTO, S. A.; RIBEIRO, F. W.; RODRIGUES, C. C. SILVA, A. C da.; ARAUJO, M. da S. Estudo econômico do cultivo de soja com safrinha de milho e girassol. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.15, n. 27, p. 254 – 264.

PIONER. Produtos de milho híbrido marca Pioneer. Acesso em: 02 de Fev. 2022. Disponível em: 1159.3_lay_guia_milho_safrinha.indd (pioneer.com).

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Instituto Agrônomo, 2000.

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

REIS, W dos. **Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo, na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho**. 2021. 65p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

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, Genicelli Mafra. **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, SC, 2018.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; 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**, n. 34. p. 891-897, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>. Acesso em 01 jul. 2022.

RICHETTI, A.; FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. S. Viabilidade Econômica do Milho Safrinha, Sequeiro e Irrigado, na Região Sul de Mato Grosso do Sul: Embrapa Agropecuária, **Comunicado Técnico 207**, 13p., 2015.

SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo.Ecosistemas tropicais e subtropicais. 2º edição. Porto Alegre, Metrópole, 2008.

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

SANTOS, N. C. DOS. **Efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar e resposta da cultura da canola a adubação nitrogenada em cobertura.** 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR, 2022.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCENZA, R.; ZOINA A.; RAO, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, p. 333-352, 2015.

SILVA, A. A. da.; SILVA, P. R. F. da.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, p.928-935, 2007.

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

SILVA, D.R.G.; MERCHI, G.; SPEHAR, C.R.; GUILHERME, L.R.; REIN, T.A.; SOARES, D.A.; ÁVILA, F.W. Characterization and Nutrient Release from Silicate Rocks and Influence on Chemical Changes in Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 951-962, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300025>. Acesso em 01 jul. 2022.

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 agrônômicos 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.

SILVA, M. S. da. **Efeitos de esterco bovino em atributos químicos e físicos do solo, produtividade de milho e créditos de nitrogênio.** 88p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2018.

SILVA, D. W.; CANEPELLE, E.; LANZANOVA, M. E.; GUERRA, D.; REDIN, M. Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo Vermelho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 373-378, 2020.

SILVA, E. A.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 323-333, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** 2. ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-NEPAR-SBCS, 2019. 289p.

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

SUSTAKOWSKI, M. C. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura.** 2020. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of the Total Environment**, n. 3, p. 807. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>. Acesso em 01 jul. 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

THEODORO S.H.; LEONARDOS, O.H.; FONSECA, R. Rochagem: uma construção do link entre a mineração e a agricultura. **Congresso Brasileiro de Geologia**, Pará, 2010.

THEODORO, S. C. H. 225p. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília-UNB, 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**, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2012.

THEODORO, S. H.; SANDER, A.; BURBANO, D. F. M.; ALMEIDA, G. R. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, v. 22, n. 37, p. 45-58, 2021.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TOSCANI, R. G. da S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

VASCONCELOS, E. S de. **Estatística Experimental: Análise de tratamentos qualitativos**. Cascavel: Edunioeste, 2018.

WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W.; REDI, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, 2019.

ZIMMER, M. Is decomposition of woodland leaf litter influenced by its species richness? **Soil Biology & Biochemistry**, n. 34, p. 277-284, 2002.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso do pó de rocha de basalto é uma técnica promissora para melhorar a qualidade do ambiente edáfico. Seu efeito sobre os atributos do solo pode ser potencializado com materiais que apresentem grande atividade biológica como a cama de frango e o esterco bovino.

É sabido que os efeitos mais permanentes e consideráveis são obtidos de médio a longo prazo em solos de alta fertilidade, em que o uso da rochagem tende a aumentar e/ou manter a sua qualidade química; já em solos de baixa fertilidade, as respostas podem ser mais imediatas e significativamente maiores em termos de melhoria dos atributos.

É importante frisar também que a utilização da rochagem na agricultura vem para aumentar a eficiência do uso da adubação mineral solúvel, já que esta consegue disponibilizar a curto prazo e de forma imediata os nutrientes que as plantas necessitam; já com o pó de rocha esse efeito corre mais lentamente, o que pode contribuir para construção de um solo mais equilibrado ao longo do tempo, podendo assim reduzir o uso da adubação mineral até que se alcance um ponto de equilíbrio e consiga suprimir por completo sua utilização, diminuindo assim o custo de produção e contribuindo para o aumento da qualidade e sustentabilidade dos sistemas de produção.

Neste sentido, há necessidade de estudos mais duradouros a fim de consolidar a eficiência desses insumos, a partir de critérios técnicos definidos com a pesquisa e com isso possa ser feitas recomendações. Além disso, o estudo do pó de rocha ainda precisa avançar em inúmeros sentidos, mas a pesquisa em torno desta temática está no caminho certo.