

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

WILLIAN DOS REIS

**QUALIDADE FÍSICA, CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE
MILHO E SOJA APÓS APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR BASÁLTICO
ASSOCIADO A CAMA DE FRANGO E CONSÓRCIOS DE PLANTAS DE
COBERTURA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2025

WILLIAN DOS REIS

**QUALIDADE FÍSICA, CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE
MILHO E SOJA APÓS APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR BASÁLTICO
ASSOCIADO A CAMA DE FRANGO E CONSÓRCIOS DE PLANTAS DE
COBERTURA**

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: Dra. Edleusa Pereira Seidel

Linha de pesquisa: Sistemas de produção vegetal sustentáveis

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2025

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

Dos Reis, Willian

Qualidade física, carbono orgânico do solo e produtividade de milho e soja após aplicação de remineralizador basáltico associado a cama de frango e consórcios de plantas de cobertura / Willian Dos Reis; orientadora Edleusa Pereira Seidel. -- Marechal Cândido Rondon, 2025.

108 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.

1. Adubação orgânica. 2. Adubos verdes. 3. Física do solo. 4. Rochagem. I. Seidel, Edleusa Pereira, orient. II. 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.



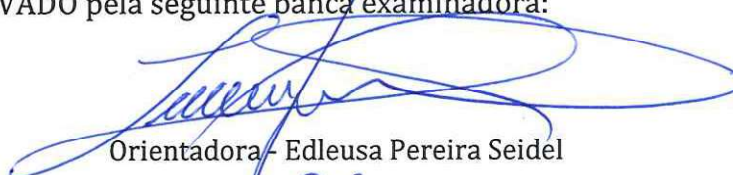
PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

WILLIAN DOS REIS

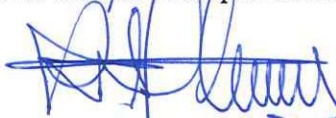
Qualidade física, carbono orgânico do solo e produtividade de milho e soja após aplicação de remineralizador basáltico associado a cama de frango e consórcios de plantas de cobertura

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



Orientadora - Edleusa Pereira Seidel

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



Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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



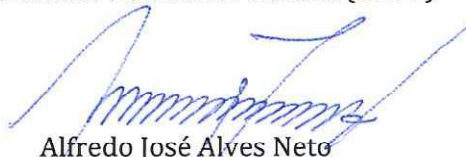
Edmar Soares de Vasconcelos

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



Laercio Augusto Pivetta

Universidade Federal do Paraná (UFPR)



Alfredo José Alves Neto

Agro Schimi Consultoria Agrônômica e Pesquisa

Marechal Cândido Rondon, 23 de maio de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por proporcionar esta vivência de aprendizagem. Por estar sempre abençoando meus passos diante a minha profissão, tornando possível mais esta conquista.

Aos meus pais, José Francisco dos Reis e Sandra Borchardt dos Reis, pois seus auxílios foram além de apenas incentivos e sempre tive apoio, carinho e admiração. Este título também é de merecimento de vocês, pai e mãe, pois vários espinhos encontrei nesta caminhada, mas vocês me auxiliaram a curá-los um de cada vez, sempre com alegria e me ensinando que apesar de ser difícil sempre haverá esperança ao fim de cada jornada.

A minha namorada Monica Carolina Sustakowski por sua imensa dedicação, paciência e resiliência ao meu lado em todos os momentos. Sua jornada ao meu lado na execução deste trabalho foi certamente o que me motivou a concluí-lo, pois seu auxílio emocional e profissional foram essenciais para meu crescimento no âmbito profissional e em minhas virtudes de vida neste tempo que estive com você. A ti dedico este trabalho e te admiro profundamente e incondicionalmente, você é minha prioridade.

Aos meus sogros Cleni e Sérgio Sustakowski pelo apoio e incentivo junto aos estudos e também nas conquistas de vida. A vocês meu imenso carinho pela preocupação pelo nosso bem estar.

Ao programa de pós-graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon pela oportunidade de estar me profissionalizando dentro do programa. O meu grandioso agradecimento a todos os professores do curso de Agronomia do Campus de Marechal, em especial aos professores presentes na pós-graduação, pois estarei me tornando um profissional em grande parte como reflexo de seus ensinamentos, críticas e questionamentos.

Ao Núcleo de Estação Experimental (NEE) pela disponibilização da área para execução do projeto, assim como auxílios com a parte de condução experimental, enfim gratidão a todos os colaboradores deste setor que participaram e vivenciaram este trabalho, obrigado a todos.

À secretária do PPGA da Unioeste, Leila D. A. Werlang, por toda sua atenção e disponibilização nos auxílios diversos, imensamente grato.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, que com a maior certeza foi imprescindível a nível de auxílio.

Aos professores que me marcaram com grande ênfase na perspectiva profissional e também de ensinamentos de vida, vocês foram primordiais em minha carreira, em especial aos professores e amigos Emerson Fey, Edmar Soares de Vasconcelos, Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, Maria do Carmo Lana, e com ainda mais considerações a minha orientadora Edleusa Pereira Seidel, com quem estive presente a maior parte de minha carreira acadêmica em nível experimental, você foi e sempre será lembrada por mim como uma grande mente brilhante, que me encaminhou e me auxiliou em uma área de estudo que sempre admirei, a você desejo que seja imensamente feliz e que continue sempre sendo esta pessoa dedicada e aconselhadora que escolheu ser, obrigado a todos.

Enfim deixo um questionamento que todos possamos seguir em vida:

Muitas vezes achamos que estamos no fundo do poço e que não haverá saída, porém, lembrem-se que é apenas lá onde encontra-se a água que precisamos, por isso, beba-a e retorne a superfície, e lembre-se que ao voltar muitos ainda lhe pedirão água.

Obrigado !!!!!!!

RESUMO

DOS REIS, Willian, D.S, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio-2025. **Qualidade física, carbono orgânico do solo e produtividade de milho e soja após aplicação de remineralizador basáltico associado a cama de frango e consórcios de plantas de cobertura.**

Orientadora: Dra. Edleusa Pereira Seidel.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do pó de rocha basáltica associado a plantas de cobertura e cama de frango sobre atributos físicos do solo, carbono orgânico total do solo (COT), produtividade de massa seca das plantas de cobertura e produtividade de milho e soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de faixas subdivididas com dois tratamentos adicionais e quatro repetições. As faixas primárias foram três consórcios de plantas de cobertura: aveia-preta+nabo-forrageiro (mix1); tremoço-branco+ervilha-forrageira (mix2); aveia+nabo+tremoço+ervilha (mix3). As faixas secundárias foram: presença ou ausência de cama de frango (6 Mg ha^{-1}). As subfaixas foram: presença ou ausência de pó de rocha (8 Mg ha^{-1}). Os tratamentos adicionais foram: testemunha absoluta e testemunha com adubação química. Foram avaliadas a resistência a penetração (RP) até 0,40 m, a densidade, porosidade e carbono total do solo em quatro camadas (0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m) antes e após a colheita das culturas de verão (12 e 24 meses após o início do experimento). A produtividade de massa seca das plantas de cobertura foi determinada no período de florescimento das plantas. As culturas de verão foram colhidas manualmente em área útil das parcelas, trilhadas e pesadas para avaliação da produtividade. A produtividade de massa seca dos consórcios foi maior na presença de pó de rocha e cama de frango; a utilização de pó de rocha, cama de frango e plantas de cobertura em consórcios proporcionaram maior teor de COT no solo; a utilização de cama de frango, bem como a associação de plantas de cobertura na presença de pó de rocha promoveram redução na RP; os consórcios e a utilização de cama de frango e pó de rocha não reduziram a densidade do solo, porém não interferiram negativamente na macroporosidade, microporosidade e na PT do solo; a utilização de pó de rocha e cama de frango proporcionou maior produtividade de milho e de soja.

Palavras chave: Adubação orgânica. Adubos verdes. Física do solo. Rochagem.

ABSTRACT

DOS REIS, Willian, D.S, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, may-2025. **Physical quality, soil organic carbon and corn and soybean productivity after application of basaltic remineralizer associated with chicken litter and cover crop consortia.** Advisor: Dra. Edleusa Pereira Seidel.

The objective of this study was to evaluate the effect of basalt rock powder associated with cover crops and chicken litter on soil physical properties, total soil organic carbon (TOC), cover crop dry matter yield, and corn and soybean yield. The experimental design was randomized block in a split-strip scheme with two additional treatments and four replicates. The primary strips consisted of three cover crop consortia: black oat + forage turnip (mix 1); white lupin + forage pea (mix 2); and oat + turnip + lupin + pea (mix 3). The secondary strips were: presence or absence of chicken litter (6 Mg ha^{-1}). The sub-strips were: presence or absence of rock powder (8 Mg ha^{-1}). The additional treatments were: absolute control and control with chemical fertilizer. Penetration resistance (PR) down to 0.40 m, bulk density, porosity, and total soil carbon were evaluated in four layers (0.0-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.15, and 0.15-0.20 m) before and after harvesting summer crops (12 and 24 months after the start of the experiment). The dry mass productivity of cover crops was determined during the flowering period. Summer crops were manually harvested in the useful area of the plots, threshed, and weighed to assess productivity. The dry mass productivity of consortia was higher in the presence of rock powder and chicken litter; the use of rock powder, chicken litter, and cover crops in consortia provided higher soil TOC content; the use of chicken litter, as well as the association of cover crops in the presence of rock powder, promoted a reduction in PR; the consortia and the use of chicken litter and rock powder did not reduce soil density, but did not negatively interfere with macroporosity, microporosity and soil PT; the use of rock powder and chicken litter provided greater corn and soybean productivity.

Keywords: Organic fertilization. Green manures. Soil physics. Stonemeal.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais referentes ao período de março de 2021 a maio de 2023 no município de Entre Rios do Oeste, PR 10
- Figura 2.** Delineamento experimental utilizado. 11
- Figura 3.** Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de milho em sucessão a cama de frango (A), pó de rocha basáltica (B) e consórcios de plantas de cobertura (C). Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste, PR, 2021/2022. 36
- Figura 4.** Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de soja e em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste – 2022/2023. 40
- Figura 5.** Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de soja em sucessão a cama de frango. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste – 2022/2023. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo da área experimental no município de Entre Rios do Oeste-PR, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m.	10
Tabela 2. Composição química da cama de frango proveniente de 8 a 10 lotes aplicada antes dos cultivos de inverno dos anos de 2021 e 2022.	12
Tabela 3. Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina, PR.....	13
Tabela 4. Produtividade de massa seca da parte aérea (kg ha^{-1}) de plantas de cobertura em função da interação entre os consórcios de plantas e pó de rocha basáltica e em função da aplicação de cama de frango no cultivo de inverno do ano de 2021.	18
Tabela 5. Produtividade de massa seca da parte aérea (kg ha^{-1}) de plantas de cobertura em função dos consórcios de plantas, da cama de frango, do pó de rocha basáltica e das testemunhas durante o cultivo de inverno do ano de 2022.	21
Tabela 6. Teor de carbono orgânico total do solo (g dm^{-3}) nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 12 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.....	24
Tabela 7. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,00-0,05 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.	27
Tabela 8. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,05-0,10 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango e após a aplicação de pó de rocha basáltica de forma isolada.	29
Tabela 9. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,10-0,15 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha basáltica e após a interação entre a aplicação de cama de frango e pó de rocha basáltica.	31
Tabela 10. Teor de carbono orgânico no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,15-0,20 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha basáltica e após a aplicação de cama de frango de forma isolada.	33
Tabela 11. Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0,15-0,20 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e aplicação de cama de frango, após cultivo do milho	

na safra de verão 21/22. Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento.	46
Tabela 12. Densidade do solo (Mg m^{-3}) para as camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após cultivo do milho na safra de verão 21/22. Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento.	48
Tabela 13. Valores médios de densidade do solo (Mg dm^{-3}) para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após cultivo da soja na safra de verão 22/23. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento.	50
Tabela 14. Valores médios de macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.	51
Tabela 15. Valores médios de macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da aplicação de pó de rocha basáltica, após período de 12 meses.	53
Tabela 16. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para as camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após período de 12 meses.	55
Tabela 17. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.	56
Tabela 18. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha e em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.	58
Tabela 19. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.	60
Tabela 20. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m 12 meses após a aplicação de pó de rocha.	61

Tabela 21. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.	63
Tabela 22. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na camada de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha, aplicação de cama de frango e tratamentos adicionais, após período de 12 meses.	65
Tabela 23. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m 12 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.	67
Tabela 24. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00 a 0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e aplicação de pó de rocha basáltica, após período de 24 meses.	68
Tabela 25. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.	69
Tabela 26. Produtividade (kg ha^{-1}) de milho (safra de verão 2021/2022) em função das interações entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango e entre pó de rocha e cama de frango, bem como para as testemunhas.	71
Tabela 27. Produtividade (kg ha^{-1}) de soja (safra de verão 2022/2023) em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha, cama de frango de forma isolada, bem como para as testemunhas.	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESE	3
1.2 OBJETIVO GERAL	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA DE REMINERALIZAÇÃO DO SOLO	3
2.2 INFLUÊNCIA DO CARBONO ORGÂNICO NO SOLO	5
2.3 ROCHAGEM E PLANTAS DE COBERTURA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL	9
M.O: matéria orgânica; V%: saturação por bases	10
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	11
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS UTILIZADOS	12
3.3.1 Cama de frango	12
3.3.2 Pó de rocha	12
3.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	13
3.5 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA	15
3.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO	16
3.7 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DOS CEREAIS: MILHO E SOJA	16
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DOS CONSÓRCIOS DE PLANTAS DE COBERTURA	17
4.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO	24
4.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (RP)	35
4.4 DENSIDADE DO SOLO	45
4.5 MACROPOROSIDADE	51
4.6 MICROPOROSIDADE	57
4.7 POROSIDADE TOTAL	64
4.8 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA	70
4 CONCLUSÕES	82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	101

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é caracterizado por apresentar uma das principais atividades econômicas do país, colocando-o como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Todavia, é extremamente importante a superação de obstáculos para que este sucesso perdure, pois, a revolução verde garantiu a maximização produtiva diante à adoção de conjuntos tecnológicos, mas gerou grandes impactos sociais e na sustentabilidade dos sistemas produtivos (ALMEIDA et al., 2007; NOVAES et al., 2010).

A manutenção da matéria vegetal presente no solo é de grande importância para o sistema de produção agrícola, isso porque a matéria orgânica (MO) atua de forma direta na estrutura do solo (CHIODEROLI et al., 2012), o que também influencia na quantidade de carbono orgânico no solo (COS) pois esta é determinada pelas entradas e saídas de carbono (C) no solo (XIÃO et al., 2017), sendo que por sua vez sofre influência de fatores como preparo do solo, tipos de espécies de plantas cultivadas, incorporação da rotação de culturas no sistema, uso da adubação verde e tipos de manejos dos restos culturais (CAMPOS et al., 2016).

Segundo Possamai et al. (2022) estima-se que apenas 10% dos agricultores paranaenses, estão classificados dentro dos parâmetros da qualidade do Sistema de Plantio Direto (SPD). A adoção das práticas parciais recomendadas no SPD como a ausência de revolvimento do solo, manutenção da cobertura e rotações de culturas, justifica o grande avanço da problemática da compactação do solo, desencadeando uma série de problemas indiretos.

No entanto, o uso do solo sob esse sistema muitas vezes está associado ao intenso tráfego de máquinas, as quais contribuem para alterar a qualidade física do solo, o que acarreta aumento da compactação, principalmente em solos com elevados teores de argila (SECCO et al., 2004; COLLARES et al. 2006). Para um desenvolvimento adequado das culturas é imprescindível um ambiente físico adequado do solo de modo a garantir uma boa relação de aeração, fornecimento hídrico e com baixo impedimento ao crescimento radicular (PIRES et al., 2013).

O uso de plantas de cobertura com sistemas radiculares bem desenvolvidos consiste em um método biológico dentro deste sistema capaz de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar atributos físicos do solo como a resistência ao crescimento radicular e porosidade do solo (CUBILLA et al., 2002).

A construção da fertilidade do perfil do solo também é parte fundamental do manejo sustentável do solo, entendendo que com a adição de materiais de solubilidade mais lenta, quando comparada com fontes solúveis, a planta terá uma reserva de nutrientes ao longo do tempo, que poderá ser requerida quando for necessária para seu desenvolvimento (NICHOLS et al., 2015).

Por apresentar, geralmente, um elevado teor de matéria orgânica, a cama de frango pode ser utilizada neste sistema como um condicionador de solos e influenciar atributos físicos como densidade do solo, grau de floculação, porosidade, resistência à penetração e estabilidade dos agregados do solo, além da liberação de nutrientes e ação na microbiota do solo (COSTA et al., 2009).

O método de rochagem é uma outra forma sustentável de adubação que vem ganhando adeptos pelo Brasil, a qual consiste na adição de rochas moídas ao solo (pó de rocha), com finalidade de fertilizar, corrigir ou condicionar o solo, se mostrando promissora para a produção agrícola, principalmente para cultivos agroecológicos, destacando-se pela diversidade de matérias primas com potencial de uso para adubação (NUNES et al., 2014).

Agentes biológicos como micro organismos e vegetais, extraem e absorvem nutrientes das fontes solúveis do solo e os imobilizam temporariamente (CARVALHO, 2012), assim, esses agentes podem acelerar o processo de intemperismo através da liberação dos elementos das fontes como o pó de rocha, com posterior disponibilização aos cultivos.

Lopes-Assad et al. (2006) relatam que a ação de ácidos orgânicos tem a capacidade de acidificar o meio e liberar os minerais presentes nas rochas mais rapidamente para plantas. Assim as plantas de cobertura contribuem para aumentar o intemperismo do pó de rocha já que suas rizosferas são ricas em exsudatos, secreções, mucilagens, mucigel e lisados celulares.

São escassos os trabalhos que utilizam o pó de rocha com associações orgânicas e vegetais e suas relações com as características físicas do solo, assim se faz necessário estudos regionais sobre as associações com o método da rochagem, que permitam gerar dados importantes para a agricultura, pois devido suas características mineralógicas os efeitos ocorrem principalmente de médio a longo prazo necessitando de alternativas que atuam na velocidade de reação deste produto.

1.1 HIPÓTESE

A hipótese adotada é que a utilização do pó de rocha basáltica associado a plantas de cobertura e cama de frango melhore as condições físicas, assim como os teores de carbono orgânico do solo, proporcionando condições que possam resultar em produtividade das culturas subsequentes semelhantes e/ou superiores as obtidas com a adubação química convencional.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do pó de rocha basáltica associado a consórcios de plantas de cobertura e utilização de cama de frango sobre os atributos físicos do solo, o teor de carbono orgânico total do solo, a produtividade de matéria seca das plantas de cobertura e a produtividade das culturas de verão (milho e soja).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os atributos físicos do solo: resistência à penetração, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total;
- Avaliar o teor de carbono orgânico total (COT) do solo;
- Avaliar a produtividade de massa seca da parte aérea dos consórcios de cobertura de inverno;
- Avaliar a produtividade das culturas de milho (verão 2021/2022) e de soja (verão 2022/2023).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA DE REMINERALIZAÇÃO DO SOLO

O pó de rocha é considerado um fertilizante natural devido suas características de liberação gradual de nutrientes, baixa concentração, além de não possuir registros de restrição aos cultivos comerciais (MARTINS et al., 2008). Sua disponibilidade decorre do potencial da atividade microbológica do solo e do sistema de semeadura/plantio a ser adotado, sendo assim indicado manejos alternativos associados ao insumo in natura que potencializem a liberação de nutrientes e

a eficiência nutricional, unindo a tecnologia da rochagem com a biologia do ambiente (THEODORO; LEONARDOS, 2010), como a utilização de resíduos orgânicos.

Os estudos sobre as potencialidades da rochagem a nível nacional tiveram início na década de 1950, com D. Guimarães e Vladimir Ilchenko, e foram alavancados pelo professor Othon Leonardos (UNB), o qual é considerado o precursor da rochagem no Brasil (COELHO, 2005), estas contribuições já sugeriam a potencialidade do uso das rochas para remineralizar os solos agrícolas. As pesquisas avaliando o potencial desses materiais têm recebido um enfoque maior nas últimas décadas tanto a nível mundial como no Brasil, porém ainda em ritmo lento.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) normatizou a produção, registro e comercialização dos conhecidos popularmente como pós de rocha sendo então denominados de remineralizadores (RM) após atenderem as normativas exigidas pela legislação brasileira, ou seja, o produto deve conter pelo menos uma soma dos óxidos totais de cálcio, magnésio e potássio (soma de bases) superior a 9% e teores máximos de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo dentro de limites estabelecidos que garantem a qualidade do insumo a ser comercializado.

Os RM de solo, conforme a Lei nº 12.890/2013, são definidos como categoria de insumo destinado à agricultura, sendo materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como, melhorem as propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo (BRASIL, 2016).

A aplicação da rochagem consiste no espalhamento à lanço do pó na área sem incorporação, sendo um processo antigo, porém na nova fase da agricultura se reconsidera a utilização de métodos que visem diminuir custos de produção, aumentando a eficiência do uso de nutrientes, e podendo ainda segundo alguns estudos, sequestrar carbono atmosférico, garantindo melhores processos de estruturação e rejuvenescimento dos solos, além de favorecer o desenvolvimento e equilíbrio nutricional dos cultivos resultando em produtos vegetais de melhor sanidade e qualidade nutritiva (VAN STRAATEN, 2010; HARTMANN; KEMPE, 2008).

Estudos da Embrapa juntamente com o Serviço Geológico do Brasil terminados em 2018, demonstraram que 20% do país tem potencial de ocorrer este tipo de insumo, além de estarem situados em pontos a menos de trezentos quilômetros da maioria das áreas agrícolas do país, assim possuindo uma ampla abundância e boa distribuição, além de ser uma técnica capaz de atender as

necessidades da agricultura agroecológica que contém em seu sistema algumas restrições ao uso de fertilizantes solúveis (CARVALHO, 2013).

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

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

Apesar da granulometria ser um fator de grande influência na reatividade das fontes de pó de rocha, o intemperismo do pó pode ser acelerado pela remoção de produtos solúveis por agentes biológicos como microrganismos e vegetais que extraem e absorvem esses produtos e os utilizam em seus metabolismos temporariamente, potencializando a ciclagem deste material (CARVALHO, 2013).

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

O uso de pó de rocha tem demonstrado a presença de elementos químicos importantes e em quantidades satisfatórias, sendo assim passíveis de servirem como fonte alternativa para fertilização do solo desde que seja considerado o uso de sistemas de produção que promovam a melhor eficiência para solubilização e disponibilidade do efeito remineralizador da rochagem (SILVA et al., 2017).

2.2 INFLUÊNCIA DO CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

As propriedades físicas do solo são afetadas pelas diferentes práticas de manejo, e algumas são utilizadas como indicadoras de qualidade física do solo (QFS), destacando-se entre elas: a resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds), porosidade do solo e a estabilidade de

agregados do solo (PACHECO; CANTALICE, 2011), as quais sofrem influência do teor de MO presente no solo (DEMATTE et al., 2011).

A verificação de parâmetros físicos do solo como resistência a penetração (RP), densidade (Ds) e porosidade estão relacionadas ao bom desenvolvimento e estabelecimento das culturas (ROBOREDO et al., 2010; STEFANOSKI et al., 2013), e estes por sua vez estão relacionados ao conteúdo de matéria orgânica e ao teor de carbono orgânico do solo (MOS).

Segundo Ribeiro et al. (2011) o carbono orgânico acumula-se em diferentes frações (lábeis ou estáveis) da matéria orgânica no solo, as quais determinam seu efeito e tempo de permanência no solo. A avaliação precisa das frações do COT no solo torna-se muito importante (KNOX et al., 2015) a fim de conhecer a constituição das diferentes frações que compõem a MOS, como o C da fração humificada (BEZERRA et al., 2013), sendo então possível avaliar a qualidade do solo (LOSS et al., 2010).

As frações oxidáveis da MOS auxiliam na interpretação da dinâmica do carbono no solo, e, em relação a qualidade física, esta assume grande importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis. Isso porque a mesma afeta a parte química e biológica do solo, que estão relacionadas ao bom desenvolvimento e estabelecimento das culturas (SANTOS et al., 2011).

Considerada uma das principais responsáveis pela qualidade física do solo, a MOS interfere na formação de agregados estáveis, na relação adequada entre macro e microporos e na retenção de água, que afetam direta ou indiretamente a produtividade das culturas implantadas (BRACALIÃO; MORAES, 2008). Iwata et al. (2010) afirmam que a MOS é o atributo que melhor representa a qualidade do solo, devido a sua elevada tendência a sofrer alteração de acordo com as práticas de manejo realizadas.

Em regiões tropicais, um dos grandes problemas para sustentabilidade do sistema de plantio direto são as altas taxas de decomposição do material orgânico, levando à necessidade de produção de grandes quantidades de palha para garantir uma boa cobertura do solo em um maior período de tempo, e essa manutenção pode ser obtida principalmente através da utilização de resíduos orgânicos de origem vegetal e/ou animal que assim irão manter as frações orgânicas do solo em níveis adequados (CHIODEROLI et al., 2012; RUDISILL et al., 2015).

Uma das formas de se adicionar/reter maiores quantidades de carbono ao solo é o uso da diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, que aumenta de forma significativa a

retenção do carbono e outros diversos nutrientes no solo, com implicações importantes para o balanço dos elementos e para a produção sustentável com melhor qualidade ambiental (AMADO et al., 2001).

Outra fonte de material orgânico com grandes quantidades de carbono são os resíduos animais, principalmente a cama de frango (mistura de palha com os dejetos das aves, restos de ração e pena) rica em carbono, cerca de 39%, e nutrientes (ADELI et al., 2007). Outro aspecto favorável ao seu uso é que o Brasil se destaca na produção de aves, principalmente a região Sul, o que potencializa a aquisição pelas propriedades agrícolas desse adubo a baixo custo, favorecendo assim seu uso na reciclagem dos nutrientes presentes nesse resíduo (SILVA, 2018).

Em sistemas de manejo conservacionista tem-se maior adição de material orgânico no solo, que resulta em menores taxas de perdas de nutrientes (COOPER et al., 2016). Este maior conteúdo também está relacionado na maior concentração de ácidos orgânicos, que por sua vez desencadeiam processos de liberação de nutrientes do pó de rocha utilizado, além de potencializar condições ambientais favoráveis à atividade microbiana na região da rizosfera, promovendo modificações no potencial eletroquímico e liberando elementos retidos nas estruturas dos minerais em maior velocidade (GUPPY et al., 2005).

A utilização de resíduos semidecompostos seja de origem animal ou vegetal contribuem para aumentar as frações orgânicas do solo, conseqüentemente, proporciona alterações e melhorias nos atributos físicos dos solos como diminuição na densidade do solo, favorecendo a elevação da porosidade e melhorias na estrutura do solo, contribuindo ainda para a maior disponibilidade e retenção de água no solo além de reduções na resistência à penetração das raízes (CELIK et al., 2004, MOSADDEGHI et al., 2009). Segundo Gomes et al. (2005) a utilização de composto orgânico no solo promoveu a melhorias na agregação das partículas do solo e o aumento dos níveis de carbono orgânico.

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

Além de condições químicas adequadas no solo, é imprescindível um ambiente físico favorável, a fim de maximizar a produtividade das culturas utilizando manejos que buscam a recuperação, a melhoria e/ou a manutenção da qualidade do solo. Desta forma, é importante que

este ambiente esteja equilibrado, com adequada relação de poros, bem estruturado e sem impedimentos ao crescimento das raízes, de forma a oferecer condições necessárias ao desenvolvimento das culturas (PIRES et al., 2013).

A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta a condutividade e armazenamento hidráulico do solo. O estudo da porosidade do solo e da resistência à penetração do solo são consideradas determinações práticas importantes para o indicativo do estado de compactação do solo, com relação direta com o crescimento das raízes (LIMA et al., 2005).

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

Além disso, as espécies vegetais em cobertura podem promover incrementos no teor de matéria orgânica, tendo grande importância em períodos de baixo índice pluviométrico, visto que o teor de matéria orgânica tem implicações sobre as forças de retenção de água no solo e sobre sua disponibilidade às plantas, devido sua elevada área de superfície específica e influência na estruturação e distribuição dos poros do solo (BRAIDA et al., 2011).

Em relação a utilização do pó de rocha, materiais mais finos aumentam a velocidade de dissolução dos minerais presentes. Por outro lado, doses elevadas de materiais finos associados à baixa solubilidade podem alterar de forma negativa a porosidade do solo, prejudicando assim o crescimento das raízes (KNAPIK; ANGELO, 2007).

O pó de rocha também pode ter efeito indireto sobre as propriedades físicas do solo, à medida que favorecer o aumento na produção de fitomassa da parte aérea e radicular das culturas, promovendo aumento no teor de matéria orgânica do solo e consequentemente aumento na atividade microbiana no solo. Bertossi et al. (2012), relatam que doses elevadas do produto podem ocasionar desequilíbrios nos teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo; sendo que o aumento na concentração de Na, em relação ao Ca e Mg pode acarretar em problemas de desestruturação do solo e obstrução dos poros, o que pode dificultar o processo de infiltração de água no solo.

Até o momento, estudos envolvendo a influência da utilização de pós de rocha sobre os atributos físicos do solo são insuficientes, contudo, a avaliação das condições físicas do solo é imprescindível para garantir a sustentabilidade ambiental de sistemas agrícolas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido durante o período de março de 2021 à maio de 2023 na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR, localizada no município de Entre Rios do Oeste, nas coordenadas geográficas de latitude 24°40'34"S, longitude 54°16'45"O e altitude de 242 m em relação ao nível do mar.

O solo da área experimental foi classificado como um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Antes da implantação do experimento foi realizada a determinação da composição granulométrica do solo, por meio do método do densímetro de Bouyoucos, de acordo com metodologia proposta por Donagemma et al. (2017). O solo apresentou 734,5 g kg⁻¹ de argila, 176,74 g kg⁻¹ de silte e 88,76 g kg⁻¹ de areia, portanto, compondo uma textura muito argilosa.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes, com temperaturas médias anuais variando entre 22 e 23° C. Os totais anuais médios normais de precipitação pluvial para a região variam entre 1600 a 1800 mm, com o trimestre mais chuvoso (dezembro a fevereiro) apresentando totais variando entre 400 e 500 mm (IAPAR, 2008).

A caracterização química inicial da área foi realizada de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016). Foi realizada a amostragem de solo constituída por quinze amostras simples coletadas de forma aleatória na área experimental, resultando em uma amostra composta. A amostragem foi realizada com uso de uma pá de corte com a divisão em camadas com auxílio de uma régua milimetrada, sendo: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo da área experimental no município de Entre Rios do Oeste-PR, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m.

Camada do solo	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al	Al	V%
						cmol _c dm ⁻³			
0,00 – 0,05 m	31,57	5,07	20,59	0,66	4,79	1,67	4,86	0,02	59,44
0,05 – 0,10 m	19,48	4,68	10,59	0,36	3,67	4,03	5,36	0,07	60,06
0,10 – 0,15 m	26,20	4,91	33,46	0,48	4,76	1,52	5,28	0,04	56,13
0,15 – 0,20 m	18,81	4,79	8,24	0,31	3,85	1,27	5,20	0,13	51,08

M.O: matéria orgânica; V%: saturação por bases

Os dados de precipitação pluviométrica referente aos meses em que o experimento foi conduzido, bem como a indicação das etapas de condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

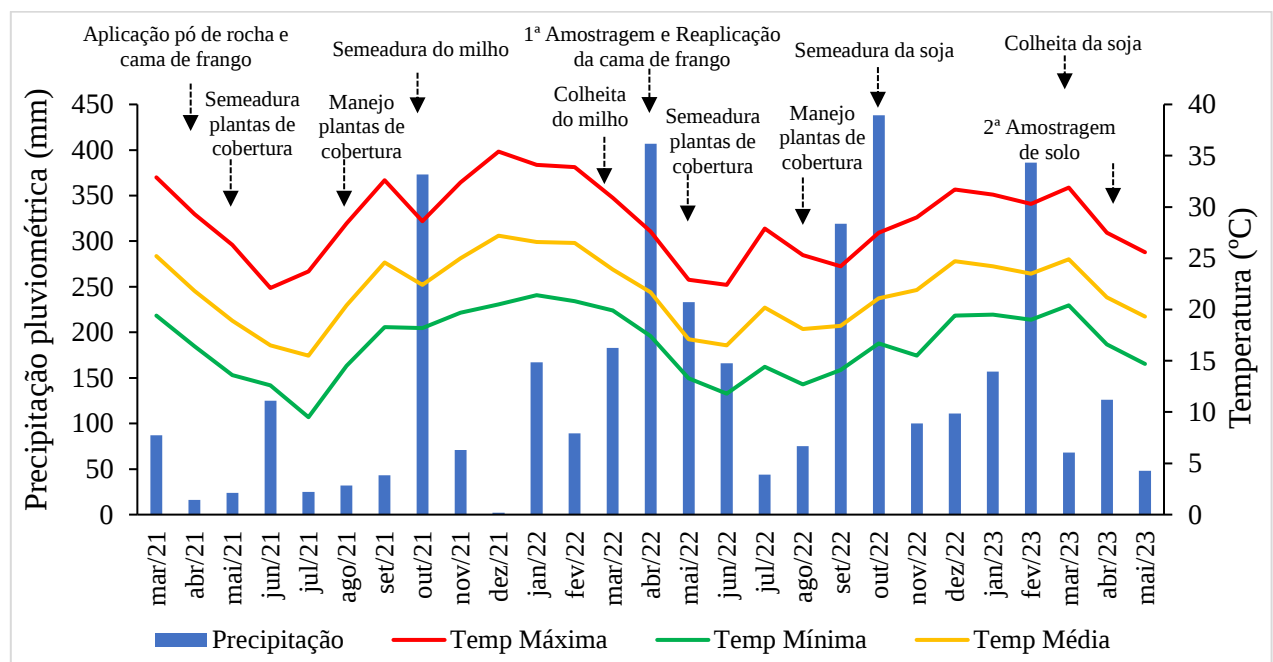


Figura 1. Precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais referentes ao período de março de 2021 a maio de 2023 no município de Entre Rios do Oeste, PR

Nota-se através dos dados pluviométricos que as precipitações mensais não obtiveram uma regularidade principalmente do início do experimento até final da primeira safra de verão (cultura do milho), obtendo ainda uma baixa média acumulada. Estas baixas condições pluviométricas interferiram no potencial produtivo da cultura do milho e também podem ter ocasionado

interferência no desenvolvimento do ciclo da soja, já que as oscilações pluviométricas também ocorreram no período desta cultura, porém com maior acumulo médio mensal.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema de faixas subdivididas com dois fatores adicionais ($3 \times 2 \times 2$) + 2 em quatro repetições. As faixas primárias foram constituídas por três consórcios de plantas de cobertura: (MIX 1) aveia-preta + nabo-forrageiro; (MIX 2) tremoço branco + ervilha-forrageira; (MIX 3) aveia-preta + nabo-forrageiro + tremoço branco + ervilha-forrageira. As faixas secundárias foram compostas pela presença ou ausência de cama de frango na dose de 6 Mg ha^{-1} . As subfaixas foram constituídas pela presença ou ausência de pó de rocha basáltica na dose de 8 Mg ha^{-1} .

O experimento teve ainda dois tratamentos adicionais sendo: uma testemunha absoluta e uma testemunha com adubação química de um formulado NPK nas culturas do milho e da soja, também com 4 repetições.

A área experimental foi constituída por doze faixas principais, oito faixas secundárias e estas divididas em seis subfaixas, além de duas faixas com testemunhas adicionais, totalizando 56 unidades experimentais, com dimensionamento da área experimental de 2.240 m^2 (Figura 2).

Com cama de frango 6 t ha^{-1}						Dose do pó de rocha: 8 t ha^{-1} 0 t ha^{-1}					
Sem cama de frango 0 t ha^{-1}											
BLOCO 1	MIX 1	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	BLOCO 3	MIX 3	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}
	MIX 2	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}		MIX 1	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}
	MIX 3	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}		MIX 2	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}
BLOCO 2	MIX 2	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	BLOCO 4	MIX 3	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}
	MIX 1	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}		MIX 2	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}
	MIX 3	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}		MIX 1	8 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	0 t ha^{-1}	8 t ha^{-1}
Testemunha absoluta						Testemunha com adubação					

Figura 2. Delineamento experimental utilizado. Mix 1: consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro; Mix 2: consórcio de tremoço branco + ervilha-forrageira; Mix 3: consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro + tremoço branco + ervilha-forrageira.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS UTILIZADOS

3.3.1 Cama de frango

A cama de frango foi escolhida como material orgânico para utilização em associação ao pó de rocha por ser um material rico em micro organismos e matéria orgânica além de sua grande abundância na região, o que facilitou a sua aquisição.

A cama de frango foi adquirida através da compra direta com o produtor, sendo o resíduo proveniente após a criação de 8 a 10 lotes de frango de corte. O resíduo foi utilizado em sua forma sólida, na dose de 6 Mg ha^{-1} , corrigida para o teor de umidade do material, sendo esta dose definida através da média utilizada pelos produtores rurais na região. A caracterização química do material foi obtida através de amostras do composto retiradas antes de sua utilização, e está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da cama de frango proveniente de 8 a 10 lotes aplicada antes dos cultivos de inverno dos anos de 2021 e 2022.

Cultivo 2021								
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	pH	Umidade	C.O.
g kg ⁻¹							%	
30,45	22,80	14,92	46,49	9,40	12,72	8,11	15,51	18,51
Cultivo 2022								
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	pH	Umidade	C.O.
g kg ⁻¹							%	
24,78	42,45	26,80	110,00	57,00	14,46	7,6	26	20,52

C.O.: Carbono orgânico

3.3.2 Pó de rocha

O pó de rocha utilizado foi de origem basáltica, dada sua abundância na região sul do Brasil; bem como, à sua riqueza em nutrientes. O mesmo foi proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR, com registro para comercialização deste insumo. E a dose definida neste trabalho foi baseada nos resultados obtidos por Sustakowski (2021).

A composição química do pó de basalto foi realizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba-PR) utilizando metodologia de espectrometria de fluorescência de raios X (Tabela 3).

Tabela 3. Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina, PR.

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	13,30	14,91	8,77	4,40	1,18	2,73	2,01	0,22	0,27	0,90	100,09

P.F.: Perda ao fogo.

O material atendia as especificações exigidas pela Instrução Normativa MAPA nº 05 (BRASIL, 2016) para ser utilizado como um remineralizador na agricultura. As normas estabelecidas são: soma de bases (CaO, MgO, K₂O) igual ou superior a 9% e teor de K₂O igual ou superior a 1%.

A granulometria do pó de basalto foi determinada por peneiramento, a partir da massa de grânulos obtida em cada peneira. Para tanto, foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de 2,00 (ABNT 10), 0,84 (ABNT 20) e 0,30 mm (ABNT 50) de malha. O material apresentou 100% das partículas menores que 2,00 mm; 81,13% menores que 0,84 mm e 51% menores que 0,30 mm.

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

3.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a caracterização química inicial do solo foi realizada a aplicação da cama de frango e do pó de rocha basáltica em área total de cada unidade experimental e sem incorporação no solo.

Posteriormente foi realizada a implantação das plantas de cobertura por semeadura direta através da utilização de uma semeadora de fluxo contínuo. Para a semeadura do MIX 1 foi utilizada densidade de 70 kg ha⁻¹ de sementes de aveia-preta e 4 kg ha⁻¹ de sementes de nabo-forrageiro. O MIX 2 foi implantado com densidade de 80 kg ha⁻¹ de sementes de tremoço branco e 60 kg ha⁻¹ de

sementes de ervilha-forrageira; e o MIX 3 com as densidades de sementes de 35 kg ha⁻¹ de aveia-preta, 1 kg ha⁻¹ de nabo-forrageiro, 20 kg ha⁻¹ de tremoço branco e 15 kg ha⁻¹ de ervilha-forrageira, com proporções baseadas em usos na região, e recomendações técnicas das espécies para adubação verde.

As testemunhas não foram cultivadas com culturas de inverno e não receberam os adubos de cama de frango e pó de rocha, sendo que para a manutenção destas, quando necessário, foi realizado o controle mecânico (capina) e químico das plantas daninhas que emergiram nestas unidades experimentais, sendo que houve maior período de manutenção apenas nos meses de grande incidência de pluviosidade local. Para a testemunha com adubação foi realizado o cultivo das culturas de verão com adubação química na semeadura, com dose definida de acordo com a análise inicial química do solo, seguindo a recomendação estabelecida pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019).

No cultivo das plantas de cobertura, quando estas atingiram o estágio de florescimento, cerca de 100 dias após a semeadura (DAS) foram manejadas com uso do equipamento rolo faca acoplado a um trator agrícola, de forma a ocasionar um acamamento do material vegetal rente ao solo, gerando uma obstrução dos vasos condutores das plantas e assim impedindo a sua rebrota, mas mantendo o solo coberto. Como as espécies possuíam ciclos semelhantes de florescimento, quando foram manejadas, estas apresentavam florescimento em diferentes estágios.

Posteriormente, no mês de outubro de 2021 foi implantada a cultura do milho, safra de verão 2021/2022, sob semeadura direta, com espaçamento entre linhas de 0,70 m, utilizando densidade de 60.000 sementes ha⁻¹ do Híbrido Pioneer P4285VYHR Leptra. A adubação química na semeadura foi realizada apenas na testemunha com adubação, com 250 kg ha⁻¹ do formulado 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O); contudo, foi realizada aplicação de N em cobertura em todas as unidades do experimento na dose de 300 kg ha⁻¹ de uréia (46% de N) em estágio vegetativo com 4-5 folhas plenamente desenvolvidas, conforme recomendação fisiológica para o período, com aplicação manual a lanço após a ocorrência de precipitação pluviométrica, visto que os tratamentos poderiam não fornecer este nutriente de forma a suprir as necessidades da cultura. Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura por meio de acompanhamento e utilização das técnicas de manejo integrado de pragas e doenças.

Para o cultivo de inverno de 2022 foi realizada novamente a aplicação da cama de frango na mesma dose aplicada (6 Mg ha⁻¹) assim como os cultivos com os mesmos consórcios de plantas

de cobertura cultivados no período anterior, devidamente condicionadas nas faixas demarcadas de cada tratamento. Não foi realizada nova aplicação de pó de rocha com o intuito de avaliar seu efeito residual.

Para a safra de verão 2022/2023 no mês de outubro de 2022 foi realizada a semeadura com a cultura da soja Cultivar M5947IPRO através de semeadora de precisão, com espaçamento entre linhas de 0,50 m, utilizando densidade de semeadura de 15 sementes por metro linear, totalizando 300.000 sementes ha^{-1} . Assim como na cultura do milho, foi realizada adubação química na semeadura apenas para a testemunha com adubação, utilizando 250 kg ha^{-1} do formulado químico 02-20-18 (N-P₂O₅-K₂O). Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura por meio de acompanhamento e utilização das técnicas de manejo integrado de pragas e doenças.

Em cada período, antes do manejo das plantas de cobertura foi realizada a amostragem de massa vegetal das plantas para a determinação da produtividade de massa seca de cada consórcio. Tanto para a cultura do milho como para a da soja foi realizada a colheita manual da área útil de cada unidade experimental para avaliação da produtividade das culturas e posteriormente a cada colheita foi realizada a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) e amostragens de solo para avaliação da densidade, porosidade (macro, micro e total) e carbono orgânico total do solo.

3.5 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA

A avaliação da produtividade de matéria seca, foi realizada a partir do seccionamento das plantas de cobertura rente ao solo em estágio de florescimento antecedendo ao seu manejo em cada safra de inverno. Foram coletadas duas amostras aleatórias de material vegetal, por meio de um quadrado metálico com área de 0,25 m², lançado ao acaso em cada unidade experimental.

Os materiais coletados foram acondicionados em sacos de papel e levados ao laboratório do campus para secagem em estufa a uma temperatura de 65° C até peso constante, e posterior pesagem em balança semianalítica para obtenção da estimativa de produtividade da massa seca em kg ha^{-1} de cada consórcio.

3.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO

As propriedades físicas foram avaliadas após a colheita das culturas do milho (verão 2021/2022) e da soja (verão 2022/2023), correspondendo aos períodos de 12 meses e de 24 meses após o início do experimento.

A resistência mecânica do solo a penetração (RP) foi determinada com uso de um penetrômetro digital da marca Falker®, com profundidade máxima da haste até 0,40 m. Para a análise foi considerada a média de três amostragens por unidade experimental considerando a média aritmética a cada 0,05 m de profundidade, sendo ainda que os dados obtidos foram transformados para a unidade de medida de tensão Mega Pascal (MPa).

Para a determinação da densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo foram realizadas coletas de amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos metálicos de volume conhecido, compreendendo quatro profundidades (0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m) para cada subfaixa, seguindo metodologia proposta por Almeida et al. (2017).

A avaliação da RP e da densidade foram realizadas com uma umidade volumétrica do solo média de $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A importância de se conhecer a umidade do solo para avaliação física do solo deve-se ao fato de existir uma relação inversa entre as duas características.

O teor de carbono orgânico total do solo foi realizado de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016). As amostragens foram realizadas com uso de uma pá de corte nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m coletando-se três subamostras em cada parcela que constituíram uma amostra composta por unidade experimental. As coletas foram realizadas após a colheita de cada safra de verão.

3.7 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DOS CEREAIS: MILHO E SOJA

Para a avaliação da produtividade das culturas do período de verão (milho e soja), em cada safra foi realizada a colheita manual de cada unidade experimental separadamente, descartando as bordaduras, e posteriormente as culturas foram trilhadas em debulhador móvel de cereais acionado pela tomada de potência de trator agrícola. Posteriormente foi determinado em balança a massa de grãos produzidos, corrigida para 13% de umidade, sendo os resultados expressos em kg ha^{-1} .

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA), a 5% de significância para o teste F. Quando detectados efeitos significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a determinação de igualdade ou diferença entre as médias das testemunhas e as médias dos demais tratamentos foi empregado o teste de Dunnett a 5% de significância.

As análises estatísticas foram realizadas nos programas estatísticos GENES (CRUZ, 2013) e SISVAR (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DOS CONSÓRCIOS DE PLANTAS DE COBERTURA

Para a produtividade de massa seca da parte aérea dos consórcios de plantas de cobertura foi verificado que houve efeito para a interação entre os consórcios e o pó de rocha basáltica no cultivo do ano de 2021 e efeito isolado dos consórcios, da cama de frango e do pó de rocha no cultivo do ano de 2022.

Na safra 2021 foi verificado que na interação entre o pó de rocha e consórcios, os consórcios de aveia + nabo e tremoço + ervilha apresentaram valores superiores (10.826 e 10.144 kg ha⁻¹, respectivamente) em relação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (9.500 kg ha⁻¹), quando na presença do pó de rocha. Esses resultados representam uma produtividade de massa seca de 14% (1.326 kg ha⁻¹) e de 7% (644 kg ha⁻¹) superiores para os consórcios de aveia + nabo e tremoço + ervilha, respectivamente em relação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (Tabela 4).

Já na ausência de pó de rocha o consórcio de aveia + nabo e aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram valores significativamente maiores (12.436 e 10.852 kg ha⁻¹, respectivamente) do que o consórcio de tremoço + ervilha (7.365 kg ha⁻¹) (Tabela 4), ou seja, aumentos de 69% (5.070 kg ha⁻¹) para o consórcio de aveia + nabo e de 47% (3.487 kg ha⁻¹) para

o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha. Determinando assim uma interação com maiores valores do consórcio de tremoço + ervilha quanto à ausência do pó de rocha.

Tabela 4. Produtividade de massa seca da parte aérea (kg ha^{-1}) de plantas de cobertura em função da interação entre os consórcios de plantas e pó de rocha basáltica e em função da aplicação de cama de frango no cultivo de inverno do ano de 2021.

Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	10.826 aA	12.436 aA
Tremoço + ervilha	10.144 aA	7.365 bB
Ave + nab + tre + erv	9.500 bA	10.852 aA
CV (%)	18,69	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	10.523	
Ausência	9.852	
DMS	1.457	
CV (%)	21,90	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Outro aspecto a ser observado é que apenas o consórcio de tremoço + ervilha apresentou diferença significativa em relação à presença ou ausência do pó de rocha, sendo que na presença do pó de rocha o consórcio apresentou o maior valor ($10.144 \text{ kg ha}^{-1}$), um incremento de 38% (2.779 kg ha^{-1}) em comparação à quando não foi utilizado o pó de rocha nesse consórcio ($7.365,49 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 4).

As culturas de aveia-preta, nabo-forrageiro, tremoço branco e ervilha-forrageira apresentam adaptação a solos de baixa fertilidade, rápido crescimento, alta capacidade de acúmulo de biomassa, ciclagem de nutrientes e, principalmente, o nabo e a aveia apresentam um sistema radicular rústico e de grande alcance em profundidade no solo (SILVA et al., 2006; CARGNELUTTI FILHO et al., 2015; GATZKE, 2017). É de grande importância salientar que essas características fitotécnicas estão concomitantemente atreladas aos altos valores de produtividade de massa seca obtidos, principalmente em um período de baixa pluviosidade como ocorrido neste período de cultivo (Figura 1).

Os valores de massa seca verificados no consórcio de aveia + nabo, tanto na presença como na ausência do pó de rocha (média de $11.630 \text{ kg ha}^{-1}$), estabeleceram um elevado equilíbrio de produtividade. Reis (2021) avaliou a massa seca do cultivo do nabo forrageiro solteiro e em

consórcio com aveia preta associado ao pó de rocha basáltica e enxofre elementar na mesma região do presente trabalho, também com período de baixa pluviosidade nos meses de cultivo. Seus resultados demonstraram valores divergentes aos obtidos pelo presente trabalho com relação ao consórcio, sendo que o nabo em cultivo solteiro apresentou maior produtividade de massa seca (9.717 kg ha^{-1}) enquanto o consórcio obteve produtividade média de 5.716 kg ha^{-1} .

Silva et al. (2007) avaliaram a produtividade de massa seca de plantas de cobertura em cultivo isolado e em consórcio e também verificaram maior valor no cultivo isolado do nabo-forrageiro com 5.900 kg ha^{-1} , sendo que nos sistemas consorciados a espécie de nabo-forrageiro apresentou dominância na produtividade de massa seca. Entre os consórcios avaliados pelos autores também foi utilizado aveia + nabo e aveia + nabo + ervilhaca com produtividades respectivas de 4.700 e 3.600 kg ha^{-1} , valores bem abaixo dos obtidos no presente trabalho.

Por outro lado, Lázaro et al. (2013) avaliaram a produtividade de massa seca de plantas de cobertura de inverno (aveia-preta, nabo-forrageiro e tremoço branco) em cultivos isolados e em consórcios, e verificaram que o consórcio aveia + nabo foi o que apresentou a maior produtividade de massa seca (5.458 kg ha^{-1}), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos estudados.

Souza e Guimarães (2013) estudaram a produtividade de massa seca de adubos verdes de inverno durante diferentes épocas de semeadura em anos consecutivos, incluindo a utilização de aveia, tremoço e seu consórcio nos períodos de julho de 2010 e maio de 2011. Apesar de não haver uma comparação estatística dos valores de produtividade entre os períodos, notadamente os valores apresentaram diferenças, já que no primeiro ano as produtividades foram de 9.100 , 11.100 e $13.300 \text{ kg ha}^{-1}$ e no segundo de 8.700 , 7.600 e 7.600 kg ha^{-1} , respectivamente para os cultivos de aveia, tremoço e aveia + tremoço. Isso pode demonstrar que o período, assim como condições edafoclimáticas podem interferir na produtividade de massa seca na mesma área em anos diferentes, assim como ocorreu neste estudo em comparação aos valores de produtividades entre os períodos.

Vale salientar que a ausência de significância, quando ocorre, entre cultivos isolados e consórcios de plantas pode ser decorrente à competição por recursos naturais como água, luz e nutrientes, principalmente devido as diferentes características de crescimento das espécies que estão sendo utilizadas em consórcio (DUARTE et al., 2014).

Isso pode refletir uma resposta ao que foi obtido no consórcio de tremoço + ervilha do presente estudo, onde mesmo sendo um consórcio de plantas que geralmente possui um maior grau

de interação e aproveitamento dos recursos, sua produtividade depende de fatores externos, onde a ausência do pó de rocha interferiu nesse consórcio em uma menor produtividade de massa seca entre os demais consórcios e no próprio consórcio quando comparado na presença do pó de rocha.

Seidel et al. (2022) trabalhando com pó de rocha associado a plantas de cobertura e microorganismos, constataram maiores valores de produtividade de massa seca do tremoço semeado após braquiária e feijão guandu com pó de rocha assim como onde foi utilizado o pó de rocha associado a braquiária com microorganismos e pó de rocha com *Trichoderma*. O pó de rocha isolado apresentou um dos menores valores de massa seca do tremoço, que segundo os autores tem relação com a atuação das raízes dessas plantas que causam mudanças no pH do solo, assim como na liberação de nutrientes e intemperismo do pó de rocha.

De modo geral, as elevadas produtividades de massa seca da parte aérea dos consórcios de inverno avaliados evidenciam o potencial proporcionado pelas espécies de adubação verde. Com essa estratégia de manejo pode manter adequada quantidade de palha na superfície do solo, importante para a sustentabilidade do sistema de semeadura direta, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes para as culturas em sucessão pelos processos de reciclagem (WOLSCHICK et al., 2016).

No cultivo do ano de 2022 houve efeito isolado para todos os fatores avaliados. Quanto aos consórcios de plantas de cobertura foi verificado que os consórcios de aveia + nabo e de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram os maiores valores de massa seca (8.913 e 9.066 ha^{-1} , respectivamente) quando comparadas ao consórcio de tremoço + ervilha (7.604 ha^{-1}). Esses valores representam aumentos de 17% (1.309 ha^{-1}) para o consórcio de aveia + nabo e aumento de 19% (1.462 ha^{-1}) para o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (Tabela 5).

Em relação ao fator cama de frango, verificou-se que com a utilização do resíduo animal a produtividade de massa seca dos consórcios foi de 9.153 ha^{-1} , um incremento de 16% (1.250 ha^{-1}) em relação ao cultivo sem aplicação da cama de frango (7.903 ha^{-1}) (Tabela 5).

Efeito semelhante foi verificado para o fator pó de rocha, pois, com a utilização do material obteve-se um incremento de 14% na produtividade de massa seca dos consórcios de plantas de cobertura (9.100 ha^{-1}) em comparação a ausência desse insumo (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade de massa seca da parte aérea (kg ha^{-1}) de plantas de cobertura em função dos consórcios de plantas, da cama de frango, do pó de rocha basáltica e das testemunhas durante o cultivo de inverno do ano de 2022.

Tratamentos	Massa seca (kg ha^{-1})
Consórcio	
Aveia + nabo	8.913 a
Tremoço + ervilha	7.604 b
Ave + nab + tre + ver	9.066 a
DMS	1.028
CV (%)	11,11
Cama de frango	
Presença (6 Mg ha^{-1})	9.153 a
Ausência	7.903 b
DMS	898
CV (%)	16,12
Pó de rocha	
Presença (8 Mg ha^{-1})	9.100 a
Ausência	7.956 b
DMS	672
CV (%)	13,00

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Mottin (2016) avaliou a produtividade de massa seca de diferentes plantas de cobertura das famílias Poaceae (aveia e braquiária) e Fabaceae (ervilha e tremoço) no período de outono-inverno e verificou maior valor referente à família Fabaceae, que obteve uma produtividade média de 4.400 kg ha^{-1} , enquanto a família Poaceae apresentou produtividade média de 3.038 kg ha^{-1} . Considerando que o presente trabalho foi realizado na mesma unidade experimental do autor supracitado, nota-se que os consórcios utilizados apresentaram uma produtividade média aproximada de massa seca de 8.528 kg ha^{-1} , elucidando que as plantas de coberturas podem apresentar diferenças de potencial produtivo para cobertura do solo devido às características fitotécnicas, edáficas e climáticas (ZIECH et al., 2015).

Michelon et al. (2019) avaliaram a produtividade de massa seca da utilização de plantas de cobertura de inverno (aveia-preta, nabo-forrageiro, ervilhaca, tremoço e ervilha-forrageira) semelhantes a este estudo. As plantas foram cultivadas isoladamente ou em consórcios durante três safras em anos consecutivos, verificando como resultado que a ervilha-forrageira apresentou a maior produtividade no primeiro ano de cultivo em relação aos demais tratamentos (valor próximo a 4.000 kg ha^{-1}), demonstrando destaque para uso como adubação verde. Já no segundo e terceiro

anos, os consórcios de aveia + nabo + ervilhaca e aveia + ervilhaca apresentaram as maiores produtividades (valor entre 4.000 e 5.000 kg ha⁻¹). Durante os três anos, os cultivos de azevém e aveia-preta em cultivo solteiro apresentaram os menores valores, com média abaixo de 2.000 kg ha⁻¹.

Ziech et al. (2015) avaliaram plantas de cobertura de inverno durante dois anos e verificaram que no primeiro ano, devido as condições adversas climáticas, não houve diferenças significativas entre os 8 tratamentos utilizados com plantas de cobertura, com médias variando de 2.200 a 4.067 kg ha⁻¹ para o nabo-forrageiro e o centeio, respectivamente. Já no segundo cultivo as maiores produtividades foram obtidas com a aveia-preta, centeio e diferentes tipos de consórcios, com médias próximas de 4.000 a 5000 kg ha⁻¹.

Os autores supracitados afirmam que o uso de consórcios permite incorporar ao sistema os benefícios isolados das culturas que os compõem e que seu uso deve ser estimulado principalmente no sistema de plantio direto, além disso, as diferenças de rendimento das espécies são comuns durante os anos. Essa implicação pode ser plenamente verificada no presente estudo, pois, apenas no segundo ano houve resultados significativos dos fatores isolados estudados.

Altos rendimentos semelhantes aos encontrados neste estudo foram dispostos por Sanchez (2012), onde avaliou a produtividade de massa seca da parte aérea de plantas de cobertura de inverno e encontrou que o nabo forrageiro em cultivo solteiro produziu o maior valor significativo 12.730 kg ha⁻¹ em relação aos cultivos de aveia, azevém e ervilhaca com valores respectivos de 9.120, 6.400 e 2.410 kg ha⁻¹. O mesmo autor também avaliou a massa seca radicular destas plantas e evidenciou a maior produção significativa para a aveia, evidenciando o alto potencial produtivo desta espécie também na zona radicular. Isso demonstra ainda que o uso dos consórcios como aveia + nabo pode favorecer a relação de melhores aproveitamentos a nível de rendimento de parte aérea e exploração radicular.

Com relação ao uso da rochagem, Rocha Neto (2020) verificou que a aplicação de pó de rocha na mesma dose deste estudo (8 Mg ha⁻¹) proporcionou aumento de 18% na produtividade de massa seca da parte aérea de quatro espécies vegetais da família Poaceae. Segundo o autor, esses efeitos também auxiliam indiretamente sobre as propriedades físicas do solo, pois à medida que favorece o aumento na produção de fitomassa, promove aumento no teor de matéria orgânica do solo melhorando a qualidade de formação e estabilização dos agregados do solo

Todavia trabalhos como os de Knapik e Angelo (2007) demonstraram que o uso de pó de rocha basáltica em substrato com dose correspondente à 300 Mg ha^{-1} proporcionou a menor produtividade de fitomassa da parte aérea de mudas de *Prunus sellowii*, cultivadas em viveiro. Os autores relacionaram que as altas concentrações do material de fina granulometria diminuiu a porosidade total e aumentou a densidade de partículas do solo, o que pode ter gerado um efeito cimentante no solo gerando uma interferência na aeração do solo e consequentemente no crescimento das mudas. Por isso é importante salientar que mesmo sendo um insumo sem a presença de restrições no mercado, a utilização de doses muito elevadas pode gerar interferências negativas.

Em estudo semelhante, Costa et al. (2019) avaliaram o potencial produtivo de um Argissolo, usando plantas de cobertura, adubação mineral e doses de cama de frango. Os resultados corresponderam a média de sete cultivos em diferentes anos de avaliação e demonstraram que todos os tratamentos apresentaram valores significativos superiores ao tratamento sem adubação de solo (mineral e/ou orgânica), e o tratamento com a maior dose de cama de frango ($8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) apresentou também a maior produtividade de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura ($10,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Os autores enfatizaram que a área cultivada com as plantas de cobertura sem adubação não estabeleceu uma sustentabilidade para o sistema de plantio direto diante ao valor de produtividade de massa seca obtido de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

É importante destacar que a produtividade de massa seca possui importância à nível de cobertura e manutenção da qualidade dos solos. Para Alvarenga et al. (2001), 6 Mg ha^{-1} de massa seca na superfície é quantidade suficiente para se obter boa cobertura do solo e, dessa forma, proporcionar melhorias nos atributos químicos físicos e biológicos do solo. Já Canalli et al. (2010) consideram que aportes de massa seca inferiores a $7,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ colocariam o sistema de plantio direto na palha em declínio, produções entre $7,5$ e $8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ manteriam o sistema estável e aportes de mais de $8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ melhorariam a qualidade do sistema.

De modo geral, as plantas de cobertura utilizadas apresentaram níveis satisfatórios de produtividade de massa seca, com valores variando de $7,6$ à $12,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ colaborando para uma manutenção de cobertura do solo e também para melhorias da qualidade física do solo. Esses resultados remetem à importância dessas espécies como plantas de cobertura, pois, fornecem grandes quantidades de massa seca, enriquecendo o solo com matéria orgânica e nutrientes,

promovendo controle eficaz contra erosão, além de compor a principal fonte de C orgânico do solo por meio dos resíduos vegetais (AZEVEDO et al., 2007).

4.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO

Não houve diferença significativa nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, e 0,15-0,20 m e houve efeito significativo isolado para os consórcios de plantas de cobertura na camada de 0,10-0,15 m, após 12 meses de cultivo - safra verão 2021/2022. Dentre os consórcios avaliados, o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou maior teor de carbono orgânico (11,50 g dm⁻³) em relação ao consórcio de tremoço + ervilha (9,76 g dm⁻³) e o mesmo consórcio também apresentou valor superior ao encontrado na testemunha absoluta (8,33 g dm⁻³) (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de carbono orgânico total do solo (g dm⁻³) nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 12 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Consórcio	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Aveia + nabo	14,99	15,24	10,57 ab αβ	7,40
Tremoço + ervilha	14,15	15,44	9,76 b αβ	7,74
Ave + nab + tre + erv	14,04	16,90	11,50 a β	6,60
DMS	2,28	2,28	1,37	2,62
CV (%)	14,62	13,25	11,92	33,31
Cama de frango				
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	13,99	15,93	9,92	6,90
Ausência	14,79	16,78	10,30	7,60
DMS	0,86	1,38	0,86	1,90
CV (%)	9,13	13,27	12,39	40,23
Pó de rocha				
Presença (8 Mg ha ⁻¹)	14,46	15,75	10,46	7,37
Ausência	14,33	15,96	10,76	7,13
DMS	0,72	1,60	1,08	1,46
CV (%)	8,21	16,64	16,71	33,13
Tratamentos adicionais				
Testemunha absoluta	15,78	14,81	8,33 α	4,77
Testemunha adubação NPK	14,32	18,41	10,96 β	6,04

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras gregas (α; β) representam comparação entre tratamentos adicionais e demais tratamentos pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados demonstram que o consórcio com as quatro plantas de cobertura em conjunto proporcionou um aumento de 17,8% no teor de COT no solo em relação ao consórcio de tremoço + ervilha e um aumento de 38% em relação à testemunha absoluta.

Os maiores teores de COT entre médio (9-14 g dm⁻³) e alto (15-20 g dm⁻³) (PAULETTI; MOTTA, 2019) foram evidenciados nas primeiras camadas do solo e foram diminuindo de acordo com o aumento da profundidade. Solos com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de carbono devido à capacidade da matéria orgânica no solo em formar diferentes tipos de ligação com partículas de elevada superfície específica e o mecanismo de proteção coloidal proporcionado 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 (NOVAIS et al., 2007).

Os resultados obtidos de maior COT pelo consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha podem estar relacionados à maior diversidade de plantas e por sua respectiva capacidade de decomposição rápida por pertencerem em maior parte a plantas com menor índice de relação C/N. Além disso, quando as plantas de cobertura são utilizadas em sistema consorciado isso possibilita maior produção de matéria seca, tanto na parte aérea quanto na radicular, e conseqüentemente após sua decomposição irão interferir na dinâmica do carbono orgânico do solo (SEIDEL et al., 2015).

O carbono no solo pode estar em formas inorgânicas (carbonato e bicarbonato) e orgânicas. O carbono orgânico do solo (matéria orgânica) é constituído por microrganismos, húmus estabilizado, resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição. Dessa forma, ao se introduzir uma diversidade maior de plantas em um sistema de cultivo é notório que o incremento de resíduos vegetais após seu manejo venha a ocasionar aumentos no conteúdo de CO do solo, como verificado no presente trabalho.

De forma geral, 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 COT; entretanto, a cama de frango utilizada não foi suficiente para que ocorresse diferenças significativas.

Ribeiro et al. (2019b) trabalhando com doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais (cama de frango e esterco bovino) não encontraram efeito significativo da utilização dos resíduos nas profundidades analisadas (0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m) após uma e duas safras de cultivo. Porém, a autora enfatiza que após o segundo cultivo os valores encontrados foram superiores ao primeiro, podendo ser resultado de um efeito residual promovido pela utilização dos

resíduos. Apesar deste resultado, os teores de CO foram semelhantes aos encontrados neste trabalho, diminuindo de acordo com o aumento da profundidade.

Apesar dos valores não serem significativos na camada de 0,15-0,20 m, os tratamentos utilizados contribuem com a maior dinâmica da atividade microbológica no solo, e esses critérios podem ter influenciado os valores de COT encontrados, principalmente nos teores de COT mais elevados dos tratamentos em relação aos encontrados nas testemunhas nesta camada, contudo, não ao ponto de resultar em diferença estatisticamente significativa.

O efeito de plantas de cobertura no acúmulo de matéria orgânica no solo e na melhoria de seus atributos biológicos deve ser quantificado regionalmente e para cada sistema produtivo, uma vez que depende da textura e mineralogia do solo, do relevo e das condições de temperatura e umidade (CUNHA et al., 2011). A quantificação dos estoques de C promovidos pela biomassa vegetal em sistemas de rotação de culturas, são importantes para avaliar a capacidade destes sistemas de produção em sequestrar carbono da atmosfera e assim contribuir para a equilíbrio do ciclo do carbono (SALTON, 2005).

Duarte et al. (2014) avaliaram cinco espécies de plantas de cobertura utilizadas na adubação verde diante seus efeitos no solo, e constataram que não houve diferença para o teor de matéria orgânica do solo após os cultivos (média de $10,7 \text{ g dm}^{-3}$), tendo que a área de vegetação nativa obteve o maior valor significativo com 14 g dm^{-3} .

Carneiro et al. (2008), avaliando diferentes espécies de adubos verdes e seus efeitos na biomassa microbiana do solo, verificou valores elevados na taxa de respiração microbiana no sistema sem plantas de cobertura e menores valores nas áreas sob resíduos vegetais de crotalária e guandu. Estes resultados remetem a perda de carbono na forma de CO_2 para a atmosfera na área sem cobertura e o efeito positivo na população microbiana e manutenção do carbono no solo.

Gonçalves e Ceretta (1999), conduziram experimento durante um período de seis anos consecutivos, utilizando cinco plantas de cobertura de inverno com sucessão de milho no verão. Para todos os tratamentos o maior acúmulo significativo ocorreu na camada mais superficial avaliada (0,0-0,025 m) com média de $10,7 \text{ g dm}^{-3}$, todavia na média geral das três profundidades avaliadas de 0,0 - 0,17 m somente a rotação com tremço azul promoveu a maior quantidade de carbono acumulado nos resíduos vegetais e na quantidade adicionada ao solo, enquanto o tratamento sob pousio invernal (sob plantas espontâneas) apresentou 18% a menos de teor de carbono acumulado em relação a este tratamento.

Segundo Amado et al. (2001) uso de espécies dentro da família das Fabaceae como o tremoço e ervilha utilizadas neste trabalho, apresenta grande diversidade para rotação de culturas e aumentam de forma significativa a retenção de carbono e nitrogênio no solo, com implicações importantes para o balanço destes elementos.

Aos 24 meses após o início do experimento houve efeito significativo isolado para o pó de rocha basáltica na camada de 0,00-0,05 m e para a cama de frango na camada de 0,15-0,20 m; e também houve efeito significativo para a interação entre os consórcios de plantas de cobertura e a cama de frango na camada de 0,05-0,10 m; interação significativa entre os consórcios de plantas e o pó de rocha nas camadas de 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m e interação significativa entre a cama de frango e o pó de rocha basáltica na camada de 0,10-0,15 m.

Na camada de 0,00-0,05 m a presença do pó de rocha basáltica teve teores de COT de 21,49 g dm⁻³, sendo 25,2% superior em relação ao tratamento em ausência do pó de rocha, cujo valor foi de 17,17 g dm⁻³ (Tabela 7).

Tabela 7. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm⁻³) na camada de 0,00-0,05 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Consórcio	0,00-0,05 m
Aveia + nabo	19,62
Tremoço + ervilha	20,49
Ave + nab + tre + ver	17,87
DMS	3,69
CV (%)	17,63
Cama de frango	
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	20,19
Ausência	18,47
DMS	2,09
CV (%)	16,52
Pó de rocha	
Presença (8 Mg ha ⁻¹)	21,49 a
Ausência	17,17 b
DMS	2,82
CV (%)	24,02
Tratamentos adicionais	
Testemunha absoluta	12,76
Testemunha adubação NPK	20,94

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Esse resultado pode ser reflexo da liberação de cátions pelo intemperismo das partículas do pó de rocha basáltica que aumenta a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade de nutrientes no solo, o que pode melhorar o sequestro de carbono, resultando em melhor estabilidade do solo. Além disso, o aumento da formação de minerais argilosos devido ao intemperismo dos silicatos pode aumentar ainda mais a retenção de COT através de uma série de interações organominerais, incluindo reações de adsorção e proteção física da matéria orgânica contra organismos em decomposição, que ajudam a construir o solo e ao mesmo tempo melhoram a qualidade (BEERLING et al., 2018).

Os efeitos a longo prazo da aplicação de rochas de silicato no teor de carbono orgânico dos solos agrícolas não são totalmente compreendidas e requerem mais investigação. Porém, devido as várias interações químicas com o solo, a adição de rochas moídas poderá alterar características importantes do solo, assim como o desempenho das culturas que capturam carbono, além de potencializar a eficiência associada a captura de carbono.

Na camada de 0,05-0,10 m a interação entre os consórcios de plantas e a cama de frango demonstrou que o consórcio de aveia + nabo proporcionou os maiores teores de carbono orgânico em relação aos demais consórcios, tanto na presença como na ausência de cama de frango. Os consórcios de tremoço + ervilha e aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram significância em relação à cama de frango, com os maiores valores de COT na presença de cama de frango (Tabela 8).

O consórcio de aveia + nabo apresentou teor de $15,24 \text{ g dm}^{-3}$ quando na presença de cama de frango, sendo 18% superior aos consórcios de tremoço + ervilha ($12,95 \text{ g dm}^{-3}$) e aveia + nabo + tremoço + ervilha ($12,93 \text{ g dm}^{-3}$). Já na ausência de cama de frango o referido consórcio também se mostrou superior aos demais, com teor de 16 g dm^{-3} de CO, sendo superior em 45% ao consórcio de tremoço + ervilha ($11,01 \text{ g dm}^{-3}$) e 57% superior ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ($10,20 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 8).

Esse resultado pode estar relacionado ao fator de estabilidade do carbono discutida anteriormente, já que a aveia possui maior relação C/N e menor velocidade de decomposição do material no solo, o que mantém a cobertura por maior período de tempo no solo. Outro fator a ser lembrado é a proporção da aveia no consórcio, já que a aveia consorciada apenas com nabo obtém maior proporção de plantas e também melhor desenvolvimento de seu potencial produtivo em massa vegetal.

Tabela 8. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,05-0,10 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango e após a aplicação de pó de rocha basáltica de forma isolada.

Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	15,24 a A	16,00 a A
Tremoço + ervilha	12,95 b A	11,01 b B
Ave + nab + tre + erv	12,93 b A	10,20 b B
CV (%)	11,31	
Pó de rocha		
Presença (8 Mg ha ⁻¹)	12,46	
Ausência	13,65	
DMS	2,37	
CV (%)	29,98	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	14,42	
Testemunha adubação NPK	13,93	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Rudisill et al. (2015) avaliaram a qualidade do solo durante três anos consecutivos com a utilização de ervilhaca e cama de frango (parcialmente compostada e peletizada) além de uréia e uma testemunha. Segundo os resultados encontrados, a aplicação repetida de adubo verde e cama de frango resultou em solos com maior atividade microbiana e carbono, além do que o adubo verde proporcionou acúmulo de carbono alto ao longo do tempo.

Ao se avaliar o efeito da cama de frango, esta não promoveu diferenças para o consórcio de aveia + nabo, contudo, houve diferença quanto a presença ou ausência do resíduo para os demais consórcios que apresentaram maiores valores com a presença do material. No consórcio de tremoço + ervilha na presença de cama de frango o teor de COT foi de $12,95 \text{ g dm}^{-3}$ que foi 18% maior do que na ausência de cama de frango ($11,01 \text{ g dm}^{-3}$). No consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha o valor de COT obtido com a presença de cama de frango foi de $12,93 \text{ g dm}^{-3}$, sendo 27% maior que o valor obtido sem a utilização da cama de frango ($10,20 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 8).

Valadão e Benedet (2011) trabalhando com sistemas de manejo e cama de frango, discorre que os valores de relação C/N do material adicionado no solo influência nos teores de COT. Assim tanto a cama de frango compostada como materiais orgânicos de maior relação C/N agregam ao solo C mais estável e de difícil degradação, o que pode justificar os maiores teores encontrados na

presença da utilização de cama de frango deste trabalho nos consórcios de tremoço + ervilha e aveia + nabo + tremoço + ervilha em relação ao tratamento na ausência de cama de frango.

Silva et al. (2020) trabalhando com diferentes fontes de adubo na cultura do milho, destacaram que a utilização de cama de frango na dose equivalente à 6 Mg ha^{-1} obteve maior teor de COT (13 g dm^{-3}) em relação aos tratamentos que não receberam adubação e àqueles que receberam aplicação de adubo mineral, organomineral e compost barn com teores de 7,14, 6,52, 8,36 e $8,84 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente.

Vale ressaltar que mesmo materiais de relação C/N baixa possuem contribuição para manutenção do C no solo, e de acordo com Andreola et al. (2000) matérias de baixa relação C/N quando adicionados no solo, os microrganismos decompositores, decompõe o material e o C de baixa qualidade preexistente. Por outro lado, o C contido no composto orgânico é mais estável e com maior dificuldade de degradação, uma vez que parte se encontra humificada. Por essa razão, a aplicação sucessiva de composto orgânico ao solo contribui para elevação gradual dos teores de CO.

Mottin et al. (2022) não encontraram diferenças significativas no teor do COT no solo na comparação entre o cultivo do milho em consórcio com plantas de cobertura do solo na primeira safra na camada de 0,00 – 0,20 m. Porém, em segunda safra consecutiva obteve-se resultados significativos, onde o cultivo consorciado com plantas da família Fabaceae apresentaram aproximadamente 7% a mais de COT do que as plantas da família Poaceae. Segundo os autores o fato pode estar relacionado ao maior tempo que as plantas desta família disponibilizam carbono ao solo pela sua decomposição lenta devido à alta relação C/N.

Na camada de 0,10-0,15 m a interação significativa entre os consórcios de plantas e o pó de rocha demonstrou que dentre os consórcios quando houve a presença de pó de rocha o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou maior teor de COT ($10,30 \text{ g dm}^{-3}$) em relação ao consórcio de aveia + nabo ($8,06 \text{ g dm}^{-3}$), um aumento de 28% (Tabela 9).

Em contrapartida, quando não houve a utilização do pó de rocha ocorreu o inverso, com o consórcio de aveia + nabo apresentando o maior teor de COT ($11,23 \text{ g dm}^{-3}$) quando comparado ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ($8,25 \text{ g dm}^{-3}$), ou seja, um aumento de 36% (Tabela 9).

Ao se avaliar o efeito do pó de rocha sobre cada consórcio verificou-se que para o consórcio de aveia + nabo o maior teor de CO foi obtido na ausência de pó de rocha ($11,23 \text{ g dm}^{-3}$

³), enquanto que para o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ocorreu o contrário, com o maior teor de CO quando o pó de rocha foi utilizado (10,30 g dm⁻³) (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de carbono orgânico total no solo (g dm⁻³) na camada de 0,10-0,15 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha basáltica e após a interação entre a aplicação de cama de frango e pó de rocha basáltica.

Efeito da aplicação de cama de frango e pó de rocha basáltica.		
Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	8,06 b B	11,23 a A
Tremoço + ervilha	9,54 ab A	9,98 ab A
Ave + nab + tre + erv	10,30 a A	8,25 b B
CV (%)	16,67	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	9,64 a B	11,15 a A
Ausência	8,95 a A	8,49 b A
CV (%)	16,67	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	7,50	
Testemunha adubação NPK	9,45	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Esse resultado pode ter relação com a persistência do carbono no solo, já que é afetada pela ocorrência de processos importantes, como a atividade microbiana, a disponibilidade metabólica do substrato e a sorção em colóides do solo (KALBITZ et al., 2003). Segundo os autores 10-40% do carbono no solo é rapidamente mineralizada pela biota nativa do solo. Assim, a mineralização do carbono orgânico no solo é em grande parte afetada pela microbiota do solo, que por sua vez sofre interferências de condições como umidade, temperatura, aeração e pH do solo, e essas condições estão relacionadas ao cultivo das plantas de cobertura e da utilização do pó de rocha.

Outro resultado de interesse significativo foi que na presença do pó de rocha o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou maior valor do que na ausência do pó, assim como esse valor foi superior ao encontrado no consórcio de aveia + nabo. Esse resultado demonstra que esses consórcios apresentaram uma relação inversa de resposta à presença do pó de rocha, que pode estar associado aos fatores biológicos do solo descritos, como também pode estar associado pela

interação do consórcio na produção de massa vegetal da parte aérea e radicular inerente a dinâmica entre as espécies utilizadas.

Alvarez et al. (2017) relataram que as interações dos consórcios trazem vários benefícios nas propriedades físicas do solo, além de produzir resíduos intermediários quanto a relação CN que favorecem a mineralização de N e promovem maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo ao longo do tempo (DONEDA et al., 2012; ZIECH et al., 2015). Outros estudos como de Michelin et al. (2019) e Redin et al. (2014) demonstram que cada espécie de planta de cobertura possui dinâmicas diferenciadas nos níveis de decomposição e liberação de nutrientes dos seus resíduos e esse comportamento está relacionado à sua composição, o qual está associado à relação carbono/nitrogênio (CN) e presença de compostos mais lábeis ou recalcitrantes.

Para a interação entre a cama de frango e o pó de rocha basáltica foi verificado que o maior teor de carbono orgânico ocorreu na presença de cama de frango e ausência de pó de rocha ($11,15 \text{ g dm}^{-3}$), sendo superior à ausência de cama de frango ($8,49 \text{ g dm}^{-3}$) e superior à presença de pó de rocha ($9,64 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 9).

Ao avaliar esses resultados nota-se respostas diferenciadas para cada interação entre os tratamentos. Assim, possivelmente também se sugere a ocorrência de interferências biológicas no solo que podem ter afetado esses resultados, principalmente pelos processos químicos que tais tratamentos podem gerar ao solo, como alteração de pH e na microbiota do solo. Silva et al. (2017) destacam que a associação dos pós de rochas com materiais orgânicos influencia nos processos de alteração dos minerais, já que a atividade dos microrganismos presentes no material orgânico (esterco), auxiliam na liberação dos nutrientes presentes na mistura (rochagem + material orgânico) para a solução do solo.

Onesko (2023) não encontrou efeito no teor de carbono orgânico na camada mais superficial do solo, porém, na camada de 0,10-0,20 m verificou efeito significativo da utilização de pó de rocha nas doses de 9 e 12 Mg ha^{-1} quando associado a adubação orgânica. Bayer et al. (2004) ressaltam que esse aumento no armazenamento de carbono é importante para os sistemas agrícolas, preferencialmente quando armazenado na fração lábil do solo, e pode ser realizado através das práticas adequadas de manejo e pelo contínuo aporte de resíduos ao sistema.

Niewinski (2017) avaliou a fertilização do solo em uma área onde havia sido aplicado 5 Mg ha^{-1} de pó de rocha após 4 anos e verificou que a rochagem incrementou o teor de MO na camada 0,00-0,20 m, mas não afetou os teores na camada 0,20-0,40 m. Segundo o autor o

incremento da matéria orgânica foi proveniente da deposição de resíduos orgânicos, principalmente de origem vegetal, como exsudatos radiculares e senescência dos tecidos vegetais que, por sua vez, possuem relação com outros fatores como retenção de água, CTC, pH e ação microbiana. Com isso, o autor concluiu que com adição do pó de rocha se atingiu uma maior produção vegetal, aumentando os teores de MO do solo.

Na camada de 0,15-0,20 m a interação entre os consórcios de plantas de cobertura e o pó de rocha basáltica demonstrou que a utilização do consórcio de aveia + nabo apresentou resultado muito semelhante ao verificado na camada anterior. Esse consórcio apresentou o maior teor de carbono quando não foi utilizado o pó de rocha ($9,81 \text{ g dm}^{-3}$), além de apresentar maior teor de CO em relação aos demais consórcios quando não foi utilizado o pó de rocha, sendo que esse valor foi 62% superior ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ($6,04 \text{ g dm}^{-3}$) e 89% superior ao teor obtido com o consórcio de tremoço + ervilha ($3,39 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 10).

Já para a cama de frango de forma isolada foi verificado que a sua ausência apresentou maior valor de carbono ($7,76 \text{ g dm}^{-3}$) em relação a sua presença ($6,46 \text{ g dm}^{-3}$) (Tabela 10).

Tabela 10. Teor de carbono orgânico no solo (g dm^{-3}) na camada de 0,15-0,20 m, 24 meses após a interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha basáltica e após a aplicação de cama de frango de forma isolada.

Cama de frango de forma isolada.		
Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	7,35 a B	9,81 a A
Tremoço + ervilha	8,74 a A	3,39 c B
Ave + nab + tre + erv	7,33 a A	6,04 b A
CV (%)	26,38	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	6,46 b	
Ausência	7,76 a	
DMS	1,14	
CV (%)	24,59	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	6,63	
Testemunha adubação NPK	6,13	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Pesquisas como as realizadas por Moraes (2021), Penha (2016), Brito et al. (2019) e Uroz et al. (2010) discorrem sobre a utilização do pó de rocha e suas relações biológicas com o solo. Como os microrganismos do solo e as raízes das plantas liberam ácidos orgânicos que solubilizam os minerais contidos no pó de rocha e diminuem a adsorção mineral pelas argilas, aumentando a disponibilidade dos nutrientes e a proliferação das populações de microrganismos na rizosfera, isso promove uma melhor absorção dos nutrientes disponíveis no solo pelas plantas e, conseqüentemente, atua como fonte indireta de carbono ao solo pelo aumento do potencial produtivo vegetal.

Toscani et al. (2017) testaram o uso de pó de basalto e rocha fosfatada como fonte remineralizadora de solo em altas concentrações equivalentes a 250, 300 e 350 Mg ha⁻¹ a fim de avaliar um efeito cumulativo do uso no solo, ainda se utilizou o uso de NPK e calagem para fim de visualização dos efeitos de correção e química do solo. Os resultados de solo foram avaliados após o cultivo de feijão e os parâmetros de matéria orgânica e carbono nas parcelas onde não se utilizaram insumos oriundos de rocha (calagem ou rochagem) apresentaram 1,18 vezes mais MO que nas demais parcelas, que segundo os autores provavelmente se deve ao consumo pelo aumento da atividade microbiana.

Rodriguez et al. (2024) observaram aumento no teor de carbono orgânico em um Latossolo com a utilização de pó de basalto na dose mais elevada (96 Mg ha⁻¹). A aplicação do pó de basalto, através da formação de novas fases minerais, especialmente Fe e Mn, pode ter contribuído para o aumento da estabilidade física do carbono orgânico e, conseqüentemente, diminuição da oxidação e aumento do seu teor (PONZI et al., 2021).

Além disso, o carbono pode acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica (MO) no solo o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (RIBEIRO, 2011).

Em trabalho realizado por Macedo et al. (2008) foi verificado que o incremento de carbono no solo está intimamente relacionado com o aumento de nitrogênio no solo. Dessa forma, a inclusão de diversidade de espécies na rotação de culturas, principalmente plantas acumuladoras de nitrogênio pode aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo, que é essencial na estabilização do carbono por meio da síntese de substâncias mais humificadas e garante melhor estabilidade estrutural para a MOS (AMADO et al., 2001).

Outro aspecto de grande relevância é que o consórcio de aveia + nabo na ausência de pó de rocha na camada 0,15-0,20 m apresentou o maior teor de carbono, e isso possivelmente deve-se ao fato da ação radicular em maiores profundidades no solo. Reis (2021) e Linck (2019) evidenciaram o potencial de ação física desses adubos verdes em maiores profundidades no solo pela redução dos níveis de compactação do solo.

Em estudos realizados por Jantalia et al. (2004) e Jantalia et al. (2003) utilizando rotação de culturas com maior diversidade de espécies, verificaram diferença nos conteúdos de carbono e nitrogênio do solo, inclusive em maiores profundidades do solo (0,00-0,10 m), enfatizando que o manejo do solo possui ampla interferência para com os estoques de carbono e nitrogênio no solo, demonstrando que os cultivos sob plantio direto apresentaram valores maiores de estoque de carbono e nitrogênio (167 Mg ha^{-1} de C e $14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N) do que no sistema de plantio convencional (149 Mg ha^{-1} de C e 13 Mg ha^{-1} de N).

4.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (RP)

Não houve interação significativa ($p < 0,05$) entre os consórcios de plantas de cobertura, a aplicação de cama de frango e a aplicação de pó de rocha após 12 meses de cultivo, contudo houve efeito isolado para a utilização da cama de frango e para o pó de rocha (Figura 3).

A cama de frango na dose de 6 Mg ha^{-1} proporcionou diferença significativa na RP na profundidade do solo de 0,20 m. A RP foi 12% menor com o uso da cama de frango nessa profundidade (Figura 3A).

Com relação à utilização do pó de rocha basáltica, observou-se diferenças significativas na camada de 0,00-0,05 m de profundidade. Porém os valores obtidos de RP nessa camada foram abaixo de 0,05 MPa e por isso, esse resultado não demonstra fundamentalmente uma resposta real de modificações em decorrência do uso do pó de rocha; pois, nessa camada ocorre maior efeito do desenvolvimento e ação dos cultivos (Figura 3B).

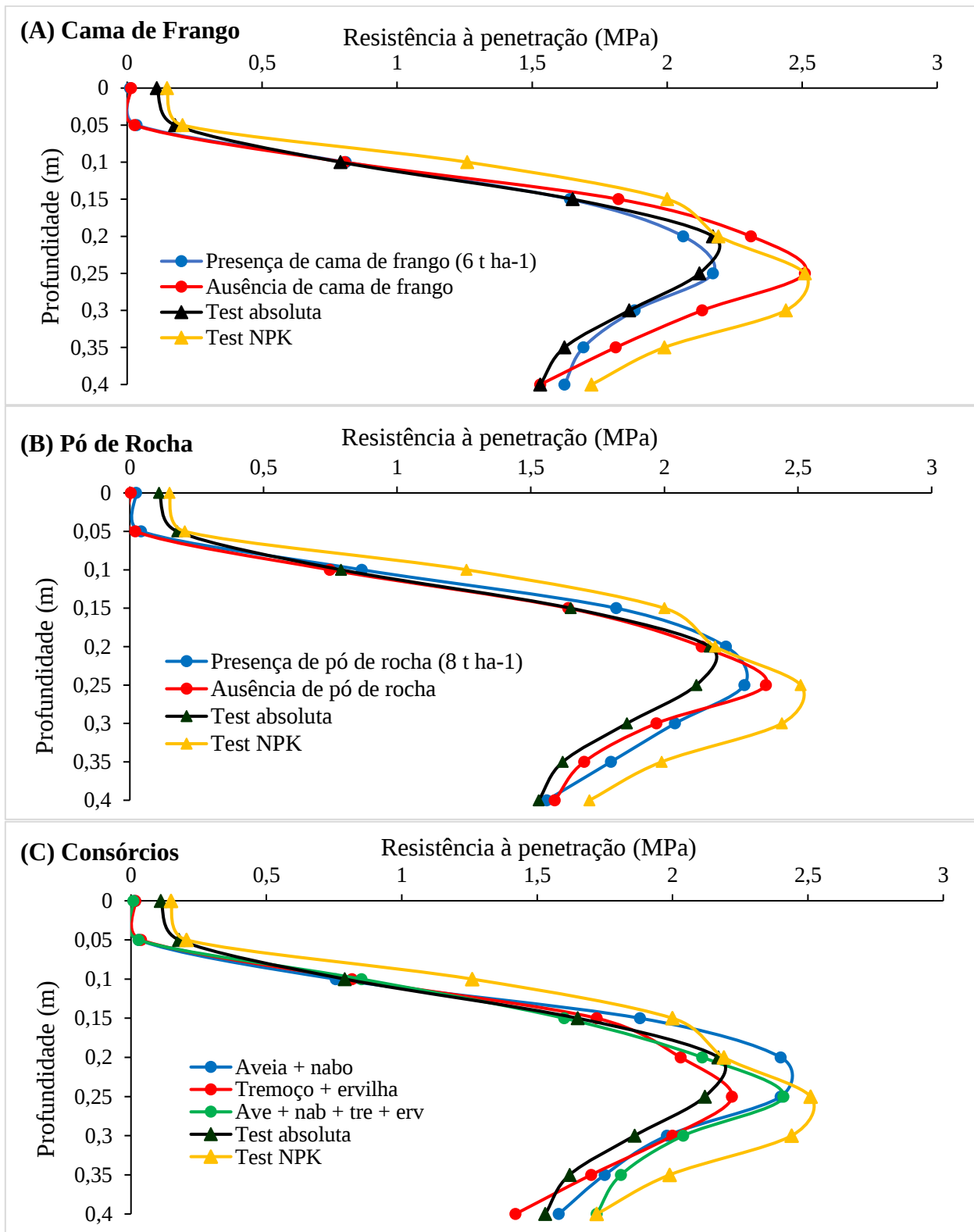


Figura 3. Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de milho em sucessão a cama de frango (A), pó de rocha basáltica (B) e consórcios de plantas de cobertura (C). Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste, PR, 2021/2022.

Cabe salientar que para as condições de solo argiloso sob semeadura direta onde o estudo foi conduzido, os valores de RP ficaram abaixo do limite crítico de 3,5 MPa proposto por Moraes et al. (2014). Esses autores enfatizam que o limite crítico de 2,0 MPa, amplamente utilizado para caracterizar a qualidade física do solo, é mais apropriado para sistemas de plantio convencionais, enquanto o valor de 3,0 MPa é melhor recomendado para sistemas de cultivo mínimo com escarificação.

A redução na RP com a utilização da cama de frango possivelmente está relacionada ao aporte de matéria orgânica ao solo, visto que a cama de frango utilizada no cultivo do ano de 2021 apresentava cerca de 32% de matéria orgânica. Isso porque a matéria orgânica apresenta baixa densidade e tem a capacidade de aumentar a agregação do solo, contribuindo para maior macroporosidade que favorece a maior disponibilidade e retenção de água e menor resistência à penetração das raízes (MOSADDEGHI et al., 2009).

O resultado opõe-se ao encontrado por Valadão e Benedet (2011), onde em um Latossolo os autores utilizaram 2,5 Mg ha⁻¹ de cama de frango compostada e crua durante quatro anos consecutivos e não obtiveram resultados significativos para RP até a profundidade de 0,30 m, enfatizando que a dose não foi suficiente para ocasionar efeitos físicos no solo.

Já segundo Moura et al. (2012) teoricamente a adição de dejetos líquidos de suínos e de cama de frango no solo podem modificar a dinâmica do processo de agregação e alterar as propriedades físicas do solo dependentes da estrutura. Esses autores durante a avaliação de RP em um Latossolo de textura argilosa por dois anos consecutivos não encontraram diferenças significativas utilizando 20 e 40 Mg ha⁻¹ de cama de frango associada a *Brachiaria decumbens*, na profundidade de 0,0 a 0,60 m, sendo que seus resultados apresentaram comportamento semelhante a testemunha.

Zarpelon (2022) em estudo entre manejos com diferentes resíduos orgânicos após dez anos de cultivo, encontrou valores de RP próximos a 3 MPa na profundidade de 0,20 m com a utilização de cama de frango, evidenciando ainda média de 1,36 Mg m⁻³ na densidade do solo independentemente do tipo de resíduo utilizado no estudo (dejeito de frango, suíno ou bovino).

Reis (2021) ao usar 12 Mg ha⁻¹ de pó de rocha basáltica em um Latossolo argiloso e cultivar plantas de cobertura não encontrou diferenças significativas para resistência a penetração do solo para a utilização do pó de rocha. Na literatura ainda são escassos os trabalhos utilizando pó de rocha basáltica e sua relação com a resistência do solo, sendo que a maior parte dos trabalhos

como os de Theodoro et al. (2012), Cola e Simão (2012) e Alovisei et al. (2021) discorrem sobre os atributos nutricionais e fertilização através da utilização da rochagem para o solo.

O cultivo com plantas de cobertura não proporcionou diferença significativa entre os consórcios e nem em relação as testemunhas, contudo, cabe salientar que as testemunhas mesmo tendo manejo com capina, apresentaram presença de plantas daninhas durante alguns períodos do experimento. O comportamento da RP no perfil do solo até 0,40 m de profundidade foi semelhante para os tratamentos avaliados. Observou-se uma camada de maior resistência de 0,20 – 0,25 m, com valores acima de 2 MPa, porém os valores encontrados não atingiram 3,5 MPa, proposto por Moraes et al. (2014) como limite crítico para áreas com semeadura direta (Figura 3C).

Os resíduos vegetais podem ter contruibuido para que os valores de RP não ultrapassassem os valores críticos de resistência, pois os resíduos podem proporcionar maiores conteúdos de água no solo, pelo fato de formarem um obstáculo ao processo evaporativo direto para a atmosfera no período de estresse hídrico, conservando melhor a umidade e regulando a temperatura do solo (LLANILLO et al., 2006; FRANCHINI et al., 2009).

Reinert et al. (2008) e Francziskowski et al. (2019) também não observaram mudanças na resistência a penetração após cultivo com plantas de cobertura, enquanto Cardoso et al. (2013) encontraram resultados diferentes ao observado nesse estudo, onde culturas de cobertura como crotalária, feijão-de-porco e milheto reduziram a RP do solo após seus cultivos na camada de 0,00-0,25 m.

Moreti et al. (2006) avaliando sistemas de manejo com semeadura direta ou convencional verificaram que a utilização de crotalária e milheto não modificaram a RP do solo na camada superficial do solo, embora nas camadas mais profundas houve redução da RP para as plantas cultivadas nos dois tipos de manejo do solo.

Resultados contrários foram obtidos por Reis (2021) que observou diferenças de RP entre plantas de cobertura do solo, obtendo os maiores valores para a área sem cobertura, com média de 4,9 MPa na camada de 0,00-0,20 m; enquanto que para o consórcio de aveia preta + nabo-forrageiro e nabo forrageiro em monocultivo os valores de RP foram de 2,7 e 2,4 MPa, respectivamente.

Ao comparar a RP nos cultivos de plantas de cobertura, uso de cama de frango e pó de rocha basáltica em relação às testemunhas, houve diferença significativa apenas na camada de 0,00-0,05 m. Em média nesta profundidade as testemunhas apresentaram a maior RP (0,16 MPa). A RP média na área onde foi cultivado as plantas de cobertura e na área que foi aplicada a cama de frango

foi igualmente de 0,02 MPa; enquanto na área com pó de rocha a média foi de 0,03 MPa e de 0,01 MPa em sua ausência.

Estudos destacam a importância do emprego de adubos orgânicos nos cultivos agrícolas, pois contribui para o aumento dos estoques de matéria orgânica no solo (LIMA et al., 2006; BRITO e SANTOS, 2010), podendo melhorar as condições de estrutura do solo e dinâmica hídrica, o que pode ter influenciado diretamente nos resultados obtidos (BARZEGAR et al., 2002; GRACIANO et al., 2006).

Vale ressaltar que solos com adequadas qualidades físicas, assim como elevados teores de nutrientes, semelhante ao local utilizado neste estudo, tendem a não responder de forma significativa à aplicação de resíduos orgânicos a curto prazo, obtendo efeitos mais evidentes em solos naturalmente pobres e com algum grau de degradação física (COSTA et al., 2009).

De modo geral, os resultados de RP demonstraram a presença de uma camada de maior resistência do solo na profundidade de 0,20 -0,25 m independente dos tratamentos utilizados, isso pode ser decorrente do sistema de manejo da área experimental sem revolvimento do solo durante pelo menos três anos consecutivos. Franchini et al. (2009) inferiram que a existência de uma camada compactada que confine o desenvolvimento radicular a 0,20 m de profundidade limita o volume de água disponível ao valor de 36 mm, o que restringe a demanda hídrica da cultura para poucos dias.

No sistema plantio direto (SPD) a pressão aplicada na superfície do solo, que se encontra mais resistente à compactação, apresenta dinâmica diferenciada quando comparada com o preparo convencional (VEIGA et al., 2008). A geração de uma camada superficial de menor resistência no SPD pode ser atribuído à ação escarificadora dos sulcadores da semeadora, corroborando com os resultados de trabalhos de Beutler et al. (2001).

Geralmente, as camadas densas são localizadas nas regiões mais profundas do perfil do solo, devido aos efeitos do preparo anterior ao SPD, e manifestam-se por camadas de solo com maior densidade (MOREIRA et al., 2016). Porém, associado aos diversos benefícios que o SPD traz ao solo, há relatos de formação de camadas compactadas, provocadas por um conjunto de negligências, de forma que ocorrem modificações no desenvolvimento radicular das culturas, assim como nos sistemas convencionais de manejo de solo.

Para a resistência a penetração 24 meses após a instalação do experimento (após cultivo da soja) foi constatado efeito significativo para a interação entre os consórcios de plantas e pó de

rocha para a camada de 0,10-0,15 m (Figura 4) e efeito significativo para a cama de frango de forma isolada na camada de 0,05-0,15 m (Figura 5).

Para a interação entre consórcios e pó de rocha na profundidade de 0,10 m observou-se que o consórcio de aveia + nabo na presença de pó de rocha apresentou menor RP (0,92 MPa), enquanto, quando cultivado sem o pó de rocha a RP foi de 1,80 MPa; ou seja, o uso de pó de rocha proporcionou uma redução na RP de 48,88%. Na ausência do pó de rocha o consórcio de tremoço + ervilha apresentou a menor RP (1,11 MPa) em relação ao consórcio de aveia + nabo (1,80 MPa) (Figuras 4A e 4B).

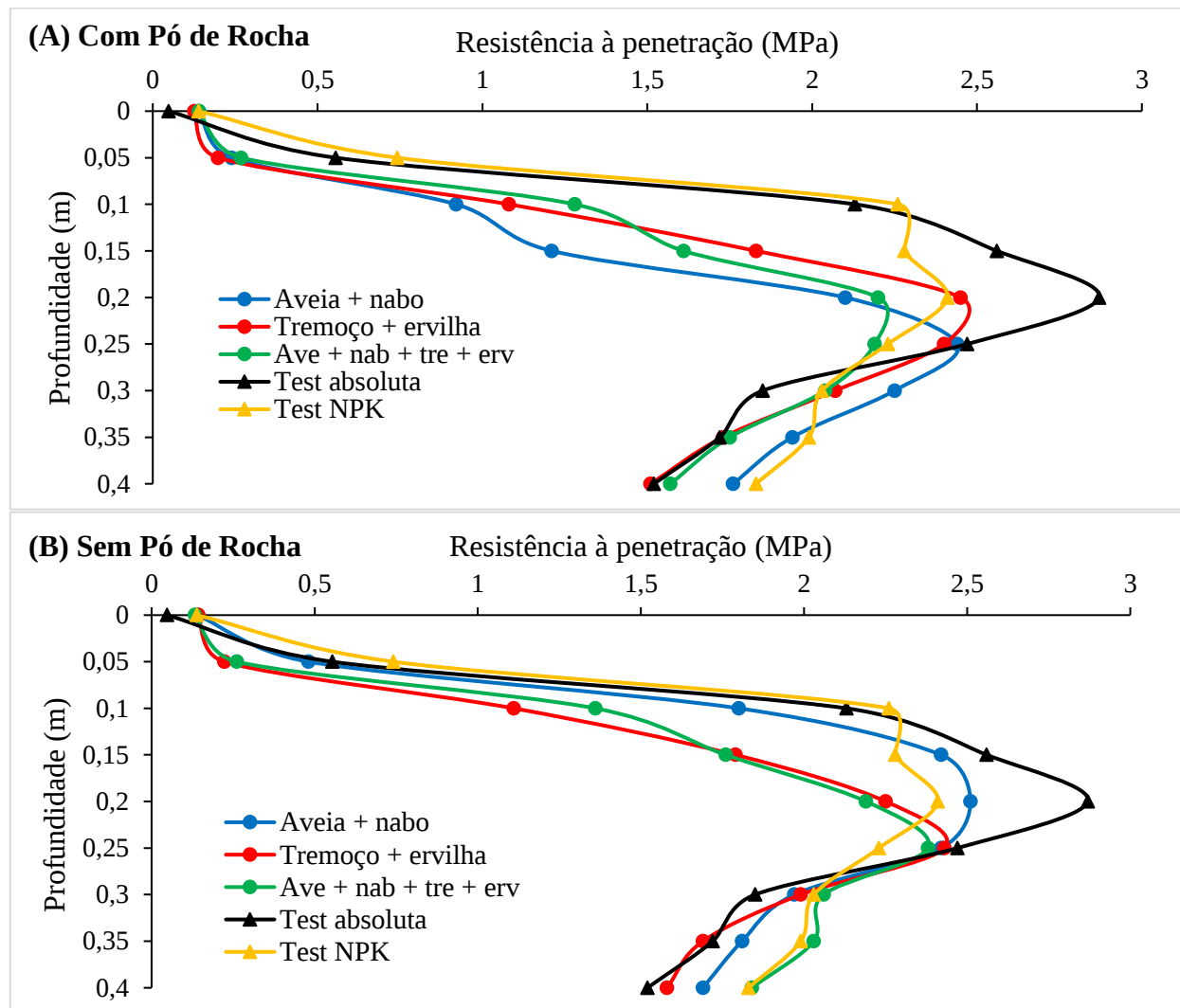


Figura 4. Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de soja e em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste – 2022/2023.

Reis (2021) utilizando 12 Mg ha⁻¹ de pó de rocha basáltica e plantas de cobertura no inverno, obteve resultados significativos na RP para o consórcio de aveia + nabo nas profundidades de 0,15 m e 0,20 m diagnosticando o potencial de descompactação do solo pela ação radicular das plantas de cobertura com valores entre 2-3 MPa.

Lopes et al. (2007) trabalhando com preparos em um Latossolo de textura areia franca e coberturas vegetais obteve maior RP de 0,05 à 0,30 m para o preparo convencional em relação ao sistema de semeadura direta. Sendo que na camada de 0,10-0,15 m o sistema em pousio, aveia e aveia + ervilhaca obtiveram os maiores valores de RP, e na camada de 0,15-0,20 m os consórcios de aveia + nabo e aveia + ervilha foram os únicos que não diferiram em relação ao preparo de solo, apresentando média de 2,12 MPa e 2,5 MPa, respectivamente para estes consórcios.

Linck (2019) avaliando RP em um Latossolo de textura muito argilosa em diferentes épocas com 20 sistemas de manejo de coberturas de inverno (consórcios, solteiras e pousio), identificou que as plantas da família Poaceae apresentaram melhor desempenho em relação aos valores de RP. Além disso, foi observado que o tratamento em pousio não diferiu dos demais tratamentos nas primeiras camadas de solo, no entanto houve acréscimos de resistência conforme o aumento da profundidade. Consórcios como os de tremoço + aveia-branca + aveia-preta, aveia branca + ervilha forrageira + nabo e de tremoço + aveia preta + ervilhaca e cultivos solteiros de centeio e aveia apresentaram diferença significativa com menores valores de RP na camada 0,00-0,10 m, evidenciando o potencial de alguns consórcios e cultivos solteiros com plantas da família Poaceae.

Na profundidade de 0,15 m na presença de pó de rocha o consórcio de aveia + nabo apresentou menor RP (1,21 MPa) em relação ao consórcio entre tremoço + ervilha (1,83 MPa); em média esta redução foi 33,87% (Figura 4A). Já na ausência do pó de rocha constatou-se comportamento oposto, onde o consórcio de tremoço + ervilha e o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram a menor RP, em média de 1,78 MPa; enquanto, o consórcio de aveia + nabo apresentou 2,42 MPa (Figura 4B).

Na mesma profundidade de 0,15 m ao avaliar o uso de pó de rocha verificou-se que o consórcio de aveia + nabo apresentou a menor RP (1,21 MPa) quando na presença de pó de rocha. A RP na ausência do pó de rocha foi de 2,42 MPa; portanto, o uso do pó de rocha de basalto reduziu em 50% a RP nesse consórcio (Figuras 4A e 4B).

Notadamente a utilização do consórcio de aveia + nabo com pó de rocha proporcionou menores valores de RP na profundidade de 0,10 e 0,15 m. Isto implica que esta interação foi promissora na manutenção de uma menor resistência do solo em uma camada de grande importância para o desenvolvimento radicular das culturas de cereais cultivadas.

Cubilla et al. (2002) em estudo com plantas de cobertura sobre a RP do solo em sistema de plantio direto, verificaram que as plantas de cobertura de solo utilizadas (nabo forrageiro e leguminosas de verão) foram capazes de ultrapassar a camada de maior estado de compactação em mais de 85% das parcelas.

Embora não tenha sido avaliado as características químicas do solo neste trabalho, é possível que a utilização do pó de rocha tenha melhorado as condições químicas do solo pela interação e exploração do sistema radicular do consórcio de aveia + nabo. Michelin et al. (2019) encontraram maiores disponibilidades de nutrientes no solo após cultivo com diferentes plantas de cobertura, dentre eles o de aveia-preta com nabo-forrageiro, estando associado a elevada capacidade de ciclagem de nutrientes destas plantas.

Desta forma, o pó de rocha pode ter proporcionado um maior desenvolvimento do sistema radicular neste consórcio, promovendo maior ação das raízes sobre as camadas de maior resistência. Além de ter promovido um maior acúmulo de matéria seca, que após a decomposição aumenta a matéria orgânica do solo, a qual possui efeito de elasticidade que confere ao solo a propriedade de retornar ao seu formato original após sofrer um processo de compressão (MENEZES et al., 2020).

Resultados contrários foram obtidos quando não foi utilizado o pó de rocha, onde o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou a menor RP. Um dos fatores pode ser devido a interação radicular das espécies utilizadas, sendo que a diversificação de plantas em uma mesma área agrícola explora diferentes profundidades do solo, devido aos distintos sistemas radiculares que cada planta apresenta o que proporciona melhor equilíbrio dos nutrientes devido a maior reciclagem, incrementando a qualidade das propriedades químicas e físicas e atividade biológica do solo (Reis et al., 2007), fator este que pode ter relação com a menor RP obtida no consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha em relação ao consórcio de aveia + nabo.

Houve diferença entre as testemunhas e a interação entre consórcios e pó de rocha nas profundidades de 0,05; 0,10 e 0,15 m. Verificou-se que a testemunha com adubação NPK nas profundidades de 0,05 m e de 0,10 m apresentou maiores valores de RP (0,74 e 2,26 MPa,

respectivamente) em relação a ambos consórcios de plantas de cobertura quando na presença de pó de rocha (média de 0,24 e 1,09 MPa, respectivamente). Para a profundidade de 0,15 m a testemunha com adubação apresentou RP de 2,28 MPa, sendo diferente apenas do consórcio de aveia + nabo quando na presença de pó de rocha (1,21 MPa) (Figura 4A).

Considerando ainda a interação com a presença de pó de rocha, foi constatado que nas profundidades de 0,10 m e de 0,15 m a testemunha absoluta também apresentou maiores valores de RP (2,13 e 2,56 MPa, respectivamente) em relação a ambos consórcios de plantas de cobertura (média de 1,09 e 1,55 MPa, respectivamente). Esses valores representam uma redução na RP de 49% e 39% quando houve associação de pó de rocha com os consórcios em relação à testemunha absoluta.

Carvalho (2012) avaliando a RP do solo 450 dias após a aplicação de diferentes manejos com adubação orgânica e pó de rocha gnaiss não obteve resultado significativo na presença do pó em nenhum dos tratamentos. Nesse trabalho os manejos com adubação orgânica reduziram a RP do solo em relação ao manejo controle na camada de 0,00-0,15 m. O autor observou que as plantas foram capazes de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas, ao passo que o solo de forma isolada demonstrou uma capacidade inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas, isso pode ter ocorrido no presente estudo, pois as condições químicas adequadas do solo, melhoram o desenvolvimento radicular das plantas que tem ação ativa sobre os atributos físicos do solo como a RP.

Considerando a interação dos consórcios na ausência de pó de rocha, a testemunha com adubação NPK diferiu do consórcio de tremoço + ervilha e do consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha nas profundidades de 0,05 e 0,10 m. Os valores de RP nessas profundidades foram, respectivamente, de 0,74 MPa e 2,26 MPa para a testemunha com adubação e média de 0,23 MPa (0,05 m) e 1,18 MPa (0,10 m) para os consórcios citados, o que resulta em uma redução média de 58%. Já a testemunha absoluta diferiu dos consórcios citados acima apenas na profundidade de 0,10 m; nesse caso, a testemunha absoluta apresentou RP de 2,13 MPa enquanto os consórcios apresentaram RP média de 1,18 MPa (Figura 4B) o que resulta em uma redução de 45%.

De maneira geral, quando houve diferença significativa as testemunhas apresentaram os maiores valores de RP em relação a interação dos consórcios na presença ou ausência de pó de rocha. Muitos estudos demonstram que as plantas de cobertura podem apresentar alta capacidade em induzir o intemperismo de minerais silicatados, ou seja, por apresentarem modificação química

da rizosfera induzem a dissolução química dos minerais liberando-os para absorção gerando elevados acúmulos de massa vegetal e ciclagem de nutrientes, o que também pode influenciar nos atributos físicos do solo indiretamente (HINSINGER et al., 2001; HEINZ et al., 2011; MENEZES-BLACKBURN et al., 2018).

Para o fator cama de frango verificou-se menor RP com a utilização do resíduo nas profundidades de 0,05 m (0,22 MPa), 0,10 m (0,96 MPa) e 0,15 m (1,58 MPa) em relação à ausência de cama de frango que apresentou valores de 0,34, 1,56 e 1,96 MPa, respectivamente à cada profundidade avaliada (Figura 5). Esses valores representam uma redução de 35, 38 e 19% na RP de cada profundidade quando foi utilizada a cama de frango na dose de 6 Mg ha⁻¹.

Houve diferença entre o tratamento com a presença de cama de frango e as testemunhas, sendo que a testemunha absoluta apresentou maiores valores de RP nas profundidades de 0,10 m (2,13 MPa) e 0,15 m (2,56 MPa) em relação a presença de cama de frango (0,96 e 1,58 MPa, respectivamente) (Figura 5). Esses valores representam uma diferença de 1,17 MPa na profundidade de 0,10 m e 0,98 MPa na profundidade de 0,15 m, equivalente a uma redução de 55% e 38% quando utilizado a cama de frango.

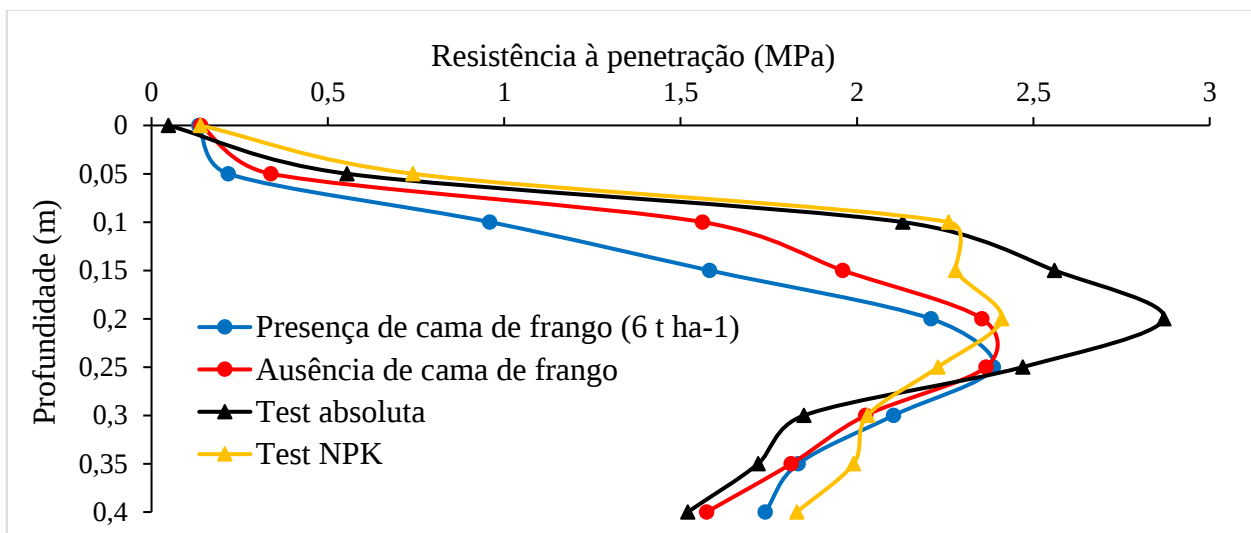


Figura 5. Valores médios de resistência à penetração do solo em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após cultivo de soja em sucessão a cama de frango. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento. Entre Rios do Oeste – 2022/2023.

A testemunha com adubação NPK apresentou maiores valores de RP nas profundidades de 0,05 m (0,74 MPa) e 0,10 m (2,26 MPa) em relação a presença de cama de frango (0,22 e 0,96 MPa, respectivamente). Estes valores representam uma diferença de 0,52 MPa na profundidade de

0,05 m e 1,3 MPa na profundidade de 0,10 m, equivalente a uma redução de 70% e 57% quando utilizado a cama de frango (Figura 5).

Notadamente a presença da cama de frango foi um fator relevante para a redução da RP do solo. A fertilização com cama de frango, por ser um adubo orgânico, resulta em modificações e melhorias nos atributos físicos do solo por proporcionar alterações nas partículas constituintes do solo, corroborando com trabalhos como os de Gomides e Borges (2014) e Ribeiro et al. (2019a) que resultaram em melhorias nos atributos físicos do solo nas camadas superficiais através da utilização da cama de frango.

A utilização de dejetos orgânicos proporciona o aumento da matéria orgânica do solo, colaborando na melhoria das características físicas, como diminuição da resistência à penetração e melhorar a infiltração da água, e das características químicas, aumentando principalmente a CTC do solo, fatores que estão relacionados aos menores valores de RP encontrados na presença da cama de frango (SILVEIRA et al., 2011).

4.4 DENSIDADE DO SOLO

Houve interação significativa entre os consórcios de plantas de cobertura e a aplicação de cama de frango na camada de 0,15-0,20 m. No consórcio de aveia + nabo com presença de 6 Mg ha⁻¹ de cama de frango houve o maior valor de densidade do solo (1,52 Mg m⁻³) em relação aos demais consórcios e a ausência de cama de frango. Os demais valores obtidos nessa camada em função dos consórcios de tremoço + ervilha e aveia + nabo + tremoço + ervilha e a cama de frango tiveram média de 1,45 Mg m⁻³ (Tabela 11).

As testemunhas apresentaram valores médios de 1,47 Mg m⁻³, valores esses também considerados superiores aos ideais para o desenvolvimento radicular das plantas, porém não diferiram dos demais tratamentos (Tabela 11).

Tabela 11. Densidade do solo (Mg m^{-3}) na camada de 0,15-0,20 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e aplicação de cama de frango, após cultivo do milho na safra de verão 21/22. Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento.

Densidade do solo (Mg m ⁻³)		
Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + Nabo	1,52 Aa	1,41 Ba
Tremoço + Ervilha	1,44 Ab	1,46 Aa
Av + Nab + Tre + Erv	1,43 Ab	1,47 Aa
CV (%)	3,75	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	1,50	
Testemunha adubação NPK	1,45	

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

De maneira geral a densidade média do solo na camada de 0,15-0,20 m aos 12 meses não apresentou valores considerados ideais ao desenvolvimento das plantas. De acordo com Argenton et al. (2005) em Latossolo argiloso a deficiência de aeração inicia em densidade do solo próxima de $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$; já segundo Reichert et al. (2009) e Seidel et al. (2015) o nível considerado crítico para a maioria das culturas de grãos é de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$. Vale ressaltar que a densidade do solo representa a estruturação das partículas no solo, que influem na aeração e capacidade de retenção de água nos macroporos e microporos do solo, assim valores acima dos considerados ideais podem interferir no desenvolvimento radicular da cultura.

Um dos fatores que pode ter contribuído em maiores densidades obtidas no consórcio de aveia + nabo foi a baixa população de nabo forrageiro utilizada no experimento (4 kg ha^{-1}). Isso gera influência no aumento do diâmetro médio das raízes do nabo-forrageiro, o que eleva a pressão causada pelo crescimento da raiz principal nas laterais do solo, gerando maiores bioporos formados no solo após a decomposição destas raízes, porém em menor quantidade. Assim, como a avaliação ocorreu em um período de tempo relativamente curto no processo de produção vegetal, pode-se presumir que a maior densidade nesse consórcio seja em decorrência da pressão radicular que foi gerada ao solo pelas raízes do nabo.

O que pode ser corroborado pelos resultados obtidos por Kubota et al. (2005). Os autores verificaram aumento da densidade do solo na camada de 0,00-0,05 m. Esse efeito foi atribuído à pressão exercida no solo pelas raízes, devido ao grande diâmetro de sua raiz pivotante principal,

porém esses autores observaram aumento da macroporosidade, de porosidade total e da estabilidade de agregados do solo em avaliação após a safra da cultura da soja.

Apesar do consórcio de aveia + nabo apresentar o maior valor para densidade do solo, é amplamente utilizado na região sul do Brasil como cobertura verde do solo no período de outono/inverno, por sua quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, ressaltando que resultados promissores nos dos atributos físicos do solo devem ser avaliados ao longo de um maior período de tempo (KUBOTA et al., 2005; ZIECH et al., 2015).

Esse resultado discorda dos encontrados por Reichert et al. (2003) onde a maior compactação dos solos sob sistema de plantio direto avaliado através da densidade do solo ocorreu de 0,08-0,15 m de profundidade. Compactações próximas a esta profundidade elucidam a formação do que se chama de pé de plantio direto, através da compactação ao lado e abaixo do sulco de cultivo, prejudicando o estabelecimento efetivo e eficiente do sistema radicular, o que também pode corroborar com os resultados encontrados estando todos acima do nível ideal nesta profundidade (REICHERT et al., 2007).

Silva et al. (2017) também não obtiveram valores considerados ideais para densidade do solo após avaliarem por dois anos consecutivos quatro espécies de coberturas vegetais em cultivo solteiro e consorciadas. Os autores observaram efeitos significativos entre as coberturas vegetais e a profundidade de amostragem na densidade do solo. Os resultados corroboram com o presente trabalho, sendo que a menor densidade foi obtida na camada de 0,00 a 0,05 m com aumento gradativo da densidade conforme a profundidade do solo, e as maiores densidades ocorreram na camada mais profunda (0,21-0,30 m).

Ribeiro et al. (2016) também constataram melhorias na qualidade do solo através da utilização de cama de peru como fonte de fertilizante orgânico na cultura da cana-de-açúcar, resultando em aumento do volume total de poros e redução na densidade, na camada superficial do solo quando aplicados 12 Mg ha⁻¹, além de apresentar aumento na matéria orgânica do solo para as doses de 3, 6, 9 e 12 Mg ha⁻¹.

Nas profundidades de 0,00 até 0,15 m não houve efeito significativo dos tratamentos (consórcios, cama de frango e pó de rocha) que também não diferiram das testemunhas. Constatou-se que independente do tratamento utilizado, os menores valores de densidade do solo encontram-se na camada de 0,00-0,05 m, aumentando conforme a camada avaliada (Tabela 12).

Tabela 12. Densidade do solo (Mg m^{-3}) para as camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após cultivo do milho na safra de verão 21/22. Avaliação realizada 12 meses após o início do experimento.

Tratamento	Densidade do solo (Mg m^{-3})		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m
Consórcio			
Aveia + Nabo	1,30	1,40	1,40
Tremoço + Ervilha	1,27	1,36	1,42
Av + Nab + Tre + Erv	1,31	1,38	1,44
CV (%)	11,52	13,22	6,38
Cama de frango			
Presença (6 Mg ha^{-1})	1,29	1,37	1,42
Ausência	1,30	1,39	1,42
CV (%)	6,61	2,35	1,39
Pó de rocha			
Presença (8 Mg ha^{-1})	1,30	1,38	1,43
Ausência	1,29	1,37	1,41
CV (%)	6,87	5,58	4,35
Tratamentos adicionais			
Testemunha absoluta	1,30	1,38	1,45
Testemunha adubação NPK	1,26	1,37	1,40

Ausência de significância para o teste de Tukey e ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados corroboram com Silva et al. (2017) e Gatzke (2017) onde na camada de 0,00-0,05 m se obteve a maior variação da densidade do solo se comparado às outras profundidades, valores que segundos os autores são decorrentes da concentração da rizosfera das plantas cultivadas, assim como pela presença e atuação de microrganismos além dos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Sustakowski (2021) também observou acréscimo na densidade do solo com aumento da profundidade do solo sob a utilização do consórcio de aveia-preta e nabo forrageiro, sendo que na profundidade de 0,10-0,15 m foi diagnosticado densidade de $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$. Também evidenciou em seu trabalho que na camada de 0,00-0,15 m as plantas apresentaram resultados semelhantes de densidade em relação a área mantida sob solo descoberto, indicando que as espécies utilizadas não promoveram efeitos significativos em seu primeiro ciclo de cultivo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pessotto et al. (2016) que também não verificaram diferença significativa para densidade do solo e outras condições físicas do solo após

a sucessão de diferentes plantas de cobertura, dentre elas a de aveia-preta e o consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro, em apenas um ciclo de cultivo.

Gatzke (2017) também obteve resultados semelhantes aos obtidos no experimento, onde utilizando consórcio de aveia-preta e nabo forrageiro em semeadura direta, obteve densidade do solo de $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,10-0,15 m. O autor também evidenciou uma densidade do solo crescente até a camada de 0,10 m que se estabilizou até os 0,15 m no perfil do solo, independente da cultura de cobertura e do período de avaliação.

Apesar dos fatores avaliados apresentarem valores médios acima de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,10-0,20 m (Tabelas 11 e 12), muitas vezes os limites críticos estabelecidos não são os únicos determinantes diretos do desenvolvimento das plantas, principalmente quando as condições climáticas são adequadas para a cultura, desde que esses não sejam extremos. Isso porque as propriedades do solo atuam de forma conjunta sobre os fatores de desenvolvimento e produção e assim as plantas podem continuar produzindo adequadamente mesmo em solos que apresentam, para algumas propriedades, condições inadequadas em termos teóricos (REICHERT et al., 2003).

Aos 24 meses após a instalação do experimento não houve efeito significativo para a interação de plantas de cobertura, cama de frango e pó de rocha, bem como para os fatores isolados sobre a densidade do solo independente da camada de solo avaliada (Tabela 13).

Ao observar os dados obtidos entre as duas avaliações de densidade é possível destacar que houve uma redução média da densidade do solo de 28, 29, 19, e 20% respectivamente para as profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. Essas reduções podem ser atribuídas principalmente às plantas de coberturas, visto que os valores médios de redução ao longo do tempo foram os mesmos entre a utilização da cama de frango e do pó de rocha e as suas ausências.

Ao longo dos dois anos de avaliação as testemunhas demonstraram aumento da densidade nas camadas de 0,0-0,05 e 0,10-0,15 m em 11 e 5%, respectivamente. Sugere-se que esse aumento da densidade seja decorrente dos processos de compactação do solo, principalmente através da exposição direta aos impactos da chuva, processos de umedecimento e secagem do solo e ao tráfego de máquinas, justamente pelas testemunhas não apresentarem presença satisfatória de cobertura vegetal durante o outono/inverno.

Tabela 13. Valores médios de densidade do solo (Mg dm^{-3}) para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após cultivo da soja na safra de verão 22/23. Avaliação realizada 24 meses após o início do experimento.

Tratamento	Densidade do solo (Mg dm^{-3})			
Consórcios	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Aveia + nabo	1,21	1,32	1,37	1,36
Tremoço + ervilha	1,20	1,24	1,30	1,34
Ave + nab + tre + erv	1,21	1,25	1,34	1,37
CV (%)	6,10	7,14	5,46	4,90
DMS	0,08	0,10	0,08	0,07
Cama de frango				
Presença (6 Mg ha^{-1})	1,21	1,26	1,33	1,36
Ausência	1,21	1,28	1,34	1,36
CV (%)	8,61	7,19	7,98	4,06
DMS	0,07	0,06	0,07	0,04
Pó de rocha				
Presença (8 Mg ha^{-1})	1,23	1,30	1,35	1,37
Ausência	1,19	1,25	1,32	1,35
CV (%)	9,94	10,28	6,47	6,43
DMS	0,07	0,08	0,05	0,05
Testemunhas				
Absoluta	1,35	1,41	1,42	1,40
Adubação NPK	1,26	1,35	1,49	1,46
DMS	0,23	0,22	0,18	0,15

Ausência de significância para o teste de Tukey e ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0,05-0,10 m o valor da densidade manteve-se o mesmo, enquanto houve uma redução da densidade na camada de 0,15-0,20 m em 9%. Essa redução possivelmente pode ser atribuída ao crescimento radicular das culturas principais, além da interferência da movimentação através do mecanismo sulcador da semeadora utilizada para as culturas de soja e milho.

Ao se analisar os dados da tabela 6 pode-se observar que os valores médios dos tratamentos na camada de 0,00-0,20 m estão abaixo do considerado crítico por Reichert et al. (2009) e Seidel et al. (2015) sendo de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$; enquanto que para as testemunhas na camada de 0,10-0,20 m os valores médios ultrapassaram este valor crítico.

Assim como já mencionado na primeira avaliação, observou-se novamente que independente do tratamento utilizado, os menores valores de densidade do solo encontram-se na camada de 0,00 a 0,05 m, aumentando conforme a profundidade avaliada. O que é de se esperar

pois, é nesta camada que principalmente se encontra a maior densidade de raízes das plantas utilizadas e ao possível maior teor de matéria orgânica ocasionado pela decomposição dos restos vegetais (SILVA et al., 2017).

As avaliações de maior período de tempo podem evidenciar melhor os efeitos dos resíduos vegetais e do desenvolvimento das plantas no solo e também diferenciar espécies mais eficazes para melhoria atributos físicos do solo. Ferreira et al. (2012) e Silva et al. (2017) evidenciam que para detectar resultados significativos na melhoria e/ou recuperação na qualidade física do solo com o uso de plantas de cobertura é necessário mais de um ciclo de cultivo na área.

4.5 MACROPOROSIDADE

Houve interação significativa entre os consórcios de plantas de cobertura e a cama de frango (Tabela 14), bem como efeito isolado para o pó de rocha na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 15). Também foi constatado efeito significativo isolado dos consórcios de plantas nas camadas de 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. Para os tratamentos adicionais houve diferença significativa apenas entre o consórcio de tremoço + ervilha e a testemunha absoluta na camada de 0,10-0,15 m.

Tabela 14. Valores médios de macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.

12 meses.		
Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + Nabo	0,13 aA	0,14 aA
Tremoço + Ervilha	0,14 aA	0,14 aA
Av + Nab + Tre + Erv	0,14 aA	0,10 bB
CV (%)	19,42	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	0,11	
Testemunha adubação NPK	0,10	

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Na camada de 0,00-0,05 m quando na presença de cama de frango não houve diferença de macroporosidade do solo entre os consórcios de plantas, que apresentaram valor médio de $0,14 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$; enquanto que na ausência de cama de frango os consórcios de aveia + nabo e de tremoço

+ ervilha apresentaram maior macroporosidade ($0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 14).

Também foi verificado que para o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha o maior valor de macroporosidade do solo foi obtido com a presença de 6 Mg ha^{-1} de cama de frango ($0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação a ausência de cama de frango $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 14).

De maneira geral, os valores de macroporosidade do solo observados para esses tratamentos se encontram iguais ou acima do valor considerado como limite crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Seidel et al., 2015), desta forma, essa propriedade física não foi condição limitante às taxas de difusão de gases e ao movimento de água no solo, sem prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas. Isso se torna importante pois como a macroporosidade é uma propriedade física facilmente alterada pelo tipo de manejo adotado, quando inferior ao valor crítico aliado a densidade do solo superior a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ pode interferir no desenvolvimento radicular das culturas.

Os resultados obtidos são semelhantes aos verificados por Andreola et al. (2000) que ao avaliar a influência da cobertura vegetal de inverno (aveia + nabo forrageiro) e das adubações orgânica (cama de frango) e mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada, concluíram que a cama de frango aumentou a macroporosidade no tratamento sem cobertura vegetal, porém quando houve utilização conjunta de cama de frango com a adubação mineral ocorreu redução dos valores de macroporosidade na camada de 0,00-0,10 m.

Por outro lado, Ribeiro et al. (2019a) avaliaram os efeitos da utilização de fertilizantes minerais combinados com cama de frango nos atributos físicos de um Latossolo após quatro anos consecutivos. Os tratamentos consistiram de adubação mineral acrescida de doses de 2, 4 e 6 Mg ha^{-1} de cama de frango, contudo, não foi identificado efeito dos tratamentos na macroporosidade na profundidade até 0,20 m.

Piano e Seidel (2012) avaliando o efeito da cama de frango associada com adubação química nos atributos físicos do solo (macro, micro e porosidade total) após safra de milho subsequente, não verificaram efeito significativo nas profundidades avaliadas (0,10 m e 0,20 m). Além disso, os autores enfatizam que em todos os tratamentos os valores de macroporosidade estavam muito baixos ($0,04$ a $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do nível considerado crítico ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) podendo ser um indício de compactação local.

Araújo (2018) utilizou cinco resíduos do território Sul do Rio Grande do Sul na qualidade do solo e na cultura do feijoeiro. No que se refere a microporosidade, macroporosidade e

porosidade total observou que a aplicação de cama de frango, esterco bovino, cama de peru e cinzas de casca de arroz promoveram aumento da porosidade total, em virtude do aumento da macroporosidade, pois não houve influência desses tratamentos na microporosidade. Já a aplicação de pó de rocha ao solo e a testemunha (realizada através de manejo convencional) promoveram decréscimos na porosidade total em decorrência da diminuição da macroporosidade, entretanto, ocorreu incrementos na microporosidade.

Nesse mesmo trabalho, verificou-se valores contrários da densidade do solo com os obtidos na porosidade total e macroporosidade. Tal fato pode ser justificado em decorrência da aproximação das partículas com o incremento da densidade do solo, reduzindo a proporção dos poros de maior diâmetro e incrementando ligeiramente os de menor diâmetro (BEUTLER; CENTURION, 2004).

Na profundidade de 0,00-0,05 m houve maior valor de macroporos no tratamento que recebeu 8 Mg ha⁻¹ de pó de rocha em relação ao tratamento sem pó de rocha. Este aumento foi de 14% (Tabela 15).

Tabela 15. Valores médios de macroporosidade do solo (m³ m⁻³) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da aplicação de pó de rocha basáltica, após período de 12 meses.

Pó de rocha	Macroporosidade (m³ m⁻³)
Presença (8 Mg ha ⁻¹)	0,14 a
Ausência	0,12 b
CV (%)	19,42
Tratamentos adicionais	
Testemunha absoluta	0,11
Testemunha adubação NPK	10,06

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Alves et al. (2021) ao avaliarem cinco doses de pó de ardósia: 0; 1,25; 2,5; 3,75 e 5,0 Mg ha⁻¹ e pó de rocha calcária na dose de 1,0 Mg ha⁻¹ em solo de textura franco argilosa não encontraram efeito da utilização destas rochas na macroporosidade do solo, que apresentou média geral de 0,20 m³ m⁻³.

Almeida (2018) avaliando propriedades físicas do solo após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto (0, 4, 8, 16, 32 Mg ha⁻¹) e calcário (4 Mg ha⁻¹) em três épocas (30,

120 e 210 dias após a aplicação do pó), verificou que a macroporosidade não foi afetada pela ação desse remineralizador.

Silva (2023) avaliou em um Latossolo Vermelho escuro de textura argilosa doses de 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹ e ausência de aplicação de pó de rocha de Micaxisto em duas profundidades do solo (0,00-0,20; 0,20-0,40 m) e não verificou diferença na macroporosidade entre as doses aplicadas em cada camada e entre as camadas avaliadas. O autor enfatiza que a maior quantidade de macroporos encontrada na camada superficial em relação à camada subsuperficial apesar de não significativa pode estar associada aos efeitos remineralizadores lentos e graduais do pó de rocha (LAJÚS et al., 2021).

Wolschick et al. (2018) após o manejo de plantas de cobertura verificaram maior macroporosidade significativa apenas na camada de 0,0 – 0,05 m na área em pousio em relação ao cultivo com ervilhaca e ao consórcio de aveia + nabo + ervilhaca, porém a área em pousio não diferiu dos cultivos com aveia preta e nabo forrageiro em cultivo solteiro.

Para os consórcios nas camadas abaixo de 0,05 m observou-se que o consórcio de tremoço + ervilha apresentou o maior valor de macroporosidade nas camadas de 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m (média de 0,10 m³ m⁻³) em comparação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (média de 0,08 m³ m⁻³). Também foi verificado que o consórcio de tremoço + ervilha diferiu da testemunha absoluta na camada de 0,10-0,15 m, com valor 83,33% superior (Tabela 16).

Apesar da diferença significativa em relação à testemunha absoluta ter sido constatada apenas na camada de 0,10-0,15 em relação ao consórcio de tremoço + ervilha, os resultados obtidos demonstraram o potencial de manutenção próximo ao limite crítico para macroporosidade quando se utiliza plantas de cobertura, ao passo que em áreas mantidas em manejo sem cobertura em períodos de entressafra as alterações prejudiciais nessa propriedade física se tornam mais evidentes.

Tabela 16. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para as camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m em função do consórcio de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha, após período de 12 meses.

Tratamento	Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Consórcio			
Aveia + Nabo	0,12	0,10 ab $\alpha\beta$	0,08 ab
Tremoço + Ervilha	0,11	0,11 a β	0,09 a
Av + Nab + Tre + Erv	0,11	0,09 b $\alpha\beta$	0,07 b
CV (%)	40,06	18,78	20,34
Cama de frango			
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,12	0,10	0,09
Ausência	0,11	0,09	0,08
CV (%)	11,91	30,43	18,00
Pó de rocha			
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,12	0,10	0,08
Ausência	0,11	0,10	0,08
CV (%)	22,95	21,35	21,42
Tratamentos adicionais			
Testemunha absoluta	0,08	0,06 α	0,05
Testemunha adubação NPK	0,10	0,09 β	0,08

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras gregas (α ; β) representam comparação entre tratamentos adicionais e demais tratamentos pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Ao avaliar as propriedades físicas do solo no cultivo da soja após o cultivo com plantas de cobertura, Anschau et al. (2018) observaram aumento médio de 112% na macroporosidade do solo após único cultivo com *Urochloa ruziziensis*, tanto na profundidade de 0,00-0,10 m como de 0,10-0,20 m em comparação a soja cultivada em sucessão ao milho solteiro.

Sanchez (2012), em trabalho semelhante, utilizando ervilhaca, nabo-forrageiro, azevém e aveia-preta, observou aumento na macroporosidade na camada de 0,10-0,20 m com as plantas de aveia-preta e azevém, demonstrando que as culturas de inverno atuaram promovendo alterações nesse atributo físico do solo após primeiro ciclo de cultivo.

Após 24 meses de avaliação os resultados não demonstraram diferenças significativas quanto à macroporosidade do solo em todas as camadas avaliadas (Tabela 17).

Pessotto et al. (2016) obteve resultados semelhantes, sendo que após a avaliação de plantas de cobertura em um período maior de tempo também não encontrou resultados significativos quanto a macroporosidade do solo. Valicheski et al. (2012) e Bertol et al. (2014) enfatizam em seus trabalhos que os atributos físicos do solo, de maneira geral, são mais influenciados pelo tipo de

preparo do solo e intensidade do tráfego de máquinas do que pela espécie de planta usada para cobertura em avaliações de curtos espaços de tempo.

Tabela 17. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Tratamento	Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Consórcio				
Aveia + Nabo	0,11	0,10	0,09	0,09
Tremoço + Ervilha	0,12	0,12	0,12	0,08
Av + Nab + Tre + Erv	0,11	0,13	0,10	0,08
CV (%)	44,31	34,77	56,50	42,44
DMS	0,05	0,04	0,06	0,04
Cama de frango				
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,12	0,12	0,11	0,08
Ausência	0,11	0,11	0,10	0,09
CV (%)	39,97	45,14	43,22	45,44
DMS	0,03	0,03	0,03	0,03
Pó de rocha				
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,11	0,10	0,09	0,08
Ausência	0,12	0,13	0,12	0,09
CV (%)	46,73	45,62	48,26	49,94
DMS	0,03	0,04	0,04	0,02
Tratamentos adicionais				
Testemunha absoluta	0,10	0,08	0,09	0,09
Testemunha adubação NPK	0,12	0,10	0,09	0,08

Ausência de significância para o teste de Tukey e ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Após três anos consecutivos Michelin et al. (2019) avaliaram atributos físicos do solo após a utilização de plantas de cobertura de inverno (aveia-preta, nabo-forrageiro, ervilhaca, tremoço e ervilha-forrageira) cultivadas isoladamente ou em consórcios, bem como área em pousio sob vegetação espontânea com cultivo de milho no período do verão. Assim como neste trabalho, após a última safra de verão não foi encontrado efeito das plantas de cobertura, sendo que os valores médios de densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total foram de $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$, 0,33, 0,17 e $0,50 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente.

O estudo anteriormente citado trouxe ainda outras características comuns a este trabalho, que segundo os autores como a área utilizada havia sido mantida em sistema de manejo de plantio direto pode influenciar nas características físicas do solo, ou seja, o sistema já presente poderia

manter a qualidade do solo em níveis mais elevados, sendo ainda que o clima subtropical pode favorecer o acúmulo de matéria orgânica no sistema do solo e aumentar o período de decomposição, o que pode influenciar na velocidade de mudança das características físicas.

A ausência de resultados depreciativos da qualidade física do solo indica que, a curto prazo, a utilização do pó de rocha não ocasiona problemas para utilização como condicionador de solo, estabelecendo assim que a decisão pela escolha de utilização ou não do material deve ser pautada pelos possíveis incrementos em produtividade da cultura, pela ausência de outros fatores restritivos a qualidade química e biológica do solo e a viabilidade econômica da sua utilização. Entretanto, é imprescindível a avaliação desses parâmetros a longo prazo, uma vez que há o risco de que aplicações frequentes associadas a altas doses de aplicação possam vir a comprometer a qualidade do solo a nível que possa reduzir o desenvolvimento das culturas.

4.6 MICROPOROSIDADE

Houve interação significativa entre os consórcios de plantas de cobertura e a cama de frango, bem como entre os consórcios de plantas de cobertura e o pó de rocha na profundidade de 0,00-0,05 m. Também foi constatado efeito significativo em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, assim como o efeito isolado do uso do pó de rocha nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m.

Na camada de 0,00-0,05 m, quando na presença de pó de rocha a utilização dos consórcios de tremoço + ervilha e aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram valores significativamente maiores em relação ao consórcio de aveia + nabo, não apresentando diferenças na ausência do material. Além disso, para o consórcio de aveia + nabo o maior valor de microporosidade foi verificado quando não houve a utilização do pó de rocha de basalto ($0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 18).

Em média os consórcios de tremoço + ervilha e aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentaram valor de $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo 12% superior ao consórcio de aveia + nabo ($0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) quando foi utilizado o pó de rocha, indicando que os consórcios se comportam de maneira diferente quando associados ao pó de rocha.

Tabela 18. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha e em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.

Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + Nabo	0,43 bB	0,47 aA
Tremoço + Ervilha	0,46 aA	0,47 aA
Av + Nab + Tre + Erv	0,49 aA	0,47 aA
CV (%)	4,47	
Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + Nabo	0,45 aA	0,45 bA
Tremoço + Ervilha	0,48 aA	0,46 bA
Av + Nab + Tre + Erv	0,46 aB	0,49 aA
CV (%)	4,47	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	0,47	
Testemunha adubação NPK	0,47	

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Na mesma camada, quando os consórcios de plantas foram associados a cama de frango houve um efeito oposto ao verificado na associação com o pó de rocha. Foi evidenciado que na ausência de cama de frango o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou o maior valor de microporosidade ($0,49 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) em relação aos demais consórcios (média de $0,46 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$), além do mesmo tratamento apresentar maior valor significativo na ausência de cama de frango em relação a utilização da cama de frango (Tabela 18).

Geralmente a microporosidade do solo é pouco afetada pelo manejo realizado, tendo maior correlação com a textura do solo, estando associada a retenção e disponibilidade de água às plantas (DEXTER et al., 2008; VIANA et al., 2011). Contudo, o aumento do volume de microporos quando associado a redução do volume de macroporos, como verificado para o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha na ausência de cama de frango (Tabelas 14 e 18) pode ser um indicativo de compactação do solo (FONSECA et al., 2007).

De acordo com Andrade et al. (2009) para que o solo apresente boa aeração e retenção de água deve apresentar porosidade total próxima ou acima de $0,50 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, sendo que 1/3 deve ser ocupado por macroporos e 2/3 por microporos. Todavia, vale ressaltar que esses valores podem

variar dependendo do tipo de vegetação, do grau de compactação, da estrutura do solo e da quantidade de material orgânico.

Em um trabalho realizado por Lima (2007) foi estudado a influência de doses crescentes de cama de frango (0; 1,2; 2,4 e 4,8 Mg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho, sendo que o estudo indicou que houve influência significativa com a maior dose aplicada na microporosidade, com aumento dessa propriedade em relação as doses inferiores.

Silveira Junior et. al (2012) avaliando o efeito das plantas de cobertura de inverno nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico encontraram que o sistema de semeadura direta com utilização de nabo forrageiro proporcionou os maiores valores significativos de microporosidade que os demais tratamentos na camada de 0,10-0,20 m. Segundo os autores, os resultados foram coerentes com os de densidade e porosidade total do solo, pois, nas camadas do solo mais compactadas, predominou a classe de poros com menores diâmetros. Isso é encontrado comumente na literatura, verificando-se que há aumento da proporção de poros de menor diâmetro em virtude da redução dos poros de maior diâmetro com o aumento da densidade do solo (BEUTLER; CENTURION, 2004).

Pessoto et al (2016) avaliaram em Latossolo Vermelho o efeito de plantas de cobertura (aveia preta, aveia branca, azevém, nabo forrageiro, ervilhaca, tremoço, consórcios com aveia preta e pousio) nas propriedades físicas do solo e verificaram diferença entre os tratamentos apenas quanto à microporosidade na profundidade de 0,00-0,05 m, onde o tratamento com aveia preta diferiu significativamente do pousio após um único ciclo de cultivo. Contudo, em segunda coleta no ano seguinte, antes da semeadura da cultura de verão, os autores não obtiveram nenhuma diferença estatística entre os tratamentos, em nenhuma das propriedades físicas avaliadas.

Vale salientar que os resultados positivos em relação ao uso de plantas de cobertura são de origem cumulativa através do uso frequente, ou seja, acumulando resíduos vegetais no solo, o que melhora suas propriedades físicas e torna-o menos suscetível a degradação ao longo do tempo (FERREIRA et al., 2012).

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

De modo semelhante à camada superficial, houve resultados significativos de interação entre consórcios de plantas e cama de frango nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m. Na camada de 0,05-0,10 m foi evidenciado que o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou maior valor de microporosidade ($0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação aos demais consórcios quando na ausência de cama de frango, não diferindo dos consórcios na presença de cama de frango. Já na camada de 0,10-0,15 m houve diferença apenas em relação a utilização de cama de frango no consórcio supracitado, onde o maior valor foi verificado quando não houve aplicação de cama de frango ($0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 19).

Tabela 19. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango, após período de 12 meses.

Camada de 0,05-0,10 m		
Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha^{-1})	Ausência
Aveia + Nabo	0,44 aA	0,45 bA
Tremoço + Ervilha	0,43 aA	0,44 bA
Av + Nab + Tre + Erv	0,44 aB	0,49 aA
CV (%)		3,58
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta		0,47
Testemunha adubação NPK		0,45
Camada de 0,10-0,15 m		
Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha^{-1})	Ausência
Aveia + Nabo	0,44 aA	0,45 aA
Tremoço + Ervilha	0,46 aA	0,45 aA
Av + Nab + Tre + Erv	0,45 aB	0,47 aA
CV (%)		3,89
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta		0,44
Testemunha adubação NPK		0,45

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Valadão e Benedet (2011) identificaram em seu trabalho que o sistema de plantio direto com cama de frango compostada apresentou valores de microporosidade e macroporosidade mais próximos aos verificados na mata nativa local, além disso, independente do sistema adotado houve tendência do aumento da microporosidade em profundidade.

Anschau et al. (2018) não encontraram resultados significativos para microporosidade entre diferentes cultivos de plantas de cobertura, inferindo que para que ocorram modificações expressivas nessa propriedade física do solo é necessário mais do que um ano de cultivo.

Para profundidade de 0,05-0,10 m houve diferença significativa para o pó de rocha, onde na sua ausência foi verificado o maior valor de microporosidade ($0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação a sua presença ($0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 20).

Não houve resultados significativos para o pó de rocha nas camadas de 0,10-0,15 m e 0,15 a 0,20 m, com média de $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor superior ao considerado crítico para o desenvolvimento das culturas. Também não houve diferença entre os tratamentos e as testemunhas que apresentaram médias de 0,46, 0,44 e $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, respectivamente (Tabela 20).

Tabela 20. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m 12 meses após a aplicação de pó de rocha.

Pó de rocha	Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		
	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,44 b	0,45	0,45
Ausência	0,45 a	0,46	0,45
CV (%)	3,58	3,89	3,23
Tratamentos Adicionais			
Testemunha absoluta	0,47	0,44	0,46
Testemunha NPK	0,45	0,45	0,44

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Apesar do resultado significativo na camada de 0,05-0,10 m, não se observa uma redução crítica do maior valor para o menor valor obtido. Ambos estão acima dos valores críticos de referência para o crescimento das culturas, além de apresentar uma baixa redução percentual (cerca de 2%). Desta forma, mesmo com a diferença significativa, não representa uma limitação real para a microporosidade com a aplicação de pó de rocha, contrariando a teoria de que a aplicação de material mineral com granulometria fina poderia ocasionar problemas de ordem física no solo, seja pela colmatação dos poros devido as partículas pequenas do pó de rocha ou pelo possível desequilíbrio nos teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo acarretando em problemas de desestruturação do solo e obstrução dos poros (BERTOSSO et al. 2012).

Bertossi et al. (2012) avaliando a influência da aplicação de quantidades de pó de rocha silicática (0, 20 e 40% de material aplicado a um volume fixo de solo), verificaram que houve redução na condutividade hidráulica do solo de rápida para moderada com aplicação de 40% do material. Os autores destacaram ser uma quantidade elevada do ponto de vista do uso prático na rochagem e mesmo assim os valores não reduziram para uma condutividade hidráulica considerada baixa, portanto, não sendo um problema acarretado por possível desestruturação do solo e obstrução dos poros.

Knapik e Angelo (2007) observaram o aumento em 100% da densidade do solo e a redução da porosidade total com a aplicação de pó de rocha (basalto) na dose de 300 Mg ha⁻¹ (cálculo de m³ ha⁻¹ considerando 20 cm de profundidade de solo) em casa de vegetação. Os autores enfatizaram que possivelmente, a condição física que o pó de basalto proporcionou ao substrato, com maior porcentagem de partículas finas, diminuiu a porosidade e aumentou a densidade, podendo ter prejudicado o correspondente crescimento das mudas avaliadas no estudo. Contudo, vale destacar que a dose utilizada pelos autores é muito superior ao do presente estudo e não representa uma condição prática real de aplicação a campo.

No entanto, Carvalho (2012) utilizando o pó de rocha (gnaisse) na dosagem de 5 Mg ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho-Amarelo não observou indícios de alterações em características físicas do solo, fato este que pode ser relacionado ao tipo de rocha, tipo de solo e a dosagem adotada.

Silva et al. (2022) trabalhando com diferentes sistemas de manejo e plantas de cobertura em Latossolo Vermelho não obtiveram resultados significativos para os atributos físicos do solo na camada de 0,00-0,10 m. Porém, identificou-se resultados significativos na camada de 0,10-0,20 m, em que o solo sob cultivo de nabo forrageiro e com cultivo de crotalária apresentaram maior microporosidade (0,42 m³ m⁻³) em relação aos cultivos de feijão-guandu, lab-lab, milho e sob pousio (média de 0,36 m³ m⁻³).

Os valores de microporosidade encontrados no presente estudo corroboram com os de Silva et al. (2022), visto que, em ambas as camadas analisadas os valores foram iguais ou superiores a 0,33 m³ m⁻³, refletindo assim em uma ótima condição de armazenamento e retenção de água no solo, sendo um dos fatores importantes para o bom desenvolvimento das culturas.

Não foram encontrados resultados significativos para microporosidade do solo após 24 meses de avaliação. O solo permaneceu com índices superiores à condição considerada crítica (0,33 m³ m⁻³) em todos os tratamentos e em todas as profundidades avaliadas (Tabela 21). Em uma

análise visual dos dados obtidos nota-se que os valores obtidos após 24 meses são muito próximos aos valores obtidos nos primeiros 12 meses de avaliação.

Tabela 21. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Tratamento	Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Consórcio				
Aveia + Nabo	0,43	0,40	0,41	0,42
Tremoço + Ervilha	0,42	0,41	0,38	0,43
Av + Nab + Tre + Erv	0,43	0,40	0,41	0,41
CV (%)	9,51	6,84	14,09	7,43
DMS	0,04	0,03	0,06	0,04
Cama de frango				
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,42	0,40	0,40	0,42
Ausência	0,43	0,41	0,41	0,42
CV (%)	10,33	12,48	18,21	6,94
DMS	0,03	0,03	0,05	0,02
Pó de rocha				
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,43	0,41	0,40	0,42
Ausência	0,43	0,40	0,41	0,42
CV (%)	10,70	8,04	15,06	6,85
DMS	0,03	0,02	0,04	0,02
Tratamentos adicionais				
Testemunha absoluta	0,45	0,45	0,41	0,45
Testemunha adubação NPK	0,45	0,43	0,41	0,45

Ausência de significância para o teste de Tukey e ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Alguns trabalhos destacam resultados obtidos após apenas primeiro cultivo e manejo com plantas de cobertura, Wolschick et al. (2018) avaliaram os efeitos de coberturas vegetais e seus efeitos nas propriedades físicas do solo, e obtiveram maior microporosidade significativa na camada de 0,05 – 0,10 m na área com consórcio de aveia + nabo + ervilhaca em relação a área em pousio e em cultivo solteiro das espécies de nabo forrageiro e ervilhaca.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2023) onde avaliou doses de 5 Mg ha^{-1} , 10 Mg ha^{-1} e ausência de aplicação de pó de rocha de Micaxisto em áreas canavieiras e não verificou diferença na microporosidade para a camada de 0-0,20 m.

Cunha (2008) avaliou diferentes doses de cama de frango em solo do cerrado e evidenciou que para as profundidades em questão, não houve diferenças significativas após a aplicação de

cama de frango. Porém, após realizar diferentes épocas de coleta das amostras (60, 120 e 270 dias), obteve o maior resultado na primeira coleta, com uma gradativa diminuição da microporosidade do solo nas coletas seguintes. O autor enfatiza que estas variações entre estações climáticas podem estar relacionadas com a dispersão de argilas e deposição nos poros, além dos teores de umidade no solo.

Em análise da precipitação pluviométrica mensal durante o período do experimento (Figura 1) evidenciou-se que durante todo o período as precipitações foram irregulares entre os meses, assim como concentradas em determinados períodos. Isso afetou o desenvolvimento das plantas de cobertura, bem como as culturas de verão, e consequentemente também interferiu nas relações biológicas do solo, manutenção de umidade, temperatura e outros fatores relacionados às possíveis interações entre os tratamentos utilizados, assim como nos efeitos remineralizadores do pó de rocha amplamente dependente do intemperismo desse material.

É importante salientar nesse estudo que as condições climáticas locais podem ter gerado efeito sobre os resultados obtidos, principalmente afetando a velocidade de resposta dos tratamentos. Um exemplo disso é o mês de dezembro de 2021 onde não houve nenhuma precipitação pluviométrica, além de meses como abril e outubro de 2022 com precipitações médias acumuladas ultrapassando 400 mm em cada mês.

4.7 POROSIDADE TOTAL

Houve interação significativa entre os consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha na profundidade de 0,00-0,05 m. Também foi constatado efeito significativo isolado entre os consórcios de plantas de cobertura na camada de 0,10-0,15 m.

O efeito do pó de rocha sobre a porosidade total do solo foi constatado apenas em interação na camada de 0,00-0,05 m onde quando na presença do pó de rocha o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou maior valor de porosidade total ($0,62 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo ainda que esse consórcio apresentou o maior valor em relação ao consórcio de aveia + nabo na presença de pó de rocha. Já na ausência de pó de rocha, o consórcio de tremoço + ervilha apresentou maior valor de porosidade total ($0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (Tabela 22).

Tabela 22. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na camada de 0,00-0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha, aplicação de cama de frango e tratamentos adicionais, após período de 12 meses.

adicionais, após período de 12 meses.		
Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + Nabo	0,57 bA	0,59 abA
Tremoço + Ervilha	0,61 abA	0,61 aA
Av + Nab + Tre + Erv	0,62 aA	0,57 bB
CV (%)	4,87	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	0,60	
Ausência	0,59	
CV (%)	4,76	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	0,58	
Testemunha adubação NPK	0,57	

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

A porosidade total do solo exerce grande influência no crescimento de raízes e no movimento de ar, água e solutos no solo, sendo que em solos de textura argilosa os valores devem situar-se entre 0,40 a 0,60 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (REICHARDT; TIMM, 2008). Assim sendo, verificou-se que os valores de porosidade total no presente estudo encontram-se na faixa dos valores considerados satisfatórios para solos argilosos.

Carvalho (2012) observou que as plantas são capazes de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas, ao passo que o solo de forma isolada demonstrou uma capacidade inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas alterando a velocidade de intemperismo do material mineral. Isto pode estar associado aos resultados do presente trabalho, visto que a utilização de um consórcio de coberturas vegetais de maior diversidade possa ter potencializado a interação do consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha com a utilização do pó de rocha basáltica, o que gerou maiores valores de porosidade total no solo devido ao maior crescimento radicular.

Alves et al. (2021) avaliando doses de pós de rocha em solo de textura franco argilosa, não encontraram resultados prejudiciais para porosidade do solo a curto prazo, o que segundo os autores indica que a utilização do pó de rocha não ocasionou problemas restritivos à física do solo como um condicionador de solo.

Como a remineralização do pó de rocha ocorre de forma gradual, devido a solubilidade lenta dos nutrientes que o compõem, é tido que os resultados nas propriedades físicas do solo ocorram após um longo período de aplicação (BRANDÃO, 2012). Possivelmente devido ao presente trabalho a aplicação de pó de rocha ter ocorrido em um período relativamente curto de tempo não houve um processo suficiente de remineralização do pó de rocha para ocasionar alterações evidentes nas profundidades além de 0,05 m do solo.

Malta et al. (2019) em estudo com adubação orgânica e mineral verificaram que a maior porosidade total foi observada nos tratamentos com adubação mineral, esterco bovino e esterco de aves em relação à testemunha (sem adubação). De acordo com Laurindo et al. (2009) a quantidade de macroporos e a matéria orgânica de um solo possuem potencial de flocular o solo, abrir espaços e evitar a compactação, por isso, diminui a massa em relação ao volume aumentando a porosidade total do solo.

Segundo Costa et al. (2009) avaliando a influência da fertilização com cama de frango na recuperação física de um Latossolo, identificaram que a utilização do material promoveu elevação da porosidade total, independentemente da profundidade do solo e da época em que foi coletada.

Paradelo et al. (2007) reportaram em seu trabalho que a utilização de pó de rocha associada com outras fontes de matéria orgânica como condicionador de solo, além de diminuir o impacto ambiental melhora a qualidade do solo pelo aumento da retenção de água e da consistência do solo, o que contribui para o estabelecimento da cobertura vegetal.

Para as demais camadas do solo foi verificado efeito significativo apenas na camada de 0,10-0,15 m para os consórcios de plantas de cobertura de forma isolada, onde o consórcio de tremoço + ervilha apresentou maior valor de porosidade total ($0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) quando comparado ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha ($0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabela 23).

A camada de restos culturais que se forma na superfície do solo ajuda a minimizar os processos que poderão culminar na compactação do solo. Costa et al. (2015) ao avaliar os atributos físicos do solo em um Latossolo Vermelho, concluíram que ao longo do tempo, os sistemas conservacionistas promovem a redução da densidade do solo e aumento da porosidade total e da macroporosidade nas camadas de 0,00-0,10 e 0-10,0-20 m do solo.

Tabela 23. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m 12 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Tratamento	Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Consórcio			
Aveia + Nabo	0,56	0,54 ab	0,52
Tremoço + Ervilha	0,55	0,56 a	0,54
Av + Nab + Tre + Erv	0,57	0,54 b	0,52
CV (%)	7,58	4,08	4,63
Cama de frango			
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,55	0,55	0,53
Ausência	0,58	0,54	0,53
CV (%)	6,11	2,00	2,29
Pó de rocha			
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,56	0,55	0,53
Ausência	0,57	0,55	0,53
CV (%)	4,79	4,48	4,72
Tratamentos adicionais			
Testemunha absoluta	0,55	0,50	0,51
Testemunha adubação NPK	0,55	0,54	0,52

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

A ausência de resultados significativos acima de 0,05 m pode decorrer devido as características mineralógicas do solo da região, sendo em maior parte composta por caulinita e óxidos de ferro e alumínio, os quais apresentam especialmente influência na agregação do solo (MARCOLIN; CALEGARI 2020).

Aos 24 meses após o início do experimento houve apenas efeito significativo do consórcio com o pó de rocha basáltica na camada de 0,00-0,05 m.

Na presença do pó de rocha o consórcio de aveia + nabo apresentou maior porosidade total em relação ao consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha, sendo ainda que este mesmo consórcio também obteve maior valor significativo na presença do pó de rocha do que em sua ausência (Tabela 24).

O maior valor de porosidade total pelo consórcio de aveia + nabo pode ser atribuído a produção de matéria seca da parte aérea, assim como pelo potencial das raízes destas espécies, já que esta produção radicular pode apresentar uma contribuição de 30% do carbono produzido na parte aérea, aumentando assim a porosidade total após a decomposição (SILVA et al., 2011).

Tabela 24. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na profundidade de 0,00 a 0,05 m em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e aplicação de pó de rocha basáltica, após período de 24 meses.

Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha^{-1})	Ausência
Aveia + Nabo	0,56 aA	0,53 aB
Tremoço + Ervilha	0,52 bA	0,55 aA
Av + Nab + Tre + Erv	0,54 abA	0,55 aA
CV (%)	5,93	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,54	
Ausência	0,54	
CV (%)	7,72	
DMS	0,03	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	0,55	
Testemunha adubação NPK	0,57	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste Dunnett.

Além disso, o próprio crescimento radicular das plantas ao exercer pressão e aproximação das partículas do solo, acaba aumentando a agregação e a porosidade do solo (GUEDES FILHO et al., 2013). As raízes das plantas também liberam diversos componentes que atuam em conjunto com microorganismos do solo na formação da cimentação da estrutura do solo, e quando ocorre a decomposição dessas raízes há a formação de bioporos com ampla variação de tamanhos, afetando também a porosidade e agregação do solo (LIMA et al., 2012).

Silva (2023) em trabalho com pó de rocha e seus efeitos nas propriedades físicas do solo, observaram que nas áreas sob aplicação de pó de rocha na camada superficial (0,00-0,20 m) a porosidade total foi ligeiramente superior, apesar de não diferir estatisticamente da camada subsuperficial (0,20-0,40 m) afirmando que isso pode ser devido ao pó de rocha contribuir com a atividade microbiológica na camada superficial amentando deste modo a porosidade total na camada mais superficial onde o mesmo tem uma concentração maior do que na camada mais inferior do solo.

Aos 24 meses não houve resultados significativos para os tratamentos nas profundidades de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m. Os resultados apresentaram semelhança aos obtidos aos 12 meses, em que houve apenas interação dos consórcios com o pó de rocha na profundidade

de 0,00 – 0,05 m, além dos valores se apresentarem satisfatórios para o tipo de solo em todas as profundidades avaliadas (Tabela 25).

Tabela 25. Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas profundidades de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, 24 meses após o cultivo com consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e aplicação de pó de rocha basáltica.

Tratamento	Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
	0,05-0,10 m	0,10-0,15 m	0,15-0,20 m
Consórcio			
Aveia + Nabo	0,50	0,51	0,50
Tremoço + Ervilha	0,53	0,50	0,51
Av + Nab + Tre + Erv	0,54	0,52	0,50
CV (%)	10,05	19,28	8,77
DMS	0,06	0,11	0,05
Cama de frango			
Presença (6 Mg ha^{-1})	0,52	0,50	0,49
Ausência	0,52	0,51	0,51
CV (%)	7,61	14,76	8,69
DMS	0,03	0,05	0,03
Pó de rocha			
Presença (8 Mg ha^{-1})	0,52	0,49	0,50
Ausência	0,54	0,52	0,51
CV (%)	8,88	13,66	8,76
DMS	0,03	0,04	0,03
Tratamentos adicionais			
Testemunha absoluta	0,52	0,51	0,53
Testemunha adubação NPK	0,53	0,50	0,52

Ausência de significância para o teste de Tukey e ausência de diferença entre tratamentos e testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados se assemelham aos encontrados por Mottin (2016) que após trabalhar com diferentes plantas de cobertura no inverno, obteve aumento da porosidade total apenas na profundidade de 0,00 – 0,05 m. Segundo o autor na superfície do solo ocorre a maior parte das raízes das plantas assim como a deposição do material orgânico e maior atividade microbológica o que proporciona maior estruturação e agregação do solo, principalmente em alterações na macroporosidade pois os microporos dos Latossolos geralmente são mais resistentes a deformação e menos alterados pelo manejo.

Costa et al. (2009), avaliaram a influência da aplicação da cama de aviário na recuperação física de um Latossolo degradado do Cerrado e obtiveram resultados positivos ao seu uso. Os autores testaram doses crescentes de cama de aviário até $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e os resultados indicaram uma

redução dos teores de argila dispersa em água com o aumento das doses de cama de aviário, fato que pode reduzir a lixiviação das argilas, evitando a ocorrência de um entupimento dos poros do solo. Além disso foi observado um aumento significativo no grau de floculação e um aumento proporcional na porosidade total, independente da profundidade e épocas de aplicação.

Alves et al. (2021) avaliaram o uso de doses de pó de ardósia e rocha calcária e não encontraram resultados significativos para porosidade total, obtendo média de $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Sustakowski (2021) avaliou doses crescentes de pó de rocha basáltica e evidenciou que até a maior dose utilizada em seu trabalho (12 Mg ha^{-1}) não houve redução na porosidade do solo o que descartou possíveis efeitos de colmatção dos poros devido as pequenas partículas do pó de rocha, ou por desequilíbrios químicos que poderiam acarretar desestruturação do solo e obstrução dos poros.

A ausência de resultados depreciativos da porosidade total, para utilização do pó de rocha demonstra a possibilidade para a sua utilização como condicionador de solo, estabelecendo assim que a decisão pela escolha de utilização ou não deste condicionador deve ser pautada pelos possíveis incrementos em produtividade das culturas principais de cereais e pela ausência de outros fatores restritivos além da verificação de sua viabilidade econômica ao local de uso.

Os resultados citados nos trabalhos acima podem ser explicativos para manutenção dos valores em níveis satisfatórios de porosidade total obtidos aos 24 meses deste experimento.

4.8 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA

Para a produtividade de grãos de milho foi verificado efeito para a interação entre os consórcios de plantas de cobertura e a cama de frango e para a interação entre o pó de rocha basáltica e a cama de frango, assim como houve diferença entre os tratamentos e as testemunhas.

Ao se comparar os consórcios na presença de cama de frango observa-se que o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha proporcionou a maior produtividade de milho ($858,78 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação aos demais consórcios; já na ausência de cama de frango o maior valor foi verificado com o cultivo anterior do consórcio de aveia + nabo ($568,64 \text{ kg ha}^{-1}$), em relação ao consórcio de tremoço + ervilha (Tabela 26).

Em relação a cama de frango, houve diferença entre a presença e a ausência do material apenas nos consórcios de tremoço + ervilha e de aveia + nabo + tremoço + ervilha. Em ambos

consórcios a maior produtividade de milho foi verificada quando houve a utilização da cama de frango (620,53 e 858,78 kg ha⁻¹, respectivamente) (Tabela 26).

Tabela 26. Produtividade (kg ha⁻¹) de milho (safra de verão 2021/2022) em função das interações entre consórcios de plantas de cobertura e cama de frango e entre pó de rocha e cama de frango, bem como para as testemunhas.

Consórcio	Cama de frango	
	Presença (6 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	606 bA	569 aA
Tremoço + ervilha	620 bA	393 bB
Ave + nab + tre + erv	859 aA α	491 abB
CV (%)	19,85	
Pó de rocha		
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	413 bB
	Ausência	555 aA
	CV (%)	20,82
Tratamentos Adicionais		
Testemunha absoluta	1.010 α	
Testemunha adubação NPK	1.371 β	
DMS	285,10	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras gregas (α ; β) representam comparação entre tratamentos adicionais e demais tratamentos pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

Para a interação entre o pó de rocha e a cama de frango foi verificado que na presença do pó de rocha o maior valor de produtividade também foi encontrado na associação com cama de frango (802 kg ha⁻¹), em relação a ausência de cama (413 kg ha⁻¹), correspondendo a cerca de 94% de acréscimo produtivo quando utilizado a cama de frango; esse valor também foi superior à ausência de pó de rocha (588 ha⁻¹), que correspondeu a um incremento produtivo de 36% quando utilizado o pó de rocha (Tabela 26).

Para a utilização isolada do pó de rocha (ausência de cama de frango) foi verificado resultado oposto, com a ausência do pó de basalto promovendo produtividade de milho superior (555 kg ha⁻¹) à presença do material (413 kg ha⁻¹) (Tabela 26).

O cultivo do consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha com cama de frango e a associação entre pó de rocha e cama de frango foram os únicos tratamentos que se mostraram semelhantes à produtividade de milho obtida na testemunha absoluta (1.010 kg ha⁻¹), sendo que as testemunhas apresentaram as maiores produtividades (Tabela 26).

De acordo com a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, a produtividade do milho (safra 21/22) no período de verão para o município de Entre Rios do Oeste foi em média de 3.000 kg ha⁻¹. Desta forma, observa-se que a produtividade de milho obtida neste trabalho foi inferior à média do município em virtude do extremo déficit do regime hídrico local, que apresentou variações durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1).

Assim as baixas médias produtivas obtidas são atribuídas às condições meteorológicas instáveis que resultaram em distribuição irregular de chuva ao longo do ciclo da cultura, como demonstrado na Figura 1, sendo observado que nos meses de novembro e dezembro, a cultura entrou na fase VT (Pendoamento) e posteriormente em R1 (embonecamento e polinização), período este em que houve os menores volumes de precipitação (Figura 1). Segundo Magalhães e Durões (2006) a cultura do milho nos estádios de VT (pendoamento) a R1 (embonecamento e polinização) é mais vulnerável às intempéries da natureza que qualquer outro período, devido exposição foliar e geração dos grãos.

Podemos ainda evidenciar que a produtividade média do milho no município de Entre Rios do Oeste na safra subsequente (22/23) foi de 9.000 kg ha⁻¹, onde notadamente se verifica a baixa produtividade local na safra de milho avaliada. Neste sentido, as condições citadas acima justificam os baixos valores de rendimento do milho, o que certamente também acabou limitando as respostas dos tratamentos testados.

Assim como neste estudo, Nespolo (2017) obteve resultados positivos quanto ao uso de cama de frango. O autor trabalhou com doses de cama de frango (4, 8, 16, 24 e 32 Mg ha⁻¹) na cultura do milho verão e encontrou resultados significativos de incremento na produtividade de grãos até a dose de 24 Mg ha⁻¹ de cama de frango, com produtividade máxima de 14.100 kg ha⁻¹ de milho, sendo cerca de 22% superior à produtividade obtida sem a presença da cama de frango. Segundo o autor a resposta produtiva é resultado do incremento nutricional no solo e do suprimento necessário para o desenvolvimento adequado da cultura, através de uma decomposição e liberação gradual dos nutrientes da matéria orgânica do resíduo.

Piano e Seidel (2012) também avaliaram a influência de combinações do uso de cama de frango e adubo químico na produtividade do milho. Os resultados não apresentaram diferença significativa para a produtividade de grãos, porém, mesmo diante aos resultados os autores destacaram que o composto orgânico puro pode ser uma alternativa de uso, já que não apresentou diferença do tratamento com adubação mineral (testemunha) (5.594 e 5.833 kg ha⁻¹). Os autores

ainda relataram que os teores médios e altos de nutrientes no solo também podem influenciar na resposta da produtividade à curto prazo, já que podem suprir as necessidades das culturas, semelhante ao resultado encontrado no tratamento com aveia + nabo + tremço + ervilha na presença de cama de frango que obteve semelhança à testemunha absoluta.

Felini e Bono (2011) estudaram a produtividade do milho e da soja com o uso de doses de cama de frango (0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹) associado a adubação mineral. Apesar de serem realizadas safras distintas (milho e após a soja), as duas culturas demonstraram acréscimos significativos até a dose de 8 Mg ha⁻¹ onde houve uma estabilização da produtividade. Segundo os autores alguns fatores podem estar relacionados aos resultados como a estiagem após a aplicação da cama de frango pode ter surtido interferência na primeira safra (milho), limitando os efeitos das maiores doses da cama de frango, além da potencial imobilização inicial de N pela microbiota do solo no processo de mineralização do N do composto orgânico nas maiores doses. Assim, um fator que ficou evidente foi que a utilização da cama de frango, até 8 Mg ha⁻¹ aumentou a produtividade do milho e também surtiu efeito residual na cultura da soja.

Writzl et al. (2019) avaliaram durante duas safras consecutivas a produção de milho pipoca com a utilização de pó de rocha de basalto associado à cama de frango em um Latossolo, e verificaram que o tratamento com pó de rocha isolado e pó de rocha com cama de frango apresentaram produtividades equivalentes ao tratamento com adubação química (NPK) nos dois períodos avaliados, com média produtiva próxima de 3.617 kg ha⁻¹, o que pode implicar em uma opção com potencial viável de adubação para manutenção da produtividade com menor impacto ambiental.

Já para o presente trabalho o tratamento com a presença de pó de rocha e de cama de frango foi o que mais se aproximou da produtividade de milho obtida com a adubação química, mesmo em uma condição de escassez hídrica para a cultura.

Em relação ao uso de plantas de cobertura, de acordo com Coombs et al. (2017) os cultivos de espécies da família Fabaceae em geral proporcionam maiores rendimentos de milho pelo fato de promoverem maior disponibilidade de N. Giacomini et al. (2004) verificaram em três safras consecutivas uma produtividade de milho 40% superior quando o milho foi cultivado em sucessão a espécies da família Fabaceae, do que aquelas da família Poaceae, justificado pelo aumento na disponibilidade de N no solo e consequente maior acúmulo de N na cultura do milho.

Os benefícios da associação conjunta de espécies das duas famílias se demonstraram em maior evidência para o presente estudo, visto que o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha associado a aplicação de cama de frango propiciou a maior produtividade de milho, em relação aos consórcios separados entre famílias.

Lázaro et al. (2013) obtiveram dinâmica semelhante para a produtividade do milho, visto que quando a cultura foi cultivada em sucessão a palhada de aveia-preta + tremoço branco obteve maior produtividade ($10.817 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao milho cultivado sobre palhada de aveia-preta (9.180 kg ha^{-1}), crambe (8.372 kg ha^{-1}) e vegetação espontânea (9.650 kg ha^{-1}). As altas produtividades dos tratamentos, mesmo na ausência do fornecimento de N, são atribuídas, segundo os autores, devido as características do tremoço de incorporar N ao solo pela fixação biológica e também pela alta eficiência de ciclagem das plantas, o que também pode justificar os maiores valores de produtividade obtidos nos tratamentos dos consórcios com o uso da cama de frango no presente estudo.

Michelson et al. (2014) avaliaram a produtividade do milho durante três safras consecutivas após o cultivo de plantas de cobertura em consórcio e em cultivo isolado no período de inverno. Nas duas primeiras safras houve destaque significativo para o consórcio de aveia-preta + nabo forrageiro + ervilhaca e para o cultivo isolado de tremoço azul em comparação aos oito demais tratamentos utilizados, com média superior à 9.000 kg ha^{-1} para essas duas coberturas na segunda safra. Na terceira safra a produtividade média foi menor devido a ocorrência de déficit hídrico no início do estágio reprodutivo da cultura. Além disso, as produtividades na área em pousio (somente crescimento de plantas daninhas) estiveram entre os tratamentos com menores valores nos três anos de cultivo.

Debiasi et al. (2010) consideraram o efeito de coberturas de inverno sobre o desempenho produtivo da soja e do milho durante duas safras consecutivas, sendo que em primeira safra em decorrência de baixa disponibilidade hídrica os cultivos de cobertura (aveia-preta e aveia-preta + ervilhaca) proporcionaram maiores valores de produtividade das culturas de soja (média de 1.840 kg ha^{-1}) e de milho (média de 6.080 kg ha^{-1}) em relação à área em pousio. Segundo os autores esses resultados estão relacionados aos fatores de compactação superficial do solo e redução das perdas de água do solo pela cobertura morta, respaldando essa relação pelos maiores valores encontrados de densidade do solo e menor massa seca das coberturas na área do tratamento em pousio.

Resultados semelhantes ao uso do pó de rocha também foram obtidos por Theodoro et al. (2013) que avaliaram o uso de 5 tipos de rochas (incluindo o basalto) com ou sem adição de composto orgânico e a influência na produtividade do milho e em outras culturas. Os resultados demonstraram que a utilização dos pós de rochas aumentou a produtividade do milho em relação à testemunha, além da mistura dos pós de rochas com o composto orgânico gerar maior performance produtiva da cultura. Os autores concluíram ainda que a obtenção de produtividades compatíveis com as médias de cultivos com adubações convencionais dispõe da indicação de um elevado potencial que as rochas possuem para fertilizar o solo.

Ghizzoni et al. (2021) também obtiveram respostas semelhantes do uso do pó de rocha com cama. Os autores trabalharam com pó de rocha isolado ou associado a cama de poedeiras com doses de 2 e 10 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e esterco, respectivamente; e verificaram que as maiores produtividades de milho foram obtidas com o composto orgânico aplicado isolado (6.650 kg ha⁻¹) e com o composto associado ao pó de rocha (6.407 kg ha⁻¹), em comparação ao pó de rocha aplicado isolado ou ao tratamento testemunha que obtiveram produtividades respectivas de 4.642 e 4.585 kg ha⁻¹.

Alovisi et al. (2017) estudaram a influência de doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹) na produtividade do milho e da soja e observaram resultados opostos aos encontrados neste estudo, não obtendo resultados significativos das culturas após uma safra. Os autores relataram que a boa fertilidade do solo da área experimental e/ou a baixa solubilização do pó de rocha podem ter influenciado nos fatores de resposta a curto prazo.

Nota-se que os resultados se mostraram promissores em relação ao uso do pó de rocha. Resultados satisfatórios também foram obtidos por Dettmer et al. (2020) onde avaliaram o uso de duas doses de pó de basalto (6 e 12 Mg ha⁻¹) e adubo químico solúvel na produtividade da cultura do milho, no qual concluíram que não houve diferença significativa entre as produtividades com fertilizante mineral e com o uso de pó de rocha, obtendo média de 5.201 kg ha⁻¹.

Hanisch et al. (2013) avaliaram cinco doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8 e 12 Mg ha⁻¹) com e sem adubação química durante quatro safras de verão consecutivas intercaladas entre soja e milho, sendo que no período de inverno houve utilização de aveia + ervilhaca após a soja ou somente aveia após o milho. Para a soja não foi verificado efeitos significativos diante as doses ou das adubações, enquanto para o milho nas duas safras onde foi avaliado, o manejo com a presença de adubação convencional proporcionou os maiores valores de produtividade (7.926 e 8.059 kg ha⁻¹).

¹⁾ em relação a ausência do insumo (7.096 e 6.920 kg ha⁻¹), o que se assemelha ao resultado de maior produtividade do milho com o tratamento de adubação NPK deste estudo.

Almeida Junior et al. (2020) utilizando doses crescentes de pó de rocha variando entre 0 a 30 Mg ha⁻¹ de forma isolada verificou resultados opostos a este estudo. O tratamento de maior dose apresentou a maior produtividade significativa da cultura do milho (7.762 kg ha⁻¹) em relação ao tratamento sem a utilização do pó de rocha (6.119 kg ha⁻¹), demonstrando que o pó de rocha pode ser uma alternativa viável para a cultura do milho.

Aguilera et al. (2022) avaliaram o efeito isolado residual de quatro doses de pó de rocha basáltica (0, 1, 3, e 5 Mg ha⁻¹) na produtividade de dois híbridos de milho após duas safras de soja e não verificaram efeito significativo para as doses do pó de basalto. Porém, em análise estatística multivariada os autores verificaram que a produtividade de um dos híbridos foi influenciada com as doses de 3 e 5 Mg ha⁻¹, manifestando efeito positivo. Alguns aspectos importantes semelhantes a este trabalho são descritos pelos autores, como que, ao se trabalhar em solos com fertilidade média a alta, as demandas nutricionais para as culturas de soja e milho podem muitas vezes ser supridas mesmo sem a utilização do pó de rocha e assim dificultar a obtenção de resultados mais diretos.

Além disso apesar da testemunha absoluta ter apresentado uma resposta semelhante ou superior aos tratamentos deste estudo (ficando apenas abaixo da produtividade da adubação química), é importante salientar que o déficit hídrico pode afetar principalmente os fenômenos de transporte nutricional no solo e decomposição dos resíduos utilizados e assim gerar potencial imobilização de N no solo, que consequentemente pode ter afetado na maior produtividade dos tratamentos em relação aos tratamentos adicionais (LÁZARO et al., 2013).

Para a produtividade de grãos de soja foi verificado efeito significativo para a interação entre os consórcios de plantas de cobertura e o pó de rocha, bem como efeito isolado para a cama de frango. Houve diferença entre os tratamentos e as testemunhas.

Na interação foi verificado que quando houve a utilização do pó de rocha os consórcios de aveia + nabo e de aveia + nabo + tremoço + ervilha promoveram maiores produtividades (média de 3.141 kg ha⁻¹) em relação ao consórcio de tremoço + ervilha (2.230 kg ha⁻¹); já na ausência do pó de rocha apenas o consórcio de aveia + nabo promoveu a maior produtividade de soja (3.016 kg ha⁻¹) em relação aos demais consórcios (média de 2.240 kg ha⁻¹), representando um incremento próximo a 35% (Tabela 27).

Para o pó de rocha foi verificada diferença entre a presença e ausência apenas no consórcio com aveia + nabo + tremoço + ervilha, com a maior produtividade de soja quando foi utilizado o pó de basalto (3.331 kg ha^{-1}), com um incremento de 50% em relação a ausência do pó de rocha (2.214 kg ha^{-1}) (Tabela 27). Isso evidencia que o consórcio com mais espécies de plantas possibilitou maior resposta da soja à utilização do pó de rocha.

Tabela 27. Produtividade (kg ha^{-1}) de soja (safra de verão 2022/2023) em função da interação entre consórcios de plantas de cobertura e pó de rocha, cama de frango de forma isolada, bem como para as testemunhas.

as testemunhas.		
Consórcio	Pó de rocha	
	Presença (8 Mg ha ⁻¹)	Ausência
Aveia + nabo	2.950 aA αβ	3.016 aA αβ
Tremoço + ervilha	2.230 bA α	2.265 bA α
Ave + nab + tre + erv	3.331 aA β	2.214 bB α
CV (%)	11,32	
Cama de frango		
Presença (6 Mg ha ⁻¹)	2.884 a αβ	
Ausência	2.451 b αβ	
DMS	224,98	
CV (%)	12,91	
Tratamentos adicionais		
Testemunha absoluta	2.480 α	
Testemunha adubação NPK	3.205 β	
DMS	761,98	

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras gregas (α ; β) representam comparação entre tratamentos adicionais e demais tratamentos pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

A comparação entre os tratamentos e as testemunhas evidenciou que a associação do consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha com a utilização do pó de rocha diferiu da testemunha absoluta (2.480 kg ha^{-1}), demonstrando que o tratamento promoveu incremento de 34% na produtividade da soja. Esse tratamento foi semelhante à testemunha com adubação NPK (3.205 kg ha^{-1}) (Tabela 27), indicando que a utilização do tratamento é capaz de promover produtividade semelhante à uma adubação química de semeadura.

Já os tratamentos com o cultivo de tremoço + ervilha tanto na presença como na ausência de pó de rocha e com o cultivo de aveia + nabo + tremoço + ervilha na ausência de pó de rocha foram diferentes estatisticamente da testemunha com adubação NPK, apresentando valores de

produtividade de soja inferiores ao tratamento que recebeu adubação química de base. Em média os tratamentos citados promoveram uma produtividade de soja de 2.236 kg ha^{-1} , ou seja, a testemunha com adubação promoveu produtividade 43% superior.

Com relação a cama de frango, a utilização do material proporcionou maior valor significativo da produtividade da soja (2.884 kg ha^{-1}) em relação a ausência da cama (2.451 kg ha^{-1}), um aumento de quase 18% na produtividade. Ambos tratamentos não diferiram das testemunhas (Tabela 27).

O resultado de semelhança com a testemunha de adubação é um ponto de alta importância para o referente estudo demonstrando que alguns tratamentos possibilitaram atingir produtividades similares ou até mesmo superiores aos métodos de adubação tradicional.

Outro aspecto a ser observado foi que, como houve maior regularidade na pluviosidade hídrica durante o cultivo da cultura da soja, ocorreu maiores interações dos tratamentos com os potenciais produtivos da cultura, visto que a produtividade de alguns tratamentos ultrapassou ou foi próxima aos valores médios do rendimento da cultura no município de estudo. De acordo com a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, a produtividade da soja (safra 22/23) no período de verão para o município de Entre Rios do Oeste foi em média de 3.100 kg ha^{-1} .

Semelhante a este trabalho, Alovisei et al. (2021) estudaram o efeito residual de doses de pó de rocha basáltica (0; 2,5; 5; 7,5; e 10 Mg ha^{-1}) associadas ou não a adubação química na cultura da soja. Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa entre as doses de pó de rocha, porém, a produtividade com a presença de adubação química (3.149 kg ha^{-1}) foi significativamente superior quando comparado à ausência do insumo químico (2.683 kg ha^{-1}). O que segundo esses autores permitiu concluir que o uso do pó de rocha como fonte única principal pode não suprir adequadamente os cultivos em função da baixa solubilidade e disponibilidade dos nutrientes a longo prazo.

A utilização do consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha apresentou destaque quanto a associação com pó de rocha sendo que na presença do insumo houve maior produtividade da soja do que em sua ausência. Sustakowski (2021) também estudou o uso de pó de rocha basáltica associado a plantas de cobertura de inverno e a relação com a produtividade na cultura da soja. Com relação as plantas utilizadas, as maiores produtividades significativas foram obtidas após o cultivo de aveia-preta e do consórcio de aveia preta + nabo forrageiro em relação a área sem

cobertura de plantas, semelhante a este estudo que obteve maiores produtividades com o cultivo antecessor de aveia + nabo ou juntamente com tremoço + ervilha associados ao pó de rocha.

Com relação aos resultados encontrados diante as doses de pó de rocha pela autora supracitada, a maior produtividade (3.590 kg ha^{-1}) foi obtida na dose de $8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, e apresentou um incremento de 16% em relação a produtividade obtida sem aplicação de pó de rocha ($3.083,80 \text{ kg ha}^{-1}$), sendo que este aumento pode estar relacionado ao melhor fornecimento e equilíbrio nutricional da cultura gerado pelo uso da rochagem. A autora relatou ainda que a cultura sofreu um potencial déficit hídrico no período de desenvolvimento e as maiores produtividades podem estar relacionadas pela utilização das plantas que possivelmente reduziram as perdas de água do solo proporcionadas pela adição de matéria orgânica e cobertura do solo, e também pela melhor ciclagem de nutrientes com posterior absorção nutricional da cultura.

Resultados positivos ao uso da rochagem também foram obtidos por Alovisei et al. (2023) que avaliaram o efeito na produtividade da soja através e cinco doses de pó de rocha, e verificaram produtividade máxima da cultura (4.028 kg ha^{-1}) na dose de $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, com dose semelhante a utilizada no presente trabalho. Segundo os autores, isso pode ser explicado pelas melhorias nos atributos químicos do solo, principalmente por efeitos de correção de pH do solo gerando maior disponibilidade de nutrientes para absorção das plantas.

Silva et al. (2019) avaliaram a influência do uso de doses crescentes de basalto gabro nas características agronômicas de uma cultivar de soja, cada dose foi elevada em 3 Mg ha^{-1} até atingir 27 Mg ha^{-1} . Em relação à produtividade verificaram diferenças significativas, sendo que o tratamento com maior produtividade (5.918 kg ha^{-1}) foi obtido com a dose de 21 Mg ha^{-1} . Através desses resultados, os autores relataram que o pó de rocha poderia substituir com eficiência os fertilizantes químicos além de possuir a vantagem de contribuir para a sustentabilidade agrícola.

Aguilera et al. (2020) avaliaram a combinação de três cultivares de soja e quatro doses de pó de basalto (0, 1, 3 e 5 Mg ha^{-1}) e não encontraram interação significativa das doses aplicadas com as cultivares, obtendo produtividade média acima de 4.000 kg ha^{-1} . Segundo os autores a falta de efeito significativo da utilização da rochagem pode estar ligada a uma série de fatores, como condições climáticas desfavoráveis ao intemperismo afetando a capacidade de solubilização do pó de rocha, o que pode se assemelhar aos resultados obtidos neste estudo, já que as testemunhas apresentaram semelhança com os tratamentos com utilização do pó de rocha.

De Moraes et al. (2020) também não verificaram alteração na produtividade de grãos com as doses de pó de rocha em relação à testemunha. Os autores avaliaram o efeito de quatro doses de pó de rocha (0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹) na produtividade de duas cultivares de soja, sendo que ambas cultivares apresentaram desempenho produtivo satisfatório (média de 4.074 kg ha⁻¹), que segundo os autores pode estar ligado ao fator de liberação gradual dos elementos químicos da rocha.

Neste estudo os adubos verdes não apresentaram um efeito isolado significativo para a produtividade. Resultados similares foram obtidos por Gazola e Cavariani (2011) que avaliaram a interação de plantas de cobertura de inverno: aveia branca, ervilha forrageira, trigo, cevada e nabo forrageiro no cultivo antecessor a cultivares de soja. De modo geral, as seis cultivares não apresentaram respostas significativas após o cultivo de uma safra sobre os resíduos testados.

Mottin (2016) também não encontrou resultados significativos do uso de plantas de cobertura isoladas para a produtividade do milho e da soja após primeiro cultivo com uso das famílias Poaceae (aveia e braquiária) e Fabaceae (ervilha e tremoço) no período de inverno. Para as culturas de cereais não foi encontrado diferenças significativas independentemente da família ou espécie de plantas, onde a média produtiva obtida foi de 7.510 kg ha⁻¹ e 2.660 kg ha⁻¹ para as culturas de milho e soja respectivamente. Segundo o autor as plantas utilizadas não causaram prejuízos à média da produtividade das culturas, além do que outros fatores (genéticos ou ambientais) podem ter afetado a não expressão a curto prazo de diferenças produtivas após as espécies.

Valicheski et al. (2012) avaliaram a produtividade da soja após o cultivo de aveia preta e nabo forrageiro e constataram resultados semelhantes, com valores médios de 3.750 kg ha⁻¹ após cultivo de aveia e 3.540 kg ha⁻¹ após cultivo de nabo. Henz et al. (2017) após mensurar a produtividade da soja subsequente aos cultivos de aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca comum e tremoço branco não obtiveram valores significativos, e a média geral produtiva foi de 3.740 kg ha⁻¹. Segundo os autores o curto período de tempo após uma única safra com plantas de cobertura pode não ocasionar interferências produtivas relevantes.

Wolschick et al. (2018) testaram os efeitos dos cultivos de aveia-preta, nabo forrageiro, ervilhaca comum, consórcio das três espécies e pousio sobre a produtividade das culturas de soja e de milho. Os resultados demonstraram maior produtividade no tratamento com adubação química para a cultura do milho (8.750 kg ha⁻¹) seguido pelo consórcio e cultivo isolado de ervilhaca (média de 5.665 kg ha⁻¹). Já para a cultura da soja não houve resultados significativos dos tratamentos, o

que evidencia que a utilização das plantas de cobertura pode possuir equivalência produtiva ao tratamento químico.

Outro aspecto relevante evidenciado no estudo citado acima foi que se observou um desenvolvimento mais vigoroso das culturas do milho e da soja sobre o cultivo de ervilhaca em comparação aos tratamentos de pousio e aveia preta, observado na coloração foliar das culturas, assim sendo também importante o uso e a escolha correta das plantas de cobertura para com o potencial produtivo.

Ribeiro (2023) estudou o efeito de cinco doses de pó de rocha basáltica (0, 4, 8, 12 e 16 Mg ha^{-1}) associados à cama de frango, na dose de 5 Mg ha^{-1} , na produtividade da soja e no milho de segunda safra. A média obtida na cultura da soja para as doses com cama de frango foi de 3.462,8 kg ha^{-1} . Semelhante a este estudo, também não houve diferença significativa da produtividade em relação ao tratamento com adubação solúvel, fato este que favorece quanto ao uso alternativo da rochagem e dos resíduos orgânicos na manutenção dos nutrientes essenciais para produtividade das culturas.

Neste estudo, a soja com cama apresentou resultado significativo em relação à ausência da cama assim como obteve resposta semelhante ao tratamento com NPK. Resultados similares foram encontrados por Lima e Menezes (2014) que avaliaram a produtividade do milho e da soja adubados com cama de frango na dose de 10 Mg ha^{-1} e diferentes condicionadores. Um dos pontos observados nos dados levantados pelo estudo foi que o uso da cama de frango com diferentes condicionadores não diferiu das médias produtivas do tratamento com fertilizante químico nas duas culturas, obtendo médias de 5.892 kg ha^{-1} para o milho e 3.785 kg ha^{-1} para a soja, sendo um resultado promissor ao uso do insumo, já que pode trazer outros benefícios indiretos para manutenção da qualidade do solo e utilidade satisfatória para produção agrícola.

Carvalho et al. (2011) também encontraram resultados promissores ao uso de cama de frango na cultura da soja. Os autores verificaram aumento linear para a produtividade de grãos da soja com aplicação de 3, 6 e 9 Mg ha^{-1} de cama de frango. Tendo que na ausência do fertilizante orgânico a produtividade foi de 2.474 kg ha^{-1} , ao passo que com a utilização de 9 Mg ha^{-1} de cama a produtividade foi de 4.990 kg ha^{-1} , além da amplitude com o adubo mineral ter sido amplamente menor em função das doses utilizadas.

A utilização da cama de frango na implantação das culturas pode ser uma alternativa plenamente viável para a região de estudo, especialmente para produtores que dispõem de granjas

comerciais na propriedade, podendo assim utilizar ou comercializar o insumo que será gerado, possibilitando a implantação de um modelo mais sustentável em relação ao modelo atual.

Apesar dos diversos resultados satisfatórios quanto ao uso dos tratamentos deste estudo, é imprescindível que haja avaliações de longo prazo para outros estudos com aplicação de pós de rochas e suas interações com seus potencializadores de resposta, principalmente para aplicações de maior frequência ou utilização de altas doses e seu comportamento na qualidade física do solo e desenvolvimento das culturas.

4 CONCLUSÕES

A produtividade de massa seca dos consórcios foi maior na presença de pó de rocha e cama de frango;

A utilização de pó de rocha, cama de frango e plantas de cobertura em consórcios proporcionaram maior teor de COT no solo;

A utilização de cama de frango, bem como a associação de plantas de cobertura na presença de pó de rocha promoveram redução na RP;

Os consórcios e a utilização de cama de frango e pó de rocha não reduziram a densidade do solo, porém não interferiram negativamente na macroporosidade, microporosidade e na PT do solo;

A utilização de pó de rocha e cama de frango proporcionou maior produtividade de milho e de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELI, A.; SISTANI, K.R.; ROWE, D.E.; TEWOLDE, H. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, 974-983, 2007.
- AGUILERA, J.G.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; TRENTA, 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 pó de basalto sobre cultivares de soja. **Research, Society and Development**, v.9, n.7, p.5197-3974, 2020.
- AGUILERA, J. G.; ALVES, Z.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; SILVA, L. N.; SILVA, C. E. S. S.; MARTINEZ, L. A.; GONZALEZ, H. H. S. Efeito residual de doses de pó de basalto no milho segunda safra. **Ensaios e Ciências**, v.26, n.2, p.281-288, 2022.
- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no Sul do Brasil. **Revista Agriculturas: Experiências em Agroecologia**, v.4, n.1, p.7-10, 2007.
- ALMEIDA, B. G. de.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. cap.7, p.65-75.
- ALMEIDA, A. N. **Atributos químicos e físicos de latossolo decorrentes da aplicação de pó de metabasalto**. 2018. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS. 2018.
- ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEROZINI, A. C.; SOUZA, J. V. A.; RIBEIRO JÚNIOR, L. F.; SILVA, R. F.; ARAUJO, S. L.; DUTRA, J. M.; LIBERATO, P. F. Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.6, n.11, p.88440-88446, 2020.
- 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.; RODRIGUES, R. B.; ALOVISI, A. A.; TEBAR, M. M.; VILLALBA, L. A.; MUGLIA, G. R. P.; SOARES, M. S. P.; TOKURA, L. K.; CASSOL, C. J.; SILVA, R. A. da.; TOKURA, W. I.; GNING, A.; KAI, P. M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v.10, n.6, 2021.
- ALOVISI, A. M. T.; TOKURA, W. I.; KAI, P. M.; TAQUES, M. M.; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S.; ALVES, J. C.; LEITE, J. L. N.; LIMA, N. D. Atributos químicos do solo e componentes agrônômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto. **Revista Observatório De La Economia Latinoamericana**, v.21, n.9, p.14220-14237, 2023.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.411-418, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.857-865, 2000.

ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P.; MOTTIN, M. C.; LERNER, K. L.; FRANZISKOWSKI, M. A.; HERRMANN, D. R. Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.3, p.293-299, 2018.

ARAÚJO, R. M. **Uso de resíduos na agricultura familiar de base ecológica: efeitos na qualidade do solo e no desempenho agrônômico do feijoeiro**. 2018. 128p. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

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

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, p.25-36, 2001.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; PAEPE, J. L. de. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v.170, p.53-65, 2017.

ALVES, P. F. S.; SAMPAIO, R. A.; KONDO, M. K.; FERREIRA, V. G.; PEGORARO, R. F. Pó de rocha como condicionador de solo para o feijoeiro no norte de Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v.10, n.10, 2021.

AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão guandu: Uma planta multiuso. **Revista da Fapese**, Aracaju, v. 3, n. 3, p.81-86, 2007.

BARZEGAR, A. R.; YOUSEFI, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant Soil**, v.247, p.295-301, 2002.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BEERLING, D. J.; LEAKE, J. R.; LONG, S. P.; SCHOLLES, J. D.; TON, J.; NELSON, P. N.; BIRD, M.; KANTZAS, E.; TAYLOR, L.; SARKAR, B.; KELLAND, M.; DELUCIA, E.; KANTOLA, I.; MÜLLER, C.; RAU, G.; HANSEN, J. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Native Plants**, v.1, p.138-147, 2018.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MAFRA, Á.L.; FLORES, M. C. Soil water erosion under different cultivation systems and different fertilization rates and forms over 10 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p.1918-1928, 2014.

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

BEUTLER, A. N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina**, v.34, p.2637-2654, 2013.

BRANCALÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.393-404, 2008.

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

BRANDÃO, J. A. V. **Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia**. 2012. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, 2012.

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.

BRITO, S. dos S.; SANTOS, A. C. dos. Decomposição e mineralização de nutrientes em função da aplicação de diferentes fontes de matéria orgânica. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.10, p.1-8, 2010.

BRITO, R. S. D.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. do V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. da. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v.6, n.1, p.528-540, 2019.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, v.11, n.2, 2016.

CANALLI, L.B.; SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, A. O.; BRIEDES, C.; TIVET, F.; MARQUES, O.J.; VIDIGAL FILHO, P.S. Proposta de um protocolo para validação e certificação da qualidade do SPDP relacionada à redução de CO₂. In: Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 12, 2010, Foz do Iguaçu. PR. **Resumos**. Ponta Grossa, PR: Febrapdp, 2010. p.85-94.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; KLEINPAUL, J. A.; NEU, I. M. M.; SILVEIRA, D. L.; SIMÕES, F. M.; SPANHOLI, R.; MEDEIROS, L. B. Tamanho de parcela e número de repetições em ervilha forrageira. **Ciência Rural**, v.45, n.7, p.1174-1182, 2015.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Revista Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-456, 2008.

CARVALHO, E. R.; MILANEZ DE REZENDE, P.; PASSOS, A. M. A.; SOUZA, P. A. B. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p.930-939, 2011.

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

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

CELIK, I.; ORTAS, I.; KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilize on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil Tillage Research**, v.78, n.1, p.59-67, 2004.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; HOLANDA, H. V.; FURLANI, C. E. A.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consórcio de *Urochloa* com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.42, p.1804-1810, 2012.

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

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de Potássio na agricultura agroecológica. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.7, n.1, p.01-08, 2012.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1663-1674, 2006.

COOMBS, C.; LAUZON, J. D.; DEEN, B.; VAN EERD, L. L. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crop Research**, v.201, p.75–85, 2017.

COOPER, J.; BARANSKI, M.; STEWART, G.; NOBEL-DE-LANGE, M.; BÀRBERI, P.; FLIEBBACH, A.; PEIGNÉ, J.; BERNER, A.; BROCK, C....MÄDER, P. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. **Agronomy Sustainable Development**, v.26, n.22, 2016.

COSTA, A. M. D.; BORGES, E. N.; SILVA, A. D. A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1991-1998, 2009.

COSTA, A.; BARBOSA, G. M. C.; COSTA, M. A. T. Aumento do potencial produtivo de um Argissolo usando plantas de cobertura, adubação orgânica e mineral. In: Reunião paranaense de ciência do solo, 4, 2019, Ponta Grossa, PR. **Anais**. Ponta Grossa, PR: UEPG/PROEX, 2019.

COSTA, N. R.; ANDEOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.3, p.852-863, 2015.

CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, J. M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.71, p.29-32, 2002.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II -atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p.603-611, 2011.

CUNHA, M. C. G. **Atributos físicos e de matéria orgânica de um latossolo vermelho de textura média, sob uso de pastagem degradada, após a aplicação de diferentes doses de cama de aves**. Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – 2008, 56p.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p.603-612, 2010.

DEMATTE, J. A. M.; BORTOLETTO, M. A. M.; VASQUES, G. M.; RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. **Bragantia**, v.70, n.3, p.590-597, 2011.

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. In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 5, 2020. **Anais**. 2020.

DEXTER, A. R.; RICHARD, G.; ARROUAYS, D.; CZYZ, E. A.; JOLIVET, C.; DUVAL, O. Complexed organic matter controls soil physical properties. **Geoderma**, v.144, n.3, p.620-627, 2008.

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

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012.

DUARTE, I.B.; GALLO, A.S.; GOMES, M.S.; GUIMARÃES, N.F.; ROCHA, D.P. E SILVA, R. F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, v.3, n.2, p.150-165, 2014.

FELINI, F. Z.; BONO, J. A. M. Produtividade de soja e milho, em sistema de plantio com uso de cama de frango na região de Sindrolândia-MS. **Ensaio e Ciência, Ciências Agrárias, Biológicas e de Saúde**, v.15, n.5, p.9-18, 2011.

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

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

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. da.; OLIVEIRA, G. C. de.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Revista Agropecuária Tropical**, v.37, p.22-30, 2007.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUNECENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca** (Documentos nº 314), Londrina, PR: Embrapa Soja, 2009.

FRANCZISKOWSKI, M. A.; SEIDEL, E. P.; FEY, E.; ANSCHAU, K. A.; MOTTIN, M. C. Propriedades físicas do solo nos sistemas de plantio direto e preparo reduzido com diferentes plantas de cobertura. **Engenharia na Agricultura**, v.27, n.6, p.556-564, 2019.

GATZKE, V. **Uso de aveia preta e nabo forrageiro no período outonal sobre atributos físicos do solo e produtividade do trigo**. 2017. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, 2017.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.5, p.748-763, 2011.

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, v. 204-205, p. 94-101, 2013.

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.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HUBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.751-762, 2004.

GOMES, J. A.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SAGRILO, E.; MORA, F. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.27, n.3, p.521-529, 2005.

GOMIDES, J. N.; BORGES, E. N. Atributos físicos de Latossolo cultivado com cana de açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva. **Revista Agrotecnologia**, v.5, n.1, p.33-49, 2014.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.307-313, 1999.

GRACIANO, J. D.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; ROSA, Y. B. C. J.; SEDIYAMA, M. A. N.; RODRIGUES, E. T. Efeito da cobertura do solo com cama de frango semidecomposta sobre dois clones de mandiocinha-salsa. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.3, p.367-376, 2006.

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

HANISCH, A. L., DA FONSECA, J. A., 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**, v.3, n.2, p.100-107, 2013.

HARTMANN, J.; KEMPE, S. What is the maximum potential for CO₂ sequestration by “stimulated” weathering on the global scale? **Naturwissenschaften**, v.95, p.1159-1164, 2008.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v.41, p.1549-1555, 2011.

HENZ, F. M.; ROSA, H. A. Produtividade da soja após cultivo de plantas de cobertura de inverno. **Revista Cultivando o Saber**, edição especial, p.204-212, 2017.

HINSINGER, P.; BARROS, O. N. F.; BENEDETTI, M. F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. **Geochim Cosmochim Acta**, v.65, p.137-152, 2001.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2008. Disponível em: <http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climáticas/Classificado_Climática.htm>.

IWATA, B. de F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; BRASIL, E. L.; COSTA, C. do N.; CAMPOS, L. P.; SANTOS, F. S. R. dos. Carbono total e carbono microbiano de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2010.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, v.37, n.2, p.91-97, 2003.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; DENARDIN, J. E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Rotação de cultura em sistema plantio direto e preparo convencional do solo: Importância da adubação verde com leguminosas no estoque de C e N do solo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 18 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 183).

KALBITZ, K.; SCHMERWITZ, J.; SCHWESIG, D.; MATZNER, E. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. **Geoderma**, v.113, p.273–291, 2003.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de Basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* koehne (Rosaceae). **Floresta**, v.37, n.3, p.427-436, 2007.

KNOX, N. M.; GRUNWALD, S.; MCDOWELL, M. L.; BRULAND, G. L.; MYERS, D. B.; HARRIS, W. G. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and midinfrared (MIR) spectroscopy. **Geoderma**, v.239-240, p.229-239, 2015.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v.62, n.2, p.150-158, 2005.

LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L.; SILVA, C. G.; DALCANTON, F.; BARICHELLO, R.; SAUER, A. V.; PIAIA, T. A.; PIVA, A. J. D. Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alfafa submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.5, p.49498-49512, 2021.

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. 129p.

LAURINDO, M. C. O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D.; LAURINDO, E. L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Engenharia na agricultura**, v.17, n.5, 2009.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T. da.; SILVA, K. F. da.; SARTO, M. V. M.; DUARTE JUNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão a adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.10-17, 2013.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P. da.; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.33-40, 2005.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. L.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.474-479, 2006.

LIMA, L. P. de. **Avaliação física de um Latossolo Vermelho textura média, influenciada pela aplicação de dejetos de suínos e cama aviária**. 2007. 184f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.

LIMA, V. M. P.; DE OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 71-78, 2012.

LIMA, L. M.; MENEZES, J. F. S. Camas de frango tratadas com condicionadores na adubação da cultura do milho e da soja. **Gestão Tecnologia e Ciências**, v.2, n.4, p.63-70. 2014.

LINCK, I. L. D. **Plantas de cobertura de outono/inverno e suas relações com a cultura da soja**. 2019. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2019.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.

LOPES-ASSAD, M.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; CECCATOANTONINI, S.R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Revista Espaço e Geografia**, v.9, p.1-17, 2006.

LOPES, R. A. P.; PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SOUZA, E. G. Efeitos de diferentes coberturas vegetais e sistemas de preparo do solo na produção da cultura da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.4, p.507-515, 2007.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R. da.; ANJOS, L. H. C. dos. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.57-64, 2010.

MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1516-1524, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. **Circular Técnica 76**, Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 10 p, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>.

MALTA, A. O. de.; PEREIRA, W. E.; TORRES, M. N. N.; MALTA, A. O. de.; SILVA, E. S. da.; SILVA, S. I. A. da. Atributos físicos e químicos do solo cultivado com grão-de-bico, sob adubação orgânica e mineral. **Revista Pesquisa Agropecuária**, v.2, n.1, p.11-23, 2019.

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

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. (2008) – Agrominerais – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: Luz, A. B.; Lins, F. F. (Eds.) – **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p.205-223.

MENEZES-BLACKBURN, D.; GILES, C.; DARCH, T.; GEORGE, T.S.; BLACKWELL, M.; STUTTER, M.; SHAND, C.; LUMSDON, D.; COOPER, P.; WENDLER, R.; BROWN, L.; ALMEIDA, D. S.; WEARING, C.; ZHANG, H.; HAYGARTH, P. M. Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: A review. **Plant Soil**, v.427, p.5-16, 2018.

MENEZES, K. C.; PUJA, J. D.; MACHADO, A. H. R. A importância da elasticidade da matéria orgânica e de sua atuação na estabilidade dos agregados para o controle da compactação do solo. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.3, p.1349-1356, 2020.

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

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.288-298, 2014.

MORAES, L. N. de. **Uso de pó de rocha na agricultura brasileira**. 2021. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

MORAIS, K. A. D. de.; ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.; DE OLIVEIRA NETO, F. M.; SILVA, E. L. S. da.; RATKE, R. F. Desempenho agrônômico de cultivares de soja precoce em função de doses de pó-de-ametista. **Ensaios Ciência**, v.24, p.343-347, 2020.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L.; SILVA, Á. P. da.; KELLER, T.; BETIOLI JUNIOR, E. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.160, p.53-64, 2016.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; PEROZINI, A. C.; GONZALEZ, A. P.; SILVA, E. C. Condutividade hidráulica e resistência à penetração do solo influenciada por diferentes sistemas de manejo. **Cadernos do Laboratório Xeoloxico de Laxe**, v.31, n.1, p.29-42, 2006.

MOSADDEGHI, M.R.; MAHBOUBI, A.A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil Tillage Research**, v.104, n.1, p.173-179, 2009.

MOTTIN, M. C. **Efeito de plantas de cobertura cultivadas no inverno nas propriedades físicas do solo e na produtividade de soja e milho em sucessão**. 2016. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, 2016.

MOTTIN, M. C.; SEIDEL, E. P.; RIBEIRO, L. L. O.; FEY, E.; ROSSET, J. S. Frações químicas do carbono orgânico do solo em função do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo. **Conjecturas**, v.22, p.326-339, 2022.

MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Global Science and Technology**, v.5, n.3, p.162-169, 2012.

NESPOLO, G. C. **Diferentes doses de cama de frango como fertilizante orgânico na produção de milho**. 2017. 17f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, 2017.

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

NIEWINSKI, F. S. **Do pó de rocha à fertilidade: uma experiência nos solos de Montenegro/RS**. 2017. 79p. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

NOVAES, L. A.; MOREIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, L. de.; TALAMINI, E.; VIANA, J. J. S. Análise dos Fatores Críticos de Sucesso do Agronegócio Brasileiro. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, **Economia e Gestão no Agronegócio**. Campo Grande: SOBER. n.48, p.1-20, 2010.

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.

ONESKO, J. C. **Atributos químicos de um Latossolo submetido a remineralização e adubação orgânica**. 2023. 22p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, 2023.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.403-415, 2011.

PARADELO, R.; CENDÓN, Y.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. A pot experiment with mixtures of slate processing fines and compost. **Geoderma**, v.141, n.3, p.363-369, 2007.

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

PENHA, M. N. C. **Caracterização analítica de rochas silicatadas e avaliação do seu potencial agrícola como fonte de potássio**. 2016. 91p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2016.

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

PIANO, J. T.; SEIDEL, E. P. Produtividade de milho, propriedades químicas e físicas de um Latossolo influenciadas pelo uso de cama de aviário. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, n.2, p.51-62, 2012.

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

PONZI, G.G.D.; DOS SANTOS, V.H.J.M.; MARTEL, R.B.; PONTIN, D.; E STEPANHA, A.S.D.G.; SCHÜTZ, M.K.; MENEZES, S.C.; EINLOFT, S.M.O.; VECCHIA, F.D. Basalt powder as a supplementary cementitious material in cement paste for CCS wells: Chemical and mechanical resistance of cement formulations for CO₂ geological storage sites. **International Journal off Greenhouse Gas control**, v.109, 2021.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALICH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, 2022.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; DIETRICH, G.; SKOLAUDE, A. C.; LUDKE, W. H.; GIACOMINI, S. J. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixture decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.78, p.65-75, 2014.

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciências do Solo**, cap.5, p.49-134, 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 4.ed. Barueri: Manole, 2008. 508p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, n.2, p.242–254, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.

REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GERLACH, J. R.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Decomposição de culturas de cobertura no sistema plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.194-200, 2007.

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, PR, 2021.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M. dos; COSER, S. M.; NOGUEIRA, O. N.; MARTINS, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.1, p.43-50, 2011.

RIBEIRO, D. O.; CARBALLAL, M. R.; SILVA, A. J.; SANTOS, T. E. B.; FERREIRA, L. L.; CUNHA, F. F. Produtividade de cana-de-açúcar e atributos de solo em função da aplicação de cama de peru. *Revista de Ciências Agrárias*, v.59, n.3, p.259-264, 2016.

RIBEIRO, D. O.; CASTOLDI, G.; SILVA, H. D.; CAVALCANTE, T. J.; ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; LIMA, L. I. O.; CARBALLAL, M. R. Atributos físicos de um Latossolo após o uso de doses de cama de frango acrescidas à adubação mineral. **Revista Colloquium Agrariae**, v.15, p.9-17, 2019a.

RIBEIRO, L. L. O.; SEIDEL, E. P.; PAN, R.; CUNHA, L. S.; LANA, M. C.; BEJOLA, P. C.; STEIN, J. M.; KUNZ, T. R.; SUSTAKOWSKI, M. C.; MOTTIN, M. C. Frações químicas da matéria orgânica do solo em função do cultivo de plantas de cobertura e soja em sucessão. **Conjecturas**, v.22, p.1-27, 2022.

ROBOREDO, D.; MAIA, J. C. S.; OLIVEIRA, O. J.; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.2, p.307-314, 2010.

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

RODRIGUES, M.; JUNGES, L. F.S.; MOZOROVICZ, C.; ZIEMMER, G. S.; KOSERA NETO, C.; ANDRADE, E. A. de.; PASSOS, A. I. dos.; PACHECO, F. P.; CEZAR, E.; TEIXEIRA, L. M. Paraná basin basalt powder: A multinutrient soil amendment for enhancing soil chemistry and microbiology. **Journal off Suht American Earh Sciences**, v. 141, 2024.

RUDISILL, M. A.; BORDELON, B. P.; TURCO, R. F.; HOAGLAND, L. A. Sustaining soil quality in intensively managed high tunnel vegetable production systems: A role for green manures and chicken litter. **Hortscience**, v.50, n.3, p.461-468, 2015.

SALTON, J.C. Potencial de sequestro de carbono em sistemas de produção envolvendo pastagens e agricultura sob plantio direto In: Simpósio sobre plantio direto e meio ambiente, 2005, Foz do Iguaçu. Sequestro de Carbono e Qualidade da Água. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2005. p. 81-89.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2012.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1339-1348, 2011.

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

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

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.797-804, 2004.

Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Levantamento da produção agropecuária**. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/ProducaoAnual>. Acesso em: 14 de novembro de 2024.

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.14, n.1, p.18-25, 2015.

SEIDEL, E. P.; CEQUINATTO, P.; RIBEIRO, L. L. O. Agronomic characteristics of white lupine and phosphorus contents after application of basalt rock dust associated with cover crops and microorganisms. **Research, Society and Development**, v.11, n.3, 2022

SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; RAMBO, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. da. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v.36, p.1011-1020, 2006.

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, T. C.; MACEDO, C. H. O.; ARAÚJO, S. S.; PINHO, R. M. A.; PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; GONZAGA NETO, S. Características agronômicas do capim *Brachiaria decumbens* submetido a intensidades e frequências de corte e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 3, p. 583-593, 2011.

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

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

SILVA, R. C.; CURY, M. E.; IEDA, J. J. C.; SERMARINI, R. A.; AZEVEDO, A. C. Chemical attributes of a remineralized Oxisol. **Ciência Rural**, v.47, n.11, p.1–10, 2017.

SILVA, V. A. da.; SILVA, L. E. S. F. da.; SILVA, A. J. N. da.; 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.

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

SILVA, L. F. P. da.; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. Desenvolvimento da cultura do milho e carbono orgânico total sob diferentes fontes de adubos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.13, n.4, p.1509-1532, 2020.

SILVA, J. M.; ALMEIDA, C. X.; PENA, L. K.; JORGE, R. F.; SILVA, L. R.; DUARTE, I. R. G. Estimativa da macroporosidade e microporosidade em função de sistemas de manejo e plantas de cobertura em Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Research, Society and Development**, v.11, n.3, 2022.

SILVA, L. I. da. **Pó de rocha no cultivo da cana de açúcar e efeitos nas propriedades do solo**. 2023. 37p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Santa Helena de Goiás, GO, 2023.

SILVEIRA, F de M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V. VEZZANI, M. F.; SILVA, E. B. Dejetos líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.1759-1767, 2011.

SILVEIRA JUNIOR, S. D. da.; SILVA, A. P. da.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1854-1867, 2012.

SOUZA, J. L. de.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v.29, p.1796-1805, 2013.

STEFANOSKI, D. C.; SOUZA, T. R. S. de; SANTOS, I. L. dos; ALENCAR, V. S. de; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. Densidade, resistência à penetração e porosidade sob sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado piauiense. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis, SC: Epagri, 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**. 2021. 73p. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, 2021.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: 65 Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, Planaltina, DF. **Anais**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados. p.173-181. 2010.

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.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F. dos.; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2, Poços de Caldas, MG. **Anais**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema. p.32. 2013.

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

UROZ, S.; BUÉE, M.; MURAT, C.; FREY-KLETT, P.; MARTIN, F. Pyrosequencing reveals a contrasted bacterial diversity between oak rhizosphere and surrounding soil. **Environmental Microbiology Reports**, v.2, p.281-288, 2010.

VALADÃO, F. C. A.; BENEDET, K. D. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2073-2082, 2011.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUSS, F.; STURMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.969-977, 2012.

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

VAN STRAAREN, P. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: Uma experiência internacional. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, p.235-247, 2010.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1437-1446, 2008.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2105-2114, 2011.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R.S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, p.134-43, 2016.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F. dos; MUZEKA, L. M. Plantas de cobertura do solo e seus efeitos nas propriedades físicas e produtividade de soja e milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 272-281, 2018.

WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W; REDIN, 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, p.101-109, 2019.

XIAO, H.; LI, Z.; CHANG, X.; HUANG, J.; NIE, X.; LIU, C.; LIU, L.; WANG, D.; DONG, Y.; JIANG, J. Soil erosion-related dynamics of soil bacterial communities and microbial respiration. *Applied Soil Ecology*, v.119, p.205-213, 2017.

ZARPELON, L. **Diagnóstico das condições químicas e físicas do solo em áreas sob adubação orgânica no município de Ibicaré-SC**. 2022. 55p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, SC, 2022.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.5, p.374-382, 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Demarcações e limpeza inicial da área experimental



ANEXO B – Aplicação manual do remineralizador basáltico e da cama de frango



ANEXO C – Semeadura e desenvolvimento dos consórcios de plantas





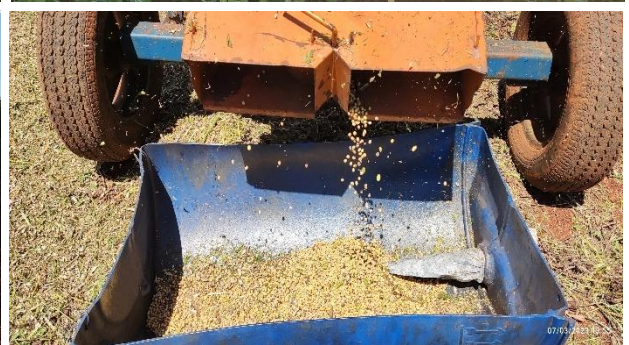
ANEXO D – Coleta, manejo e secagem dos consórcios de plantas



ANEXO E – Semeadura, condução, colheita e trilha da cultura do milho



ANEXO F – Semeadura, condução, colheita e trilha da cultura da soja



ANEXO G – Avaliações de RP, Porosidade e COT do solo

