

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PLANTAS DE COBERTURA MELHORAM A
DISPONIBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E MICORRIZAÇÃO DA
SOJA?**

MAYARA REGINA CHAVES

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2025**

**PLANTAS DE COBERTURA MELHORAM A
DISPONIBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E MICORRIZAÇÃO DA
SOJA?**

MAYARA REGINA CHAVES

Orientadora: Prof.^a Dra. ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI

Coorientador: Prof. Dr. MARCELO BARCELO GOMES

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2025

**PLANTAS DE COBERTURA MELHORAM A
DISPONIBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E MICORRIZAÇÃO DA
SOJA?**

por

MAYARA REGINA CHAVES

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRA EM AGRONOMIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C512p Chaves, Mayara Regina
Plantas de cobertura melhoram a disponibilização do fósforo e micorrização da soja? [recurso eletrônico] / Mayara Regina Chaves. -- 2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Alessandra Mayumi Tokura Alovisi .
Coorientadora: Marcelo Barcelo Gomes.
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Fertilidade do solo. 2. Rotação de culturas. 3. Sorção de P. 4. Micorrizas. 5. Glomalina. I. Alovisi, Alessandra Mayumi Tokura. II. Gomes, Marcelo Barcelo. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

PLANTAS DE COBERTURA MELHORAM A DISPONIBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E MICORRIZAÇÃO DA SOJA?

por

MAYARA REGINA CHAVES

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 03/04/2025

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI**
Data: 22/08/2025 15:31:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Alessandra Mayumi Tokura Alovisei
Orientadora UFGD

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO BARCELO GOMES**
Data: 30/05/2025 15:16:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Barcelo Gomes
Coorientador IFMS

Documento assinado digitalmente
 **ELAINE REIS PINHEIRO LOURENTE**
Data: 08/09/2025 16:19:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Elaine Reis Pinheiro Lourente
UFGD

Documento assinado digitalmente
 **ELISANGELA DUPAS**
Data: 29/08/2025 12:35:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Elisangela Dupas
UFGD

DEDICATÓRIA

A Deus e a Jesus misericordioso: “Jesus eu confio em vós!”
Aos meus pais, Santa de Oliveira Chaves e Wilze Wanderlei Chaves.

Dedico essa dissertação!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, a Inteligência Infinita, e a Jesus que me permitiram chegar até aqui e me sustentaram em todos os momentos dessa trajetória.

À intercessão de Nossa Senhora Desatadora dos Nós, a Mãe de Jesus, pelo cuidado de mãe.

Aos meus pais, por serem meu refúgio e porto seguro. À minha mãe, Santa de Oliveira Chaves, pelas orações e incentivo, pela escuta e paciência sempre necessárias e soube dar os conselhos mais sábios e essenciais para que eu pudesse superar esse desafio. Ao meu pai, Wilze Wanderlei Chaves, que sempre torceu por mim, por suas orações e cuidado de pai, que nunca mediu esforços para me ajudar em tudo que eu precisasse.

À minha orientadora, Professora Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovisi, pelo aprendizado, ajuda incondicional e paciência. Gratidão por seu apoio, foi fundamental para a concretização desta etapa.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Marcelo Barcelo Gomes, que sempre tão solícito, pelos ensinamentos, ajuda e paciência que sempre teve comigo. Foi essencial, gratidão!

Aos técnicos de laboratórios que foram imprescindíveis para que este projeto se cumprisse: Camila Farah Borges da Silva, João Augusto Machado da Silva, Marcos Vinnicius Braga Machado de Queiroz, Phaena Moraes Faria, Jackeline Schultz Soares. Em especial à Camila, ao João e ao Marcos por todo ensinamento, paciência e disposição, gratidão!

Aos amigos e colegas que fizeram parte dessa jornada: Jiuliano Beltrame, por toda ajuda; James Luan N. Leite, pelo aprendizado e auxílio imprescindíveis no laboratório; Lucas Durante, pelo incentivo para que eu fizesse o mestrado; Meriane Melissa Taques, pelo direcionamento e aprendizado; Caio Fernando Ramalho de Oliveira, pelo ensinamento e ajuda; Juan José Jara Almuna, pelo incentivo; Cristiano Alves da Silva, Leandra Ariel Brasil Lima e Cleison da Rocha Leite, pelo auxílio com as micorrizas.

Às amigas que me deram o apoio emocional e mesmo longe foram essenciais: Sandra Francisca, Nicolle Neiva Lamas, Thatiane Ramos dos Santos, Nanci Keiko Matsumoto, Claudinéia Lérios de Oliveira. À minha psicóloga Cristiane Marques R. Ferreira.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, *campus* Naviraí, por disponibilizar sua infraestrutura para que o experimento em campo fosse realizado e aos estagiários do Professor Marcelo.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAGRO), pela oportunidade de participar do Mestrado.

Aos professores do PPGAGRO, em especial à Professora Dra. Elaine Reis Pinheiro, pelo ensinamento, dedicação e disposição; e à Professora Dra. Elisângela Dupas, pelo aprendizado e por ser tão humana.

À banca de qualificação e defesa, por todas as sugestões.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa história, expresso a minha sincera gratidão, Deus os abençoe!

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Fósforo	12
2.2 Formas de P no solo	13
2.3 Plantas de cobertura	14
2.4 Fungos micorrízicos arbusculares	16
2.5 Glomalina Facilmente Extraível (GFE)	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização da área.....	20
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	21
3.3 Coleta e preparo das amostras	22
3.3.1 Amostragem de solo	22
3.3.2 Coleta dos trifólios	23
3.3.3 Coleta das raízes da soja.....	23
3.4 Análises	24
3.4.1 Avaliação dos atributos químicos do solo	24
3.4.2 Fósforo Sorção	24
3.4.3 Extração da Proteína Relacionada à Glomalina (PRGL)	24
3.4.4 Taxa de Micorrização	25
3.4.5 Análise química da planta	25
3.4.6 Avaliação da cultura da soja	26
3.5 Análise estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Atributos químicos do solo.....	27
4.2 Quantificação da Glomalina Facilmente Extraível (GFE)	39
4.3 Taxa de Micorrização	41
4.4 Avaliações agronômicas	43
4.5 Análise foliar	44
4.6 Fósforo Sorção	45
4.7 Análise de Correlação (Pearson)	48
4.8 Análise de componentes principais	54
5. CONCLUSÃO	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

PLANTAS DE COBERTURA MELHORAM A DISPONIBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E MICORRIZAÇÃO DA SOJA?

RESUMO

O cultivo de plantas de cobertura melhora a fertilidade de solo e beneficia as culturas subsequentes além de, promover a ciclagem de nutrientes, especialmente o fósforo. Nesse sentido, o objetivo com este estudo foi avaliar as alterações promovidas pelas plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, na produção de glomalina, na taxa de micorrização, na sorção de fósforo do solo e nos atributos nutricionais e características agronômicas da soja. Para tanto, o estudo foi desenvolvido na área experimental da Fazenda Escola do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul *Campus* Naviraí. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos por: Trat 1- Soja/Pousio; Trat 2- Soja/Milheto; Trat 3- Soja/Crotalária (*Crotalária ochroleuca*); Trat 4- Soja/Nabo forrageiro; Trat 5- Soja/Milho Safrinha e Trat 6- Soja/Milho Safrinha + Braquiária (*Urochloa ruziziensis*). As amostras de solos foram coletadas antes do cultivo da soja, no florescimento e após a colheita da cultura. Foram avaliados os atributos químicos do solo (pH, MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, V% e sorção de P), teor de glomalina, taxa de micorrização radicular da soja, atributos nutricionais e características agronômicas da soja (altura de plantas, população, número de vagens, número de grãos, peso de 1000 grãos e produtividade). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo ao teste F e a comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Nos atributos químicos, a crotalária apresentou os melhores resultados para a maioria das variáveis analisadas. A produção de glomalina não foi afetada pelos tratamentos, porém, foi influenciada pelas épocas de coleta, sendo as maiores concentrações no florescimento e após o cultivo da soja. Quanto à taxa de micorrização, a crotalária e o pousio apresentaram as maiores porcentagens de colonização micorrízica. As plantas de cobertura foram eficientes na redução da fixação de fósforo no solo (P sorção). As características agronômicas foram afetadas positivamente pelas culturas de cobertura. Portanto, a produtividade foi potencializada pela presença de plantas de cobertura, juntamente com os atributos químicos e demais parâmetros avaliados.

Palavras-Chave: Fertilidade do solo; Rotação de culturas; Sorção de P; Micorrizas.

DO COVER CROPS IMPROVE PHOSPHORUS AVAILABILITY AND MYCORRHIZATION IN SOYBEAN?

ABSTRACT

Cover crop cultivation improves soil fertility and benefits subsequent crops, in addition to promoting nutrient cycling, especially phosphorus. In this sense, the objective of this study was to evaluate the changes promoted by cover crops in soil chemical attributes, glomalin production, mycorrhization rate, soil phosphorus sorption, and nutritional attributes and agronomic characteristics of soybean. For this purpose, the study was developed in the experimental area of the School Farm of the Federal Institute of Mato Grosso do Sul, Naviraí Campus. The experimental design was randomized blocks, with six treatments and four replicates, totaling 24 experimental units. The treatments consisted of: Treatment 1- Soybean/Fallow; Treatment 2- Soybean/Millet; Treatment 3- Soybean/Crotalaria (*Crotalaria ochroleuca*); Treatment 4- Soybean/Forage radish; Treatment 5- Soybean/Second-crop Corn and Treatment 6- Soybean/Second-crop Corn + *Brachiaria* (*Urochloa ruziziensis*). Soil samples were collected before soybean cultivation, at flowering and after crop harvest. The soil chemical attributes (pH, OM, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, V% and P sorption), glomalin content, soybean root mycorrhization rate, nutritional attributes and agronomic characteristics of soybean (plant height, population, number of pods, number of grains, weight of 1000 grains and productivity) were evaluated. The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and when significant to the F test and the comparison of means was performed by the Scott-Knott test at 5% probability. In the chemical attributes, crotalaria presented the best results for most of the variables analyzed. Glomalin production was not affected by the treatments, but was influenced by the collection times, with the highest concentrations occurring during flowering and after soybean cultivation. Regarding the mycorrhization rate, crotalaria and fallow presented the highest percentages of mycorrhizal colonization. Cover crops were efficient in reducing phosphorus fixation in the soil (P sorption). Agronomic characteristics were positively affected by cover crops. Therefore, productivity was enhanced by the presence of cover crops, together with the chemical attributes and other parameters evaluated.

Keywords: Soil fertility; Crop rotation, P sorption; Mycorrhizae.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) desempenha um papel fundamental na maioria dos processos metabólicos que ocorrem na planta tais como, fotossíntese, respiração, divisão celular, armazenamento e transferência de energia (ATP: adenosina trifosfato), ácidos nucleicos (DNA e RNA), fosfolipídios e proteínas. Ademais, o nutriente é indispensável para o crescimento da planta visto que, atua no alongamento celular, na formação de frutos e no desenvolvimento radicular (PEREIRA et al., 2021).

Dentre os fatores que reduzem a disponibilidade do fósforo para as plantas é a adsorção do P aos coloides e o P precipitado com ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca). Normalmente, a deficiência de fósforo está relacionada a solos tropicais, altamente intemperizados e com elevados teores de argila, como é o caso dos solos brasileiros (NOVAIS et al., 2007; PEREIRA et al., 2021). Isso ocorre porque nesses solos há a predominância de óxidos de ferro e alumínio da fração argila, que adsorvem o fósforo e reduzem a disponibilidade às plantas (ASSIS et al., 2022; MOENS et al., 2023). Outro fenômeno que reduz a disponibilidade do nutriente no solo é a precipitação do P, em solos ácidos com os íons Fe^{2+} e Al^{3+} , e em solos alcalinos, com os íons Ca^{2+} (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Em virtude disso, nesses solos são aplicadas elevadas doses de fertilizantes fosfatados, além do demandado pela cultura, a fim de superar as consequências negativas da fixação do P sobre a produtividade (NOVAIS et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2020). E apesar dos altos aportes de P, a maior parte dele se encontra pouco disponível para a planta (RODRIGUES et al., 2021; SCHIPANSKI e BENNETT, 2021). Logo, há um acúmulo de altas quantidades de P residual (*P legacy*) nesses solos.

Desse modo, o cultivo de plantas de cobertura em sistemas de rotação de culturas, contribui para a fertilidade do solo, reduz a erosão, aumenta a umidade e otimiza a utilização de nutrientes (CALEGARI et al., 2013; HALLAMA et al., 2019; BOSELLI et al., 2020). As plantas de cobertura modificam os processos de ciclagem de nutrientes e aumentam a matéria orgânica do solo, podendo influenciar na quantidade e diversidade dos microrganismos do solo (KIM et al., 2020). Além disso, essas plantas possuem a habilidade de acessar o P residual dos fertilizantes aplicados nas culturas anteriores e favorece também, a ciclagem do nutriente, através da deposição dos resíduos vegetais no solo (TELES et al., 2017).

Outra estratégia que melhora o aproveitamento do P do solo, é a associação das raízes das plantas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Nessa simbiose, os fungos micorrízicos aumentam a superfície de absorção das raízes, o que permite às plantas, captarem água e nutrientes do solo, principalmente o fósforo. Enquanto a planta fornece ao fungo, carboidratos para sua sobrevivência (COSTA, 2024). Segundo Berude et al (2015), os FMAs podem elevar em quatro vezes a absorção de fosfato pelas raízes das plantas.

Os fungos micorrízicos arbusculares produzem uma glicoproteína hidrofóbica, termoestável e recalcitrante denominada glomalina e que exerce um papel importante na fixação das partículas do solo. Esta, favorece a formação de agregados estáveis além de contribuir para o sequestro de metais pesados e o estoque de carbono e nitrogênio dos solos (SANCHEZ et al., 2022).

Levando em consideração, a dinâmica do P solo e a sua baixa disponibilidade nos solos brasileiros, o objetivo com este estudo foi avaliar as alterações promovidas pelas plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, na produção de glomalina, na taxa de micorrização, na sorção de fósforo do solo e nos atributos nutricionais e características agronômicas da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fósforo

O fósforo (P) é um macronutriente fundamental para o desenvolvimento das plantas, visto que está envolvido em importantes processos metabólicos como armazenamento e transferência de energia (constituente da molécula de ATP e ADP), fotossíntese, respiração além de, manter a integridade estrutural das células vegetais e constitui o material genético (DNA e RNA). Nesse sentido, a demanda pelo nutriente é alta e está em torno de quilos por hectare (TAIZ et al., 2017; OLIVEIRA FILHO e PEREIRA, 2020).

Diferentemente do que acontece no solo, o fósforo é um elemento de alta mobilidade dentro da planta, sendo o fosfato translocado tanto de forma ascendente quanto descendente (sentido bidirecional). Dessa forma, em casos de deficiência, os tecidos mais velhos transferem o P para os tecidos mais jovens, em consequência, surgem os primeiros sintomas nas partes baixas e mais velhas da planta (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Dentre os efeitos causados pela indisponibilidade desse nutriente à planta, destaca-se o atraso no desenvolvimento fisiológico da planta, diminuição do vigor da semente e redução da produtividade. Vale ressaltar que, se esse estresse acontecer no início do período vegetativo, mesmo que haja a reposição desse nutriente em outros períodos, de qualquer forma, o crescimento da planta será comprometido (SHARMA et al., 2013).

Nesse sentido, o fósforo é um dos nutrientes limitantes ao crescimento da planta em solos tropicais e subtropicais, em consequência da adsorção de íons fosfatos com os óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (NOVAIS et al., 2007; FINK et al., 2016). Apesar das elevadas concentrações de P nesses solos (PAVINATO et al., 2021), a maior parte se encontra indisponível para o uso das plantas devido à sua baixa solubilidade (RODRIGUES et al., 2021; SCHIPANSKI e BENETT, 2021).

Para sobreviver em ambientes com baixa concentração de fósforo disponível, as plantas desenvolveram estratégias e mecanismos fisiológicos capazes de lidar com o estresse nutricional tais como, alterações na morfologia das raízes através do aumento no tamanho, densidade e diâmetro dos pelos radiculares (PARENTONI et al., 2011) e associação com fungos micorrízicos arbusculares (STEFFEN et al., 2024). Segundo Kan

et al. (2022), as plantas de cobertura possuem a capacidade de adquirir o P indiretamente, através da simbiose micorrízica e outros microrganismos solubilizadores de P.

2.2 Formas de P no solo

No solo, o fósforo pode ser encontrado na forma inorgânica (Pi), ligado aos minerais ou adsorvido aos coloides do solo e na forma orgânica (Po), composto pela biomassa microbiana e a matéria orgânica (OLIVEIRA, 2024). Nesses grupos, tanto P inorgânico quanto orgânico, há as formas lábeis e não lábeis, que podem variar conforme a interação com o mineral e a estabilidade dos compostos a que estão ligados (ZHU et al., 2016). De modo geral, o fósforo encontrado no solo pode ser subdividido em: P adsorvido aos coloides, principalmente ligados aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), o P precipitado com Al, Fe e Ca, o P ligado à matéria orgânica e o P em solução.

A carência de fósforo, normalmente, está relacionada a solos tropicais que são altamente intemperizados, apresentando baixa disponibilidade do fósforo, sendo um dos nutrientes que mais limitam a atividade agrícola. Isso acontece devido às elevadas taxas de adsorção do P, visto que nesses solos, há a predominância de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) na fração argila (NOVAIS et al., 2007; ASSIS et al., 2022; MOENS et al., 2023). Além da precipitação do P com os íons Fe e Al presentes na solução do solo.

Assim, em solos ácidos o P se precipita com os íons Fe^{2+} e Al^{3+} e em solos alcalinos com os íons Ca^{2+} (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). De modo que essas reações sejam evitadas, a calagem antes da adubação, em solos ácidos, neutraliza o Al^{3+} e uma parte do Fe^{2+} do solo. Porém, o uso exagerado de calcário, eleva o pH acima de 7,0, provocando nova fixação e conseqüentemente, a precipitação do fosfato com o Ca^{2+} (TELES, 2014). Ademais, esses solos possuem elevada acidez e altas quantidades de alumínio trocável (Al), sendo prejudicial para a maioria das culturas (RABEL et al., 2018).

Nos solos tropicais, são aplicadas elevadas doses de fertilizantes fosfatados nas culturas agrícolas, geralmente em doses superiores ao demandado pela cultura (NOVAIS et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2020) ocasionando acúmulo de altas quantidades de fósforo residual (*Legacy P*) no solo (PAVINATO et al., 2020). E embora haja altos aportes de P nesses solos (PAVINATO et al., 2021), a maior parte dele se encontra em baixa solubilidade, ou seja, pouco disponível para a planta (RODRIGUES et al., 2021; SCHIPANSKI e BENNETT, 2021). Segundo Pavinato et al. (2020), em torno de 70% do

fósforo aplicado por meio dos fertilizantes minerais ou orgânicos, acumula-se no solo em formas pouco disponíveis às plantas.

O P ligado à matéria orgânica (Po) é proveniente da decomposição dos resíduos vegetais e animais depositados no solo e da biomassa microbiana. Do total do P presente no solo, cerca de 5 a 80% é P orgânico, o que representa uma fonte importante para as plantas. Tendo em vista que as plantas não conseguem absorver diretamente o P orgânico, é necessário que ele seja mineralizado para torná-lo disponível às plantas (PEREIRA et al., 2021).

O P presente na solução do solo é encontrado nas formas dos ânions H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , sendo que suas concentrações variam de acordo com o pH do solo. Em regiões de solos ácidos, devido ao elevado grau de intemperismo, há o predomínio do íon H_2PO_4^- (CEROZI e FITZSIMMONS, 2016). Em solos alcalinos (pH acima de 7) prevalece a forma HPO_4^{2-} e naqueles extremamente alcalinos, com pH acima de 10, pode ser encontrado o ânion PO_4^{3-} (HAVLIN et al., 2005).

Dessa forma, uma estratégia que viabiliza o acesso e melhora a gestão do P no solo é a utilização de plantas de cobertura nos períodos de pousio que antecedem à cultura principal (HALLAMA et al., 2019; HANSEN et al., 2022; TELES et al., 2017). Estudos mostram que a inserção de plantas de cobertura com alta eficiência na absorção de P, podem auxiliar na reciclagem do nutriente para a próxima cultura além de, reduzir e otimizar o uso de fertilizantes fosfatados (SOLTANGHEISI et al., 2018).

Portanto, o estudo da dinâmica do fósforo no solo é fundamental para compreender a maneira como esse nutriente interage no solo, mediante as diversas práticas de manejo, principalmente àquelas que fazem um aporte de matéria orgânica ao solo, como a utilização de plantas de cobertura em sistema de rotação de culturas.

2.3 Plantas de cobertura

A adoção de plantas de cobertura em rotação com culturas de interesse econômico vem ganhando espaço nas áreas agrícolas do Brasil (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012; TIECHER et al., 2015b). Essa prática tem se tornado frequente pois o cultivo dessas plantas melhora a fertilidade do solo, aumentam a umidade e reduzem a erosão, através da manutenção dos resíduos vegetais no solo, proporcionando um aumento na disponibilidade de nutrientes. (CALEGARI et al., 2013; HALLAMA et al., 2019; BOSELLI et al., 2020).

As culturas de cobertura exercem diversas funções nos ecossistemas, sobretudo na habilidade de aumentar a ciclagem do P, melhorando sua gestão no solo e conseqüentemente, contribuindo para a redução no uso de fertilizantes fosfatados como também, potencializando a absorção do nutriente (LI et al., 2020; QU et al., 2022).

Silva et al. (2021) destacam os benefícios da utilização de plantas de cobertura sobre as propriedades químicas do solo, tais como: alteração no pH do solo, especialmente próximo à superfície, favorece a ciclagem de nutrientes, melhora a capacidade de troca catiônica (CTC), promove a ciclagem e a incorporação de nitrogênio ao sistema; e em relação às leguminosas, proporcionam o aumento da matéria orgânica e compostos húmicos, além da maior saturação por bases se comparado ao pousio.

Essas plantas desenvolveram mecanismos adaptativos capazes de absorver e utilizar o P das frações menos solúveis do solo (ZHANG et al., 2009). Há aumento na relação raiz e parte aérea e na quantidade, forma ou espessura dos pelos radiculares, o que garante uma maior exploração de volume do solo (ZHANG et al., 2014). Visto que o P é um elemento de pouca mobilidade no solo é importante que haja o aumento da superfície radicular de modo a facilitar o acesso ao nutriente (TIECHER et al., 2023). Outras estratégias utilizadas pelas plantas são a liberação de exsudados radiculares (compostos orgânicos de baixo peso molecular) ou de enzimas, como as fosfatases (CHAVARRÍA et al., 2016); e a associação das raízes com fungos micorrízicos arbusculares (STEFFEN et al., 2024).

As espécies de plantas de coberturas sejam elas, leguminosas ou gramíneas, possuem características distintas (ROCHA et al., 2020) como a exploração do solo, uma vez que possuem sistemas radiculares diferentes (TIECHER et al., 2012), a produção de biomassa, a exsudação de compostos mobilizadores de P, além da interação com a comunidade microbiana na raiz (HALLAMA et al., 2019).

Além disso, algumas espécies de plantas de cobertura são capazes de acessar o P residual dos fertilizantes aplicados nas culturas anteriores (Teles et al., 2017). Sendo assim, em um sistema de rotação de culturas, é fundamental a escolha de espécies de cobertura que utilizem de maneira eficiente o P do solo, disponibilizando-o para a cultura subsequente (TIECHER et al., 2015a). Em estudo realizado por Hallama et al. (2019), os autores mencionam a importância de selecionar plantas de cobertura com elevada biomassa e que possuam uma habilidade maior em absorver o P do solo uma vez que, essas características interferem na taxa de mineralização do nutriente, sendo esse efeito mais evidente em sistema de plantio direto.

Dessa forma, o cultivo de plantas de coberturas que possuam uma habilidade maior em absorver e acumular o P em rotação de culturas, pode ser uma estratégia para aumentar a disponibilidade do nutriente no solo (CASALLI, 2012; DALLA COSTA; LOVATO, 2004; GIACOMINI et al., 2003). Como também, compreender os efeitos das plantas de cobertura sobre a dinâmica do P no solo é fundamental e pode contribuir com a utilização eficiente dos fertilizantes fosfatados (CASALI et al., 2016). Ademais, outra estratégia que permite à planta o acesso do fósforo das camadas mais profundas do solo é a associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

2.4 Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) estabelecem uma relação de simbiose mutualística com as raízes das plantas. Essa associação é benéfica pois o fungo aumenta a superfície de absorção de água e nutrientes (principalmente o fósforo) das raízes, enquanto a planta, fornece ao fungo carboidratos para sua sobrevivência. Em torno de 90% das plantas vasculares formam interações micorrízicas (COSTA, 2024; STEFFEN et al., 2024).

Além dessa associação, os fungos micorrízicos, dentre outras funções, atuam também na agregação de partículas do solo, aumento da eficiência fotossintética, contribuem com os estoques de carbono e biomassa microbiana, tornam as plantas mais resistentes ao ataque de patógenos da raiz, funcionam como sinalizadores bioquímicos para outros microrganismos simbiotes no solo entre outros (GIANINAZZI et al., 2010, STEFFEN et al., 2024).

Nesse sentido, culturas produtoras de grãos associam-se às micorrizas arbusculares possibilitando uma constante troca de nutrientes entre a planta e o fungo. Isso acontece, pois, as hifas dos fungos acessam regiões nas quais a raiz da planta não alcançaria, atuando como uma extensão do sistema radicular (STEFFEN et al., 2024). Em geral, as hifas dos FMAs são mais eficazes em adquirir e transportar o P do solo até as raízes, do que o próprio sistema radicular das plantas (SMITH e READ, 2008), sobretudo, onde há baixa disponibilidade do nutriente, como é o caso dos solos brasileiros (BERBARA et al., 2006).

É importante ressaltar que essa interação entre as micorrizas e a planta hospedeira depende da fertilidade do solo, ou seja, solos com baixa fertilidade favorece a colonização

micorrízica (GEORGE; RAY, 2023). Segundo Berude et al. (2015), os fungos micorrízicos são capazes de aumentar em até quatro vezes a taxa de absorção de fosfato pelas raízes.

No que diz respeito ao grau de dependência das espécies de plantas à colonização micorrízica, é classificado como muito alto, médio, baixo ou nulo (GUZMAN et al., 2021), sendo que a soja apresenta alta dependência dessa associação simbiótica (STEFFEN et al., 2024). Ademais, a elevada presença de FMA que se associam com as raízes das leguminosas e interagem com os rizóbios, responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio, formam um sistema de interação tripartite entre planta, fungo micorrízico e rizóbio, que interfere na nodulação em quantidade de nódulos e na biomassa de nódulos secos (LIU et al., 2020; QIN et al., 2023).

Como consequência dessa colonização micorrízica, haverá um maior equilíbrio fisiológico e desenvolvimento vegetal em campo para a cultura da soja. A avaliação de parâmetros agronômicos relacionados à produtividade tais como, índice de área foliar, eficiência fotossintética, nodulação (fixação biológica do nitrogênio) e enraizamento são altamente superiores em plantas nas quais, a taxa de micorrização é elevada (STEFFEN et al., 2024).

Tendo em vista os benefícios dos FMA para as culturas e a adoção de manejos, como a rotação de culturas com o uso de plantas de cobertura, são estratégias importantes que contribuem para a melhoria da fertilidade do solo.

2.5 Glomalina Facilmente Extraível (GFE)

Os fungos micorrízicos produzem uma glicoproteína denominada glomalina, caracterizada por seu comportamento hidrofóbico, termoestável e recalcitrante (resistente à destruição), o que contribui para a estabilidade dos agregados, sequestro de metais pesados e estoque de carbono e nitrogênio do solo (SANCHEZ et al., 2022). A glomalina é produzida por meio da decomposição das hifas dos fungos micorrízicos (SOUSA et al., 2012), pode ser encontrada em seus esporos e adsorvido às raízes das plantas (RILLIG e MUMMEY, 2006).

A glomalina é composta por 60% de carboidratos que se unem a sua porção proteica através de ligações glicosídicas do tipo N, apresentando aminoácidos alifáticos e aromáticos na cadeia peptídica. Foi comprovado que o ferro está ligado fortemente a

essa molécula (0,04-8,8%), sendo o cromóforo transmissor da cor vermelho amarronzada dos extratos (RILLIG et al., 2001, NICHOLS, 2003).

A glomalina tem sido encontrada em diversos solos e em grandes quantidades (NICHOLS, 2003, WRIGHT; UPADHYAYA, 1998). Isso se deve ao fato, de que os FMA colonizam 80% das plantas vasculares e apresentam uma distribuição global (VODNIK et al., 2008). Acredita-se que as elevadas taxas de glomalina presentes no solo, podem ser decorrentes do seu comportamento recalcitrante (RILLING et al., 2001), conseqüentemente, com reduzida taxa de decomposição (STEINBERG; RILLING, 2003).

Os mecanismos que controlam a produção de glomalina pelos FMA, ainda não estão bem elucidados. Porém, fatores que interfiram na simbiose micorrízica podem afetar a produção desta proteína (SOUSA et al., 2012) como por exemplo, a composição da comunidade vegetal (RILLIG; WRIGHT; EVINER, 2002).

Estudos mostraram que em solos sob rotação de culturas com período de pousio, a concentração de glomalina foi menor comparado a solos onde houve cultivo contínuo (WRIGHT; ANDERSON, 2000). A existência de vegetação propicia maior disponibilidade de fotoassimilados, resultando em produção de glomalina pelos FMAs (TRESEDER; TURNER, 2007).

Alguns autores verificaram uma correlação negativa entre o pH do solo e a concentração de glomalina (RILLIG et al., 2003b; HADDAD; SARKAR, 2003a). Os fungos estão propensos a sobreviver em solos ácidos pois, em solos alcalinos há uma concorrência com bactérias e outros organismos. Sendo a glomalina produzida por FMA, supõe-se que a produção dessa proteína será tanto maior quanto mais ácido (pH menor) for o solo (HADDAD; SARKAR, 2003a).

Em solos com elevadas concentrações de P, as taxas de glomalina foram menores (LOVELOCK et al., 2004). Em condições de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente P e N, os sinais moleculares emitidos pela planta hospedeira são prejudicados. Esse fator reduz os sítios de infecção e o estabelecimento da colonização micorrízica, tendo como efeito a diminuição na produção de glomalina pelos FMAs, pois estes dependem dos fotossintatos fornecidos pelas plantas (LOVELOCK et al., 2004a).

De forma genérica, existem duas frações de glomalina no solo: a facilmente extraível (GFE), que representa a fração há pouco depositada no solo e que ainda não sofreu modificações bioquímicas no solo; e a glomalina total (GT), que está fortemente

aderida às argilas, sendo necessárias até sete extrações sequenciais para a sua total remoção em alguns solos (WRIGHT et al., 1996; WRIGHT e UPADHYAYA, 1998).

Para a extração da glomalina, a metodologia proposta por Wright e Upadhyaya (1998), propõe a autoclavagem do solo com solução de citrato de sódio à 20mM pH 7,0 e 50 mM pH 8,0 respectivamente, para extração da glomalina facilmente extraível e glomalina total. A glomalina facilmente extraível é autoclavada por 30 minutos enquanto, para a glomalina total, são realizados vários ciclos de autoclavagem de 60 minutos, até que não apresente o aspecto de glomalina (vermelho-amarronzado) (SOUSA et al. 2012).

Após sua extração, é utilizado o método de Bradford para quantificação da glomalina. Esse protocolo consiste na formação de complexos entre o corante Comasié Brilliant Blue G-250 (CBB) e a proteína albumina bovina sérica, que possui peso molecular semelhante à glomalina, sendo, portanto, usada como padrão (ROSIER; HOYE; RILLING, 2006). Esse complexo corante-proteína causa uma modificação no valor da absorbância, que é equivalente à quantidade de proteína presente na amostra (BRADFORD, 1976).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

O projeto de pesquisa foi desenvolvido na área experimental da Fazenda Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul Campus Naviraí, localizada na rodovia MS 141, km 04, Zona Rural, no Município de Naviraí. As coordenadas geográficas da área são 23° 01' 32'' S, 54° 11' 23'' W, com altitude de 362 m (Figura 1). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018) de textura média (28% de argila).



Figura 1. Vista aérea da área experimental com as plantas de cobertura, localizada na fazenda escola do IFMS, *Campus* Naviraí.

As avaliações foram desenvolvidas no ano agrícola 2022/23, porém desde 2020, a área já era cultivada com culturas anuais, após correção e preparo do solo (em agosto de 2020, foi aplicado 3.100 kg ha⁻¹ de calcário e 1.400 kg ha⁻¹ de gesso agrícola). Desde então, os tratamentos de sucessão de culturas, caracterizado pelo cultivo de soja na primeira safra e plantas de cobertura na segunda safra, foram implantadas todos os anos no mesmo local.

Após a colheita da soja (safra 2021/22), foi realizada a semeadura manual das plantas de cobertura em março de 2022. O milho e braquiária foram semeados com taxa de semeadura de 15 kg ha⁻¹ de sementes e a crotalária e o nabo forrageiro com taxa de semeadura de 30 kg ha⁻¹ de sementes. O milho safrinha foi semeado para atingir a

população final de 60.000 plantas ha⁻¹ com a adubação de 360 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-28-16.

A semeadura da soja foi realizada na segunda quinzena de outubro, em 26 de outubro de 2022, com auxílio de semeadora/adubadora, após a dessecação das plantas de cobertura. Foram semeadas 15 sementes por metro da cultivar 61161 RSF IPRO (com espaçamento entre linhas de 0,5 m).

As adubações na soja foram 270 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, aplicados na linha de plantio; 150 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em cobertura, dividida em duas aplicações de 75 kg ha⁻¹ aplicados nos estádios fenológicos V2 e V4 da soja. No milho foram feitos 400 kg ha⁻¹ de superfosfato simples na linha de plantio e 238 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio em cobertura quando o milho estava em estágio fenológico V4.

Com a finalidade de controlar as plantas daninhas em pós-emergência da soja, foi realizada a aplicação de herbicida à base do ingrediente ativo Glifosato no dia 28 de novembro de 2022.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram arrançados em sistemas de cultivo denominados: T1- Soja/Pousio; T2- Soja/Milheto; T3- Soja/Crotalária (*Crotalaria ochroleuca*); T4- Soja/Nabo forrageiro; T5- Soja/Milho Safrinha e T6- Soja/Milho Safrinha + Braquiária (*Urochloa ruziziensis*).

As parcelas foram constituídas por seis linhas de semeadura de soja, com espaçamento de 0,5 m entre si, e 3 m de comprimento, perfazendo área total de 9 m² (3 x 3 m) e área útil de 2 m², constituída por duas linhas de 0,5 m e 2 m de comprimento (1 x 2 m) (Figura 2).

Os dados climáticos referentes aos valores médios de precipitação pluviométrica e de temperaturas foram obtidos na estação meteorológica da Cooperativa Sul Matogrossense – COPASUL, empresa que possui parceria com o IFMS Campus Naviraí no projeto IFClima, durante os períodos de avaliação do experimento (Figura 3). A estação está localizada a aproximadamente dois quilômetros da área experimental.



Figura 2. Croqui da área experimental antes da semeadura da soja na safra 2022/2023, Naviraí-MS.

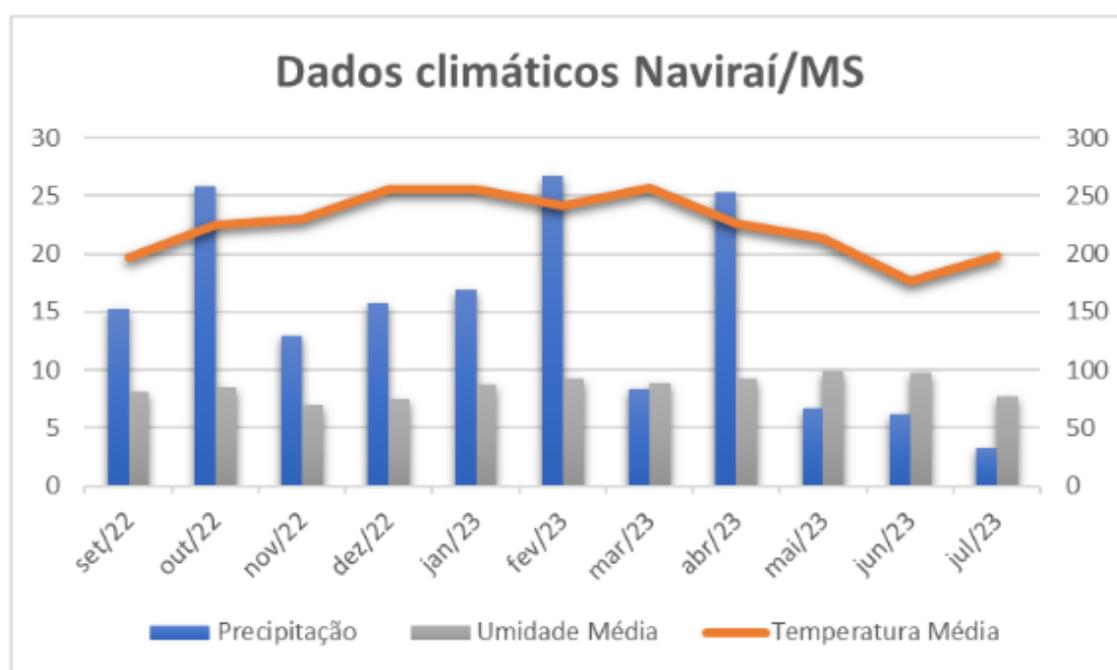


Figura 3. Dados climáticos de precipitação acumulada (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar média (%), Naviraí-MS.

3.3 Coleta e preparo das amostras

3.3.1 Amostragem de solo

As amostras de solo foram coletadas em três períodos: 1- antes da semeadura da soja em 25 de outubro de 2022, 2- no florescimento da soja em 21 de dezembro de 2022

e 3- após a colheita da soja em 26 de maio e 02 de junho de 2023 (a colheita da soja foi realizada no final de fevereiro e início de março/2023).

Para os períodos de antes da semeadura e após a colheita da soja, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, com auxílio do trado holandês. E no florescimento da cultura da soja, foram coletadas amostras de solo na camada 0-0,10 m por parcela. Cada amostra composta foi composta por três subamostras por parcela, de cada camada.

As amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório do Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – *Campus* Naviraí, para secagem do material em temperatura ambiente (terra fina seca ao ar). Posteriormente, as amostras foram analisadas no laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal da Grande Dourados.

3.3.2 Coleta dos trifólios

Para análise da nutrição da planta foram coletadas amostras de trifólios em cada parcela. As coletas de folhas com pecíolo da cultura da soja foram efetuadas no estágio de floração plena, correspondente a R2 (FEHR e CAVINESS, 1977). As amostras foram armazenadas em sacos de papel e secos em estufa a 60°C no laboratório do IFMS-*Campus* Naviraí. Após a secagem do material, as amostras foram trituradas em moinho no Laboratório de Nutrição Animal da UFGD e acondicionadas em sacos plásticos identificados para posterior análise.

3.3.3 Coleta das raízes da soja

As raízes foram coletadas na camada de 0-0,10 m (com uma pá de corte a 0,10 m do caule da planta de modo a obter adequado volume de raízes) por parcela, juntamente com o solo na época do florescimento da cultura da soja. Encaminhadas ao laboratório do IFMS para lavagem e separação das raízes mais finas. Em seguida, foram armazenadas em álcool etílico hidratado 50% e mantidas em geladeira até o momento da análise, para a determinação da taxa de colonização micorrízica.

3.4 Análises

3.4.1 Avaliação dos atributos químicos do solo

As amostras de solo coletadas antes da semeadura da soja e após sua colheita foram submetidas às análises químicas de rotina no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFGD, nos quais foram avaliados os seguintes parâmetros, segundo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017): pH CaCl₂, pH SMP (para determinação da acidez potencial H + Al), cálcio, magnésio, alumínio trocáveis (realizado por titulação), fósforo extraído por Melich-1 (leitura feita em espectrofotômetro), potássio (leitura feita em fotômetro de chama) e matéria orgânica. Os valores da CTC a pH 7,0, soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) foram obtidos por cálculo.

3.4.2 Fósforo Sorção

Para a determinação da capacidade de sorção do fósforo (P_{sor}), em tubos falcon de 15 mL, foram adicionados 0,5 g de solo seco e 10 mL da solução estoque de P (125 mg L⁻¹). Em seguida, as amostras foram submetidas à agitação durante 1 hora a 30 rpm em agitador e após, centrifugadas por 15 minutos a 3600 rpm. O sobrenadante foi recolhido para posterior análise do teor de fósforo e assim determinar, através de cálculo, o índice de capacidade de sorção, segundo metodologia de Gatiboni e Condrón (2021):

$$P_{sor}(\%) = \left(\frac{125 - P}{125} \right) \times 100$$

Os extratos foram submetidos à leitura em espectrofotômetro de absorção a 880 nm, para determinação dos teores de fósforo, de acordo com a metodologia de Murphy e Riley (1962).

3.4.3 Extração da Proteína Relacionada à Glomalina (PRGL)

Nesta análise foram utilizadas amostras de solo nas camadas de 0-0,10 m, nos períodos antes do cultivo da soja, no florescimento e após a colheita. Esta análise procedeu-se no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Para a extração da Glomalina Facilmente Extraível foi utilizada a metodologia descrita por Wright & Upadhyaya (1998), no qual foram pesados um grama de terra fina

seca ao ar (TFSA) em tubos Falcon de 15 mL. Adicionou-se 8 mL da solução de citrato de sódio 20 mM corrigido à pH 7,0. Em seguida, as amostras foram autoclavadas a 121 °C durante 30 minutos. Posteriormente, procedeu-se à centrifugação dos tubos a 7000 rpm por 20 minutos e a retirada do sobrenadante para leitura e quantificação das PRGL.

Para tanto, pipetou-se 100 µL do extrato e adicionou 3 mL do reagente de Bradford. As amostras ficaram em repouso no escuro por 15 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, por absorbância, a 595 nm, conforme metodologia de Bradford (1976).

3.4.4 Taxa de Micorrização

Para a avaliação da taxa de colonização micorrízica, as raízes foram transferidas para tubo falcon devidamente identificados, e adicionou-se solução de hidróxido de potássio 10% (KOH 10%) para clareamento das raízes. Em seguida, foram aquecidas em banho-maria a 90 °C por 30 minutos. As raízes foram então lavadas em água corrente, sendo adicionadas solução de ácido clorídrico 2% (HCl 2%), que foi deixada em repouso durante 30 minutos. A solução é dispensada e em seguida, adicionada a solução colorante de lactoglicerol com azul de tripiano, que foram levadas ao banho-maria por 30 minutos a 60 °C. Para finalizar essa etapa, retirou-se o corante e colocou a solução de armazenamento para posterior determinação da colonização micorrízica. Para o preparo das raízes (clarificação e coloração) utilizou-se a metodologia de Brundrett et al. (1996).

A taxa de colonização micorrízica foi avaliada através da observação em microscópio estereoscópico, pelo método da placa reticulada, segundo metodologia descrita por Giovannetti e Mosse (1980).

3.4.5 Análise química da planta

As amostras dos trifólios, previamente preparados, foram submetidos à digestão nitroperclórica e a digestão de nitrogênio, para determinação dos teores de nutrientes: P, K, Ca, Mg, micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e N, segundo a metodologia de Teixeira et al. (2017).

3.4.6 Avaliação da cultura da soja

A altura de plantas de soja foi medida no momento da colheita, com o auxílio de uma trena, a distância a partir da superfície do solo até a última vagem na haste principal de 10 plantas nas duas linhas centrais, espaçadas de 0,5 m com 2,0 m de comprimento.

Estande final de plantas na pré-colheita, foram contadas o número de plantas de soja nas duas linhas centrais, espaçadas de 0,5 m com 2,0 m de comprimento, em todas as parcelas. Os valores médios extrapolados para plantas ha^{-1} .

Número de vagens por planta foi determinado com a contagem do número total de vagens de 10 plantas de soja amostras do total de plantas da área útil. O valor total de vagens dividido por 10. Número de grãos por vagem, foram amostradas 50 vagens de 10 plantas de soja amostras do total de plantas da área útil. E o número total de grãos dividido por 50.

Massa de mil grãos determinado a partir de toda soja colhida na área útil, sendo pesadas quatro amostras de 100 grãos em balança de precisão. Os valores médios foram extrapolados em gramas de 1000 grãos.

A produtividade da soja foi realizada durante a colheita. As plantas da parcela útil colhidas de modo manual e trilhadas em equipamento estacionário. As amostras de cada parcela foram pesadas e amostras retiradas para determinação da umidade dos grãos por método não destrutivo indireto por capacitância digital (BRASIL, 1992). As produtividades corrigidas para 13% de umidade para a soja e extrapoladas para kg ha^{-1} .

3.5 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) aplicando-se o teste F, e a comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011). A análise multivariada foi realizada a partir de correlação por meio da Análise de Componentes Principais (PCA). As análises foram feitas com o software PAST (HAMMER et al., 2001). Para a escolha das variáveis para a análise multivariada procedeu-se a exclusão de variáveis com ausência de correlação entre si e as que apresentavam relação de interdependência direta com variáveis originais do estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Atributos químicos do solo

Os resultados da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,10 m, antes e após o cultivo da soja, estão apresentados no Quadro 1. O efeito dos tratamentos foi significativo para as variáveis: matéria orgânica, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. Com relação à época de amostragem, os valores foram significativos para o P, Ca, H + Al e V%. O resultado da interação entre os tratamentos e as épocas de coleta de solo foram significativos apenas para o K.

Para matéria orgânica, houve diferença significativa entre os tratamentos. A crotalária e o pousio diferiram dos demais tratamentos, apresentando os maiores teores de MO.

A crotalária é conhecida por sua alta produção de biomassa (aérea e radicular), o que contribui para o acúmulo de MO no solo, além de associar-se a bactérias fixadoras de nitrogênio, o que melhora a fertilidade do solo. A consequência será o acúmulo de resíduos ricos em nitrogênio, acelerando a formação de matéria orgânica estável. Em estudo realizado no município de Santarém (PA) por Rebelo Pimentel et al. (2024), avaliaram a produção de biomassa de crotalária (*Crotalaria juncea*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e estilosante (*Stylosanthes macrocephala*) para adubação verde. A crotalária destacou-se por apresentar a maior produção de biomassa fresca ($1,43 \pm 1,2$ t ha⁻¹) e seca (0,46 t ha⁻¹ e 0,21 t ha⁻¹) na parte aérea da planta.

Corroborando com o exposto inicialmente, a crotalária além de proporcionar alta produção de biomassa e maior teor de MO, o que contribui para a fertilidade do solo, também, favorece a ciclagem de nutrientes em especial o N, através de bactérias fixadoras resultando no uso eficiente de fertilizantes nitrogenados (SILVA et al., 2017).

Além disso, a crotalária apresenta equilíbrio entre compostos de rápida decomposição e lignina que pode proporcionar liberação gradual de carbono e nutrientes, mantendo nível elevado de matéria orgânica ao longo do tempo. Já as gramíneas como milho e milheto têm C/N mais alta, o que leva a decomposição mais lenta e menor incorporação imediata de MO. A braquiária, apesar de contribuir para a formação de MO no longo prazo, possui material mais fibroso, que demora mais para se transformar em matéria orgânica estável.

Quadro 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do solo, da camada de 0-0,10 m, do pH (água e CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

FV	GL	Variáveis										
		F calculado										
		pH água	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %
		----- cmol _c dm ⁻³ -----										
Tratamento (Trat)	5	0,0693ns	0,0711ns	0,0117**	0,1093ns	0,0633ns	0,0000**	0,0081**	0,0503ns	0,0000**	0,0002**	0,0003**
Bloco	3	0,0988	1,1016	0,1087	0,7073	0,0113	0,7351	0,1940	0,0264	0,4648	0,3907	0,0622
Epoca (Ep)	1	0,1269ns	0,1256ns	0,8652ns	0,0001**	0,0000**	0,0398*	0,9973ns	0,0004**	0,2853ns	0,0849ns	0,0035**
TxEp	5	0,7115ns	0,7124ns	0,9418ns	0,8201ns	0,0325*	0,2832ns	0,4779ns	0,8012ns	0,3619ns	0,7069ns	0,4975ns
Erro	33											
CV (%)		4,36	5,79	14,51	28,83	22,08	19,57	29,13	19,51	21,43	11,92	14,17
MG		5,55	4,82	23,84	33,75	0,085	1,86	0,803	2,20	2,75	4,95	55,06
Tratamento												
Pousio		4,48 a	4,73 a	25,45 a	30,00 a	0,082 a	2,05 a	0,83 b	2,60 a	2,96 a	5,56 a	53,56 b
Milheto		5,50 a	4,76 a	22,75 b	32,02 a	0,078 a	1,77 b	0,82 b	2,14 a	1,67 b	4,81 b	55,47 b
Crotalária		5,63 a	4,91 a	27,37 a	32,96 a	0,092 a	2,22 a	1,08 a	1,96 a	3,39 a	5,35 a	63,16 a
Nabo forrageiro		5,78 a	5,08 a	23,94 b	28,36 a	0,094 a	2,44 a	0,81 b	1,98 a	3,35 a	5,33 a	62,90 a
Milho safrinha		5,52 a	4,78 a	20,89 b	40,42 a	0,069 a	1,47 c	0,63 b	2,17 a	2,17 b	4,33 b	48,95 b
Milho safrinha+braquiária		5,42 a	4,66 a	22,66 b	38,64 a	0,093 a	1,23 c	0,65 b	2,33 a	1,98 b	4,31 b	46,30 b
Época												
Antes		5,50 a	4,76 a	23,93 a	40,19 a	0,105 a	1,75 b	0,80 a	2,44 a	2,66 a	5,10 a	51,51 b
Depois		5,61 a	4,88 a	23,76 a	27,31 b	0,064 b	1,98 a	0,80 a	1,95 b	2,85 a	4,80 a	58,60 a

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coeficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

A *Crotalaria ochroleuca* apresenta sistema radicular profundo o que promove o rompimento de camadas compactadas do solo, produz elevada quantidade de fitomassa (cerca de 20 a 30 toneladas de massa verde e 7 a 10 toneladas massa seca por hectare). Além da capacidade de fixação de nitrogênio, fixando anualmente de 90 a 140 kg ha⁻¹ (LIMA FILHO et al., 2023).

Estudo realizado por Oliveira (2025), avaliou a produção, decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de braquiária, crotalaria e milho, isolado ou consorciado, em áreas de 9 e 23 anos em sistema de plantio direto (SPD). Demonstrou que a crotalaria apresentou a maior taxa de decomposição dos resíduos e o milho a decomposição mais lenta. Mencionou que isso pode ter ocorrido pois as espécies Fabáceas (leguminosas) possuem menor relação C/N, consequência do menor teor de lignina na sua composição como também, pela capacidade de fixação de nitrogênio, o que contribui para rápida decomposição em relação às Poáceas (gramíneas) (PACHECO et al., 2011; 2013; MAZETTO JUNIOR et al., 2019; TORRES et al., 2019, 2021, 2022).

Nas gramíneas a relação C/N é alta (superior a 30), indicando que há mais carbono (C) e menos nitrogênio (N) na sua fitomassa como também, possui alta quantidade de lignina. Consequentemente seus resíduos vegetais são estáveis e de decomposição lenta, o que favorece a competição do N disponível às culturas de sucessão por microrganismos decompositores. Em virtude disso, quanto maior a concentração de lignina em uma espécie, maior o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) (LIMA FILHO et al., 2023).

No pousio há menor perturbação do solo e decomposição mais lenta da MO, o que pode explicar os maiores teores em relação aos demais tratamentos. Outra hipótese seria o fato de que na área houve a infestação de plantas daninhas com a presença de capim amargoso, justificando o elevado teor de matéria orgânica nesse sistema.

Por fim, o manejo com plantas de cobertura pode influenciar na composição química e na estrutura da Matéria Orgânica do Solo (MOS), favorecendo a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo (LI et al., 2020).

Quanto aos teores de cálcio no solo, os resultados demonstraram diferença significativa entre os sistemas e que o milho apresentou valor intermediário entre os maiores e menores teores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. De maneira geral, a variação desse nutriente no solo foi de 1,23 cmol_c dm⁻³ (consórcio milho safrinha e braquiária) a 2,44 cmol_c dm⁻³ (nabo forrageiro).

Os teores de Ca estão adequados para o desenvolvimento das plantas anuais, exceto no consórcio milho safrinha e braquiária (1,23 cmol_c dm⁻³), que está abaixo do

recomendado (SOUZA e LOBATO, 2004), provavelmente devido à maior exportação do nutriente. Como citado anteriormente, os menores teores do nutriente foram observados no solo cultivado com milho safrinha e no consórcio milho safrinha e braquiária, no outono-inverno. Nestes tratamentos não foi observada diferença significativa entre si, porém diferiram dos demais. Esses sistemas produtivos são complexos e por isso, as exigências nutricionais são maiores.

Os tratamentos com nabo forrageiro, crotalária e pousio proporcionaram as maiores concentrações de cálcio e diferiram dos demais tratamentos. Segundo Teles (2014), as variações nos teores de Ca nas plantas de cobertura nas camadas superficiais, podem ocorrer devido às diferentes capacidades de retorná-lo ao solo, por meio da decomposição dos resíduos ou à capacidade diferenciada das plantas em absorvê-lo do solo.

Com relação ao elevado teor de cálcio no pousio, nessa área houve a aplicação de superfosfato simples com 16% de Ca, o que pode estar associado à menor exportação do nutriente devido à menor produtividade da soja. Conforme EL-Nagar et al. (2019), a adubação com superfosfato simples promove o aumento nos níveis de cálcio no solo, visto que no fertilizante, a concentração do nutriente está em torno de 16%.

Avaliando o efeito dos tratamentos sobre o magnésio (Mg), a crotalária apresentou a maior concentração do nutriente no solo ($1,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os teores de Mg para todos os tratamentos estão na faixa considerada adequada para o desenvolvimento das plantas anuais (SOUZA e LOBATO, 2004).

Os resultados obtidos para a soma de bases (SB) apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo. A crotalária diferiu estatisticamente de todos os tratamentos exceto, o nabo forrageiro e o pousio, por consequência dos maiores valores dos cátions neste caso, Ca^{2+} e Mg^{2+} (SB representa a soma dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+).

O efeito dos tratamentos para a CTC foram significativos. Os sistemas de manejo com os maiores valores foram o pousio, a crotalária e o nabo forrageiro que diferiram dos tratamentos com milheto, milho safrinha e consórcio, que apresentaram os menores valores. No pousio, há menor mobilização do solo e decomposição mais lenta da matéria orgânica, o que pode favorecer o acúmulo de cargas negativas e aumentar a CTC ao longo do tempo. Diferente das áreas com plantas de cobertura, onde há extração e redistribuição de nutrientes pelo crescimento vegetal, no pousio há menor demanda de nutrientes, reduzindo a exportação de cátions e mantendo-os disponíveis na solução do solo.

Para a saturação por bases (V%) o tratamento com crotalária e nabo forrageiro diferiram dos demais tratamentos, sendo justificado pelo maior teor de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A saturação por bases é a relação entre a SB e a CTC, sendo um importante indicador da fertilidade do solo. Assim, solos considerados férteis possuem um V% maior ou igual a 50% (nestes os valores de bases são altos principalmente o cálcio, que influencia positivamente no crescimento radicular). Nesse caso, o solo apresenta baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e a maioria das cargas negativas dos coloides estão sendo ocupadas (neutralizadas) por H^+ e Al^{3+} . De maneira geral, as culturas apresentam uma produtividade desejada quando o valor de V% está entre 50 e 80% e pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2020).

No que diz respeito às épocas de amostragem, as variáveis P, K, Ca, H+Al e V% obtiveram resultados significativos estatisticamente (Quadro 1). Com relação ao P, a concentração do nutriente foi maior ($40,19 \text{ mg dm}^{-3}$) antes do cultivo da soja e menor ($27,31 \text{ mg dm}^{-3}$) após a colheita, ou seja, houve diminuição de $12,88 \text{ mg dm}^{-3}$ (aprox. 32% de redução). Segundo Souza e Lobato (2004), as médias dos teores de P estavam altas antes da soja e passou para adequado após o cultivo. Assim como o P, os teores de K também diminuíram após a colheita da soja devido à maior utilização desses nutrientes pela cultura.

Quanto aos valores de cálcio e V%, a concentração foi maior após a colheita da soja pois, o cálcio (Ca) tem uma relação direta com o valor de saturação por bases (V%). O V% representa a proporção da capacidade de troca catiônica (CTC) ocupada por cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+). Assim, o aumento na concentração de Ca após a colheita da soja (de $1,75$ para $1,98 \text{ cmolc dm}^{-3}$) pode contribuir para o aumento do V%, especialmente se houver aumento proporcional na soma de bases (SB) sem acréscimo significativo (H+Al). Como o Ca é um dos principais cátions responsáveis pela elevação da saturação por bases, o incremento na sua concentração após a colheita pode ter influenciado diretamente no aumento do V% (SOUZA e LOBATO, 2004).

Além disso, o aumento do Ca pode estar relacionado com a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo, processos que ocorrem ao longo do ciclo da cultura. Os teores da acidez potencial (H+Al) foram menores após o cultivo da soja, sendo justificado pelos maiores teores de cálcio e V% neste período.

Os resultados das alterações dos teores de Ca, Mg, SB, CTC e V%, na camada 0-0,1 m (Quadro 2). A partir dos dados avaliados para o Ca, antes da semeadura, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que a crotalária ($2,28 \text{ cmolc dm}^{-3}$) e o

nabo forrageiro ($2,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) apresentaram os maiores teores do nutriente e diferiram dos demais tratamentos. Após o cultivo da soja, os teores de Ca foram maiores que inicialmente. O milho safrinha e o consórcio apresentaram as menores concentrações de Ca, após a colheita, e diferiram estatisticamente dos outros tratamentos.

Durante o ciclo da soja, a decomposição de raízes e restos vegetais pode liberar Ca no solo, aumentando sua disponibilidade. A soja promove intensa atividade microbiana na rizosfera, o que pode acelerar a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes, incluindo o cálcio.

Somente no tratamento milho safrinha + braquiária que o teor de Ca estava baixo, para os demais tratamentos, os teores médios de Ca permaneceram na faixa adequada (SOUZA e LOBATO, 2004), mesmo após o cultivo da soja.

O teor de magnésio, antes da semeadura, apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo que a crotalária diferiu dos demais tratamentos e apresentou maior teor do nutriente no solo.

A crotalária (*Crotalaria* spp.) é uma leguminosa que produz alta quantidade de biomassa, e sua decomposição libera nutrientes no solo, incluindo magnésio. Esse processo pode ter aumentado os teores disponíveis de Mg após o cultivo. A crotalária tem um sistema radicular profundo e agressivo, que pode ajudar na reciclagem de nutrientes. O magnésio que pode estar em camadas mais profundas do solo, pode ser absorvido pelas raízes e redistribuído para a parte aérea da planta. Após sua decomposição, esse nutriente fica mais disponível na camada superficial.

Para a acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), após a colheita, o consórcio diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando o menor valor. Com relação à soma de bases (SB), antes do cultivo da soja, os tratamentos com crotalária ($3,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e nabo forrageiro ($3,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Após a colheita, o milho safrinha e o consórcio apresentaram os menores teores e diferiram dos outros tratamentos.

Quadro 2. Alterações nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) do solo, da camada de 0-0,10 m, antes e após o cultivo da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

Plantas que antecederam o cultivo da soja	P		Ca		Mg		H+Al		SB		CTC		V	
	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----										----- % -----	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Pousio	37,99 a	28,70 a	1,69 b	2,41 a	0,74 b	0,91 a	2,92 a	2,27 a	2,53 b	3,39 a	5,46 a	5,67 a	46,57 b	60,55 a
Milheto	33,34 a	28,70 a	1,58 b	1,97 a	0,79 b	0,85 a	2,35 a	1,92 a	2,48 b	2,86 a	4,83 b	4,78 a	51,15 b	59,80 a
Crotalária	40,31 a	25,60 a	2,28 a	2,16 a	1,21 a	0,92 a	2,03 a	1,89 a	3,62 a	3,17 a	5,65 a	5,06 a	63,50 a	62,82 a
Nabo forrageiro	33,10 a	23,62 a	2,43 a	2,46 a	0,86 b	0,76 a	2,20 a	1,75 a	3,40 a	3,29 a	5,61 a	5,05 a	60,75 a	65,05 a
Milho safrinha	50,05 a	30,99 a	1,41 b	1,52 b	0,59 b	0,66 a	2,42 a	1,92 a	2,08 b	2,25 b	4,49 b	4,17 b	46,27 b	51,62 b
Milho safrinha + braquiária	44,38 a	32,90 a	1,12 b	1,35 b	0,62 b	0,69 a	2,70 a	1,96 b	1,85 b	2,11 b	4,55 b	4,07 b	40,82 b	51,77 b

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Em ambos os períodos, os valores da CTC e V% para o milho safrinha e o consórcio, apresentaram as menores taxas e diferiram dos demais tratamentos. Nesses sistemas foram inseridas duas adubações, o que pode ter interferido no resultado.

Os teores de potássio (K^+) no solo, antes e após o cultivo da soja, estão apresentados no Quadro 3. Os resultados demonstraram que, antes da semeadura da soja, os teores de potássio variaram entre 0,073 e 0,123 $cmol_c dm^{-3}$ e após o cultivo da soja de 0,044 e 0,074 $cmol_c dm^{-3}$. De maneira geral, observou-se redução nos teores de potássio entre as épocas de amostragem (antes e após o cultivo da soja), exceto, o pousio e o milho safrinha, que não diferiram estatisticamente em relação aos valores iniciais. Essa redução pode estar relacionada à absorção do potássio pelas plantas de cobertura e à exportação do nutriente pela cultura da soja.

Quadro 3. Alterações nos teores de potássio (K) do solo, da camada de 0-0,10 m, antes e após o cultivo da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

Plantas que antecederam o cultivo da soja	Potássio	
	----- $cmol_c dm^{-3}$ -----	
	Antes	Depois
Pousio	0,094 bA	0,069 aA
Milheto	0,112 aA	0,044 aB
Crotalária	0,123 aA	0,062 aB
Nabo forrageiro	0,114 aA	0,074 aB
Milho safrinha	0,073 bA	0,065 aA
Milho safrinha + braquiária	0,114 aA	0,073 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada variável, não diferem significativamente entre si (Tukey a 5%).

Antes da semeadura da soja, os maiores teores iniciais de potássio foram observados nos tratamentos com crotalária, milheto, nabo forrageiro e milho safrinha consorciado com braquiária, que não diferiram entre si.

Esses resultados podem estar relacionados: a crotalária e milheto são plantas que acumulam potássio em suas folhas e raízes. Quando essas plantas são incorporadas ao solo após a colheita (através da decomposição da biomassa), o K é liberado de volta ao solo. Esse processo aumenta a quantidade de potássio disponível para as plantas subsequentes. O milheto e o nabo forrageiro também tem raízes profundas, o que pode ajudar a mobilizar o K de camadas mais profundas do solo e torná-lo disponível para outras plantas após a decomposição. Quando o milho safrinha é consorciado com

braquiária, há uma melhoria na cobertura do solo e no manejo da fertilidade, o que contribui para a maior retenção de nutrientes, incluindo o potássio.

O pousio e o milho safrinha diferiam dos demais tratamentos apresentando os menores teores de K. Nesse sentido, a importância da planta de cobertura em tornar o nutriente mais disponível para a próxima cultura.

Após o cultivo da soja, houve uma diminuição nos teores de potássio no solo em todos os sistemas. Porém, essa redução foi significativa estatisticamente para os tratamentos: milheto, crotalária, nabo forrageiro e milho safrinha consorciado com braquiária. A maior redução foi observada no milheto ($0,068 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e numericamente os dados da exportação na safra 22/23 demonstraram que o balanço foi negativo. Ou seja, está havendo mais exportação do nutriente do que entrada no solo, o que é feito geralmente por adubação. Se esse cenário permanecer, o potássio nesse tratamento passará a ser um fator limitante para a produtividade.

Diante do exposto, o balanço de nutrientes é outro conceito fundamental para a fertilidade do solo (OLIVEIRA, 2017; RESENDE, 2022) e está relacionado a entrada e saída de nutrientes do solo (DICK, 2016; ESUBALEW et al., 2023). As plantas retiram os nutrientes do solo para o seu desenvolvimento e com isso reduzem os estoques naturais. E se esses não forem restituídos ao solo, com o tempo a fertilidade tende a diminuir (RAWAL et al., 2022; RESENDE et al., 2019). No entanto, se houver nutriente excedente no solo (maior que a demandada pela cultura), eles podem ser perdidos por lixiviação além de contaminar águas subterrâneas ou superficiais (KULKARNI; GOSWAMI, 2019).

Como citado anteriormente, os tratamentos com pousio e milho safrinha mantiveram os valores similares e não diferiram entre si. Isso indica que os sistemas ainda não estavam no nível crítico, havendo necessidade de adubação de correção e manutenção.

Os resultados da análise de variância para os atributos químicos do solo (pH água, pH CaCl_2 , matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) na camada 0,10-0,20 m, estão apresentados no Quadro 4. Foi possível observar que o efeito dos tratamentos foi significativo para as variáveis Ca ($p < 0,01$), SB ($p < 0,01$) e V% ($p < 0,01$).

Quadro 4. Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do solo, da camada de 0,10-0,20 m, do pH (água e CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

FV	GL	Variáveis										
		F calculado										
		pH água	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %
		----- Cmol _c dm ⁻³ -----										
Tratamento (Trat)	5	0,0947ns	0,0929ns	0,0525ns	0,0716ns	0,1333ns	0,0046**	0,0911ns	0,1881ns	0,0155**	0,1724ns	0,0223**
Bloco	3	0,2136	0,2193	0,0042	0,3490	0,0405	0,9839	0,7732	0,0233	0,9712	0,0697	0,4792
Epoca (Ep)	1	0,0193**	0,0192**	0,0566ns	0,0177**	0,0002**	0,0032**	0,0723ns	0,0001**	0,0134**	0,1340ns	0,0004**
TratxEp	5	0,7944ns	0,8018ns	0,9617ns	0,9120ns	0,0093**	0,4545Ns	0,5340ns	0,7414ns	0,5022ns	0,6499ns	0,6690ns
Erro	33											
CV (%)		4,68	10,76	14,51	50,19	26,07	28,82	38,66	21,83	30,86	13,56	24,21
MG		5,43	20,86	23,84	23,34	0,050	1,23	0,48	2,38	1,75	4,14	42,28
Tratamento (T)												
Pousio		5,45 a	4,70 a	22,50 a	16,99 a	0,045 a	1,28 a	0,50 a	2,51 a	1,83 a	4,34 a	42,98 a
Milheto		5,41 a	4,65 a	20,00 a	28,18 a	0,045 a	1,25 a	0,48 a	2,30 a	1,77 a	4,08 a	43,47 a
Crotalária		5,58 a	4,85 a	21,63 a	19,46 a	0,055 a	1,54 a	0,63 a	2,24 a	2,23 a	4,47 a	50,04 a
Nabo forrageiro		4,55 a	4,82 a	21,38 a	16,76 a	0,059 a	1,41 a	0,49 a	2,18 a	1,96 a	4,14 a	46,75 a
Milho safrinha		5,35 a	4,58 a	19,00 a	29,32 a	0,044 a	1,03 b	0,39 a	2,26 a	1,47 b	3,73 a	38,25 b
Milho safrinha+braquiária		5,24 a	4,45 a	20,67 a	29,32 a	0,050 a	0,84 b	0,36 a	2,80 a	1,26 b	4,05 a	32,17 b
Época												
Antes		5,34 b	4,57 b	21,50 a	27,56 a	0,057 a	1,06 b	0,43 a	2,71 a	1,55 b	4,26 a	36,41 b
Depois		5,52 a	4,78 a	20,22 a	19,12 b	0,042 b	1,39 a	0,53 a	2,05 b	1,96 a	4,01 a	48,15 a

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coeficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Com relação à época de amostragem (antes do plantio ou após a colheita da soja), houve diferenças significativas para o pH em água, pH CaCl₂, P, K, Ca, H+Al, SB e V%. Além disso, a interação entre os tratamentos e as épocas de amostragem foi significativo apenas para o K ($p < 0,01$).

Os teores de Ca, SB e V% estão correlacionados, sendo os menores valores para o milho safrinha e o consórcio, que se diferenciaram dos demais tratamentos. Para o cálcio, houve maior exportação desse nutriente nos dois sistemas milho safrinha e consórcio tanto na camada 0,10-0,20 m (1,03 e 1,84 cmol_c dm⁻³ respectivamente) quanto na 0-0,10m (1,47 e 1,23 cmol_c dm⁻³). É possível notar, que esses dois sistemas exigiram mais do solo.

Ademais, no que diz respeito à época de coleta, o pH em água e o pH CaCl₂ foram maiores após a colheita da soja, o que levou a uma diminuição no teor de H + Al nesse mesmo período (2,05 cmol_cdm⁻³).

O P e o K apresentaram os maiores teores antes do plantio de soja em sucessão às culturas de coberturas, demonstrando que a rotação de culturas com plantas de cobertura torna esses mais disponíveis para utilização da cultura subsequente.

Com relação ao Ca, SB e V% a maior concentração de cada variável foi após a colheita. E para a acidez potencial (H+Al), que possui correlação com o pH CaCl₂ e Al³⁺, a maior concentração foi para o período antes do plantio.

Os resultados para os atributos químicos (pH água, pH CaCl₂, P, Ca, H+Al, SB e V%), na camada 0,10-0,20 m, nos dois períodos de coleta de solo estão demonstrados no Quadro 5. Tanto o pH em água quanto o pH CaCl₂, nos dois períodos analisados, não apresentaram diferença significativa.

Os teores de cálcio no solo, após a colheita da soja, apresentaram diferença significativa entre os sistemas de manejo. As maiores concentrações do nutriente foram obtidos nos tratamentos com nabo forrageiro, crotalária e pousio.

Os resultados obtidos para os teores de K no solo, na camada 0,10-0,20 m, estão representados no Quadro 6. Entre os períodos avaliados, houve diferença significativa na concentração de K para os tratamentos milheto, crotalária e nabo forrageiro. Para o milheto houve uma variação no teor de K de 0,031 cmol_c dm⁻³ (0,060-0,029), para a crotalária 0,033 cmol_c dm⁻³ (0,071-0,038) e para o nabo forrageiro 0,029 cmol_c dm⁻³ (0,074-0,045), ou seja, foram os tratamentos em que a soja absorveu mais potássio do solo.

Quadro 5. Alterações nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) do solo, da camada de 0,10-0,20 m, antes e após o cultivo da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí-MS.

Plantas que antecederam o cultivo da soja	pH H ₂ O		pH CaCl ₂		P ----- mg dm ⁻³ -----		Ca ----- Cmol _c dm ⁻³ -----		H+Al -----		SB		V ----- % -----	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Pousio	5,33 a	5,56 a	4,57 a	4,83 a	21,07 a	12,91 a	0,98 a	1,58 a	2,90 a	2,12 a	1,43 a	2,24 a	33,60 a	52,35 a
Milheto	5,35 a	5,47 a	4,58 a	4,72 a	36,48 a	19,88 a	1,21 a	1,28 b	2,51 a	2,09 a	1,78 a	1,76 a	41,42 a	45,52 a
Crotalária	5,60 a	5,57 a	4,87 a	4,84 a	22,98 a	15,93 a	1,50 a	1,59 a	2,40 a	2,08 a	2,22 a	2,24 a	47,42 a	52,65 a
Nabo forrageiro	4,54 a	5,65 a	4,70 a	4,93 a	20,44 a	13,08 a	1,11 a	1,72 a	2,49 a	1,87 a	1,59 a	2,33 a	39,25 a	54,25 a
Milho safrinha	5,22 a	5,48 a	4,43 a	4,73 a	33,63 a	20,01 a	0,84 a	1,23 b	2,62 a	1,90 a	1,18 a	1,76 a	31,27 a	45,22 a
Milho safrinha + braquiária	5,08 a	5,39 a	4,27 a	4,63 a	30,74 a	27,89 a	0,74 a	0,93 b	3,33 a	2,26 a	1,09 a	1,42 a	25,47 a	38,87 a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Quadro 6. Alterações nos teores de potássio (K) do solo, da camada de 0,10-0,20 m, antes e após o cultivo da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

Plantas que antecederam o cultivo da soja	Potássio cmol _c dm ⁻³	
	Antes	Depois
Pousio	0,046 bA	0,043 aA
Milheto	0,060 aA	0,029 aB
Crotalária	0,071 aA	0,038 aB
Nabo forrageiro	0,074 aA	0,045 aB
Milho safrinha	0,041 bA	0,047 aA
Milho safrinha + braquiária	0,051 bA	0,048 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada variável, não diferem significativamente entre si (Tukey, 5%).

Antes da semeadura da soja, os tratamentos apresentaram diferença significativa sendo a variação de 0,041 (milho safrinha) a 0,074 cmol_c dm⁻³ (nabo forrageiro). O milho safrinha, o pousio e o consórcio apresentaram os menores valores e diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Pode-se inferir que o cultivo de nabo forrageiro, crotalária e milheto contribuem com a disponibilidade de K para a cultura subsequente.

Observou-se também que no pousio, a variação na quantidade de K no solo antes e depois foi de 0,003 cmol_c dm⁻³ (0,046-0,043), praticamente estável e ineficiente com baixa produtividade. Demonstrando a importância da planta de cobertura para a manutenção de K no solo.

4.2 Quantificação da Glomalina Facilmente Extraível (GFE)

Os resultados da análise de variância para os teores de glomalina no solo (Quadro 7), demonstraram que houve efeito significativo apenas, para as épocas de avaliação (P<0,01).

Os teores de proteína relacionada à glomalina (PRGL) foram aumentando progressivamente durante os períodos de amostragem, sendo menores antes do plantio da soja (36,65 mg g⁻¹), aumentando consideravelmente no florescimento (49,29 mg g⁻¹) e por fim, após a colheita (51,53 mg g⁻¹). Indicando que a variação na concentração de glomalina no solo pode ter sido influenciada pela cultura da soja (o estágio fenológico do florescimento da soja).

Quadro 7. Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável Glomalina Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST) e época de avaliação (EP). Naviraí- MS.

FV	GL	Variável
		F calculado
Tratamento (T)	5	0,5640ns
Bloco	3	0,0022
Época (EP)	2	0,000**
TxEP	10	0,9471ns
Erro	15	
CV (%)		10,68
MG		45,82
Época		
Antes		36,65 b
Florescimento		49,29 a
Depois		51,53 a

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coefficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade.
Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Como citado anteriormente, o aumento de glomalina no período de florescimento da soja, pode ter sido influenciada pelo ciclo da soja e seu estágio fenológico. Nesse período, pode ser que haja maior atividade (simbiose) entre o fungo micorrízico e a raiz da soja, conseqüentemente aumentado a produção de glomalina pelos FMA. Pode-se inferir que há correlação positiva entre a concentração de glomalina e o cultivo da soja, evidenciando que para a soja, essa simbiose é benéfica.

Durante o florescimento e no final do ciclo da soja, a soja tende a apresentar maior desenvolvimento da parte aérea, com raízes mais profundas e mais distribuídas. Esse desenvolvimento favorece maior interação com os fungos micorrízicos arbusculares, que formam simbioses com as raízes das plantas.

Esses fungos, por sua vez, produzem glomalina como parte do processo de formação de suas estruturas de micélio, que ajudam na captura e transferência de nutrientes, como fósforo e outros cátions, para a planta. Nesses períodos, as plantas também têm maior demanda por nutrientes, o que aumenta a atividade micorrízica, resultando na maior produção de glomalina. Nos estágios mais avançados do ciclo da soja, como o florescimento e o final do ciclo, os fungos micorrízicos formam estruturas mais complexas, como o micélio e esporos, que exigem a produção de glomalina para se estabilizarem no solo.

O teor de glomalina facilmente extraível antes, no florescimento e após o cultivo da soja estão apresentados no Quadro 8. Em relação aos tratamentos, os resultados não diferiram estatisticamente.

Entretanto, é possível observar que houve um incremento maior de glomalina nas culturas de cobertura para todos os tratamentos nos três períodos avaliados em relação ao pousio. Isso mostra a importância da cobertura vegetal para o solo, seja planta de cobertura ou cultura principal. Pode-se inferir que a presença de vegetação, aumenta atividade dos microrganismos no solo, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares, produtores da glomalina. A presença de cobertura vegetal aumenta a disponibilidade de fotossintatos para os fungos micorrízicos arbusculares, o que contribui para a produção de glomalina por esses microrganismos (TRESEDER; TURNER, 2007).

Quadro 8. Alterações na glomalina antes, no florescimento e após o cultivo da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

Tratamento (T)	Glomalina (mg g ⁻¹ solo seco)		
	Antes	Florescimento	Depois
Pousio	33,49 a	48,55 a	53,69 a
Milheto	36,82 a	47,82 a	51,69 a
Crotalária	36,78 a	49,44 a	50,19 a
Nabo forrageiro	36,12 a	48,72 a	49,45 a
Milho safrinha	36,22 a	50,16 a	50,78 a
Milho safrinha + braquiária	40,46 a	51,06 a	53,37 a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$).

4.3 Taxa de Micorrização

Os resultados obtidos a partir da análise de variância para a taxa de micorrização estão demonstrados no Quadro 9. Houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo a crotalária e o pousio os que apresentaram as maiores taxas de colonização micorrízica e diferiram dos demais tratamentos.

Ao avaliar o efeito dos sistemas de manejo sobre a produtividade da soja, nota-se que no tratamento com crotalária a produtividade foi maior (4.868,69 kg ha⁻¹). Podendo-se inferir, que a taxa de colonização micorrízica pode estar ligada ao fator produtividade. Ramos (2021), ao avaliar o efeito das micorrizas nos tratamentos estudados, mencionou que as maiores médias de produtividade corresponderam às maiores taxas de micorrização.

Quadro 9. Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável taxa de micorrização. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí-MS.

	FV	GL	Variável F calculado
Tratamento (T)		5	0,0031**
Bloco		3	0,5602
Erro		15	
CV (%)			8,03
MG			69,12
Tratamento (T)			Taxa de micorrização (%)
Pousio			80,25 a
Milheto			68,25 b
Crotalária			73,00 a
Nabo forrageiro			60,50 b
Milho safrinha			65,50 b
Milho safrinha + braquiária			67,25 b

** = significativo a 0,01; CV=Coeficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($P>0,05$).

A crotalária é uma leguminosa da família Fabaceae de rápido crescimento e que tem sido usada como adubo verde devido à sua elevada produção de fitomassa. De acordo com Souza et al. (2016), as diferentes espécies de plantas podem influenciar na composição da população de fungos micorrízicos no solo. Nesse sentido, espécies de plantas da família Fabaceae (leguminosas), devido ao seu hábito de crescimento e da exsudação radicular, influem de maneira positiva na quantidade e na diversidade de micorrizas arbusculares (SOUZA et al., 2016; TURRINI et al., 2016; ZUBEK et al., 2016).

Em relação ao pousio, houve elevada taxa de micorrização, o que pode estar associado à presença de plantas daninhas, com a infestação de capim amargoso enquanto a área estava em pousio. Resultados semelhantes foram obtidos em estudo realizado por Ramos (2021), ao avaliar o efeito de sistemas de culturas nos atributos microbiológicos do solo em diferentes safras (2017/18, 2018/19 e 2019/20), verificou que nas três safras o sistema soja/pousio apresentou as maiores taxas de colonização radicular, o que se deve ao fato, de o pousio ficar um longo período sem cobertura de solo, favorecendo a infestação de plantas daninhas. E ressalta ainda, que em outro estudo realizado por Correia (2017) nessa mesma parcela, houve elevada infestação de plantas daninhas com buva, capim amargoso e capim branco. Portanto, podemos verificar os efeitos positivos de manter o solo com plantas de cobertura.

4.4 Avaliações agronômicas

Os resultados da análise de variância para as avaliações agronômicas estão representados no Quadro 10. Os efeitos dos tratamentos foram significativos para altura de planta, número de grãos, peso de 1000 grãos e produtividade, número de vagens.

Quadro 10. Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis correspondente as análises nas plantas de soja, sendo altura de planta (ALT), população (POP), número de vagens (NV), número de grãos (NG), peso de 1000 grãos (P1000) e produtividade (PROD). Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

		Variáveis					
FV	GL	F calculado					
		ALT (cm)	POP (plantas h ⁻¹)	NV (n°)	NG (n°)	P1000 (g)	PROD (kg h ⁻¹)
Tratamento	5	0,0258*	0,2628ns	0,0446*	0,0028**	0,0297*	0,0018**
Bloco	3	0,0795	0,1095	0,2999	0,2866	0,5391	0,6737
Erro	15						
CV (%)		7,05	9,35	17,06	5,43	3,91	14,29
MG		71,22	269708,33	53,57	2,05	142,69	4199,72
Plantas de cobertura							
Pousio		69,0 b	260000 a	45,42 b	1,81 b	138,07 b	2952,47 b
Milheto		69,52 b	280000 a	51,30 b	2,14 a	151,15 a	4570,79 a
Crotalária		73,27 a	263750 a	61,17 a	2,13 a	144,51 a	4868,69 a
Nabo forrageiro		64,95 b	293750 a	48,50 b	2,19 a	144,91 a	4470,72 a
Milho safrinha		71,57 a	251250 a	51,25 b	2,02 a	138,26 b	3538,63 b
Milho safrinha+braquiária		78,97 a	269500 a	63,77 a	2,00 a	139,27 b	4797,02 a

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coefficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Com relação à altura média de plantas, houve interação significativa entre os tratamentos, sendo a variação de 64,95 a 78,97 cm. O menor valor foi para o pousio que não diferiu estatisticamente do milheto e do nabo forrageiro. E o maior valor foi para o consórcio milho safrinha e braquiária que não diferiu estatisticamente do milho safrinha e crotalária.

É possível perceber a diferença entre a altura de planta no pousio (69,0 cm) e no consórcio (78,97 cm). Dessa forma, manter o solo em pousio não é vantajoso para a cultura. Em estudo realizado por Vargas (2023), demonstrou que a soja semeada em sucessão ao pousio, apresentou a menor altura de plantas, o que pode estar relacionado a menor quantidade de palhada depositada no solo. A altura de plantas é um parâmetro que

é influenciado pelas culturas antecessoras, condições climáticas e manejo do solo (PEDROSO, 2011).

Para a variável número de vagens por planta, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o consórcio (milho safrinha e braquiária) e a crotalária apresentaram os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A variação geral foi de 45,42 para o pousio e de 63,77 para o consórcio, demonstrando a importância da planta de cobertura para esse fator.

O efeito dos tratamentos sobre o número de grãos por vagens, apresentou diferença significativa. O pousio diferiu estatisticamente dos demais tratamentos apresentando o menor valor. A variação do parâmetro estudado foi de 1,81 (pousio) a 2,19 (nabo forrageiro). O número de grãos por vagem é um parâmetro que é inerente a genética da planta (PELEGRIN et al., 2017; SOUZA et al., 2020; DERETTI et al., 2022).

A massa de 1000 grãos apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A variação foi de 138,07 g (no pousio) e 151,15 g (milheto). O milheto, a crotalária e o nabo forrageiro não diferiram entre si. Entretanto apresentaram diferenças em relação ao pousio, milho safrinha e o consórcio.

Em relação à produtividade da soja, os resultados demonstraram diferença significativa entre os tratamentos. A variação foi de 2.942,57 (pousio) e 4.868,69 kg ha⁻¹ (crotalária), sendo que as maiores produtividades foram para a crotalária, consórcio, milheto e nabo forrageiro, que não diferiram entre si; e menores para o pousio e o milho safrinha.

A partir dos resultados analisados, é possível perceber que para todos os fatores avaliados (população final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, massa de 1000 grãos e produtividade), o pousio apresentou os menores valores. Pode-se ressaltar o efeito positivo das plantas de cobertura nos sistemas de rotação de cultura com relação à produtividade da soja.

4.5 Análise foliar

A avaliação da concentração de nutrientes foliar da soja entre os distintos sistemas de manejo foram apresentados no Quadro 11. Os resultados mostraram que houve diferença significativa para o fósforo ($p < 0,01$), potássio ($p < 0,05$) e manganês ($p < 0,05$). Os demais nutrientes avaliados (nitrogênio, cálcio, magnésio, cobre, ferro e zinco) não apresentaram diferença estatística entre os sistemas de manejo.

Em relação ao P, o milho safrinha diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, resultando na maior ($4,53 \text{ g kg}^{-1}$) exportação de fósforo pela soja (eficiência de extração). O que apresentou menor acúmulo do nutriente no tecido vegetal foi o nabo forrageiro ($3,28 \text{ g kg}^{-1}$).

Para o K, o nabo forrageiro obteve maior concentração de K nos tecidos foliares da soja, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, exceto o consórcio milho safrinha e braquiária. A variação entre os tratamentos foi de $0,95$ a $1,38 \text{ g kg}^{-1}$, sendo menor no pousio. Pode-se observar que no tratamento com nabo forrageiro para o teor de K na camada $0-0,10 \text{ m}$, os valores também foram altos.

No que se refere ao manganês (Mn), o tratamento com milho safrinha promoveu o maior teor desse nutriente ($177,56 \text{ mg k}^{-1}$) diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos.

4.6 Fósforo Sorção

Para sorção de fósforo houve interação entre T x EP, somente na camada de $0,10-0,20 \text{ m}$. Os tratamentos (sistemas de manejo) e época de avaliação foram altamente significativos ($p < 0,01$) para ambas as camadas avaliadas (Quadro 12).

As plantas de cobertura impactaram significativamente a sorção de P. Na camada de $0-0,10 \text{ m}$ observa-se que porcentagem de sorção foi estatisticamente inferior no tratamento pousio em relação aos demais tratamentos (Quadro 12), enquanto na camada de $0,10-0,20 \text{ m}$, a menor porcentagem de sorção foi encontrada na área cultivada com crotalária antecedendo a cultura da soja.

Considerando que o solo possuía somente 28% de argila, a maior sorção de P no solo em formas que possam ser disponibilizadas às plantas ao longo do tempo, pode contribuir na nutrição das culturas subsequentes, entretanto, se o P ficar fortemente adsorvido aos minerais do solo, pode tornar-se indisponível para as plantas, o que exigirá aplicações maiores de fertilizantes.

Quadro 11. Resumo da análise de variância (ANOVA) para as concentrações foliares de fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) na cultura da soja. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Naviraí- MS.

FV	GL	Variáveis								
		F calculado								
		P	K	N	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
Tratamento	5	0,0030 **	0,0476*	0,1792ns	0,9377ns	0,8226ns	0,2507ns	0,0135**	0,3212ns	0,6604ns
Bloco	3	0,0141	0,0249	0,0490	0,8155	0,9014	0,6638	0,9000	0,3457	0,0698
Erro	15									
CV (%)		9,65	14,91	19,24	19,32	41,29	23,07	14,20	14,76	23,41
MG		3,75	1,15	33,07	8,12	4,83	5,68	141,33	182,03	38,70
Tratamentos (Trat)										
Pousio		3,89 b	0,95 b	36,75 a	8,02 a	4,92 a	5,79 a	121,96 b	200,66 a	41,19 a
Milheto		3,47 b	1,17 b	32,55 a	7,96 a	4,73 a	6,39 a	133,46 b	183,60 a	38,49 a
Crotalaria		3,82 b	1,09 b	35,00 a	7,98 a	4,68 a	5,87 a	142,61 b	167,97 a	43,43 a
Nabo forrageiro		3,28 b	1,38 a	25,51 a	7,71 a	3,77 a	4,57 a	123,53 b	199,93 a	32,79 a
Milho safrinha		4,53 a	1,08 b	36,75 a	8,22 a	5,13 a	4,87 a	177,56 a	171,33 a	36,74 a
Milho safrinha+braquiária		3,53 b	1,25 a	31,85 a	8,83 a	5,76 a	6,55 a	148,87 b	168,72 a	39,12 a

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coefficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Em ambas as camadas de solo, a sorção de P foi significativamente menor após o cultivo da soja. Na camada de 0-0,10 m, reduziu 45,6% e na camada de 0,10-0,20 m a redução foi de 50,4% (Quadro 12). Isso indica, que o cultivo da soja ocasionou grande extração de fósforo do solo.

De modo geral, as plantas de cobertura contribuíram com a maior sorção de P no solo, principalmente na camada de 0-0,10 m. Isso sugere que essas plantas podem auxiliar na ciclagem de nutrientes, reduzir perdas de nutrientes e manter a disponibilidade de P no solo, por outro lado, o pousio apresentou menor sorção de P na camada superficial, reforçando a importância da cobertura vegetal para manter a fertilidade do solo.

Quadro 12. Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável P sorção, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST) e época de avaliação (EP). Naviraí- MS.

FV	GL	P sorção (%)	
		F calculado	
		Camada 0-10	Camada 10-20
Tratamento (Trat)	5	0,0063**	0,0045**
Bloco	3	0,0009	0,3320
Época (EP)	2	0,0000**	0,000**
TratxEP	10	0,5706ns	0,0005**
Erro	15		
CV (%)		6,86	8,24
MG		52,01	52,67
Tratamentos			
Pousio		47,68 b	52,99 a
Milheto		52,07 a	55,36 a
Crotalária		51,07 a	47,76 b
Nabo forrageiro		53,89 a	55,27 a
Milho safrinha		52,50 a	53,39 a
Milho safrinha+braquiária		54,86 a	52,24 a
Época			
Antes		67,38 a	70,43 a
Depois		36,65 b	34,90 b

ns= não significativo; * = significativo a 0,05; ** = significativo a 0,01; CV=Coefficiente de variação; MG= Média geral; GL=graus de liberdade.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($P>0,05$).

No Quadro 13, pode-se observar a interação entre os sistemas de manejo (SIST) e épocas de avaliação, em duas camadas de solo. O cultivo da soja reduziu a sorção de fósforo em todos os tratamentos e camadas. A camada superficial (0-0,10 m) apresentou

menores reduções em relação à camada mais profunda (0,10-0,20 m), o que sugere uma maior absorção do fósforo pela soja nessa camada.

Na camada superficial (0-0,10 m), a maior redução foi observada no tratamento crotalária (49,6%) e pousio (49,5%), indicando que esses sistemas de manejo contribuíram com a maior absorção de P pela cultura da soja e/ou menor dessorção de fósforo para o solo. Na camada de 0,10-0,20 m teve maior redução de P sorção em quase todos os tratamentos, especialmente na crotalária (59,4%) e milho safrinha + braquiária (59,4%).

Quadro 13. Alterações na sorção de fósforo antes e após o cultivo da soja, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Considerando-se os efeitos de seis sistemas de manejo (SIST). Valores entre parênteses indicam as porcentagens de redução da sorção de P após o cultivo da soja. Naviraí- MS.

Tratamento	Camadas avaliadas			
	0-0,10 m		0,10-0,20 m	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Pousio	63,36 aA	32,00 (49,5%) bB	71,28 aA	34,70 (51,3%) bB
Milheto	65,57 aA	38,57 (41,2%) aB	66,93 bA	43,80 (49,5%) aB
Crotalária	67,90 aA	34,25 (49,6%) bB	66,51 bA	27,02 (59,4%) cB
Nabo forrageiro	69,14 aA	38,64 (44,1%) aB	74,76 aA	35,78 (52,1%) bB
Milho safrinha	68,45 aA	36,56 (46,6%) aB	68,82 bA	37,95 (44,9%) bB
Milho safrinha + braquiária	69,84 aA	37,87 (45,78%) aB	74,30 aA	30,18 (59,4%) cB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada variável, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$).

O pousio apresentou elevadas reduções de P sorção em ambas as camadas, evidenciando que a ausência de plantas de cobertura na área pode favorecer a diminuição da disponibilidade de fósforo no solo. Isso mostra que a escolha do sistema de manejo influencia diretamente na dinâmica do fósforo no solo.

4.7 Análise de Correlação (Pearson)

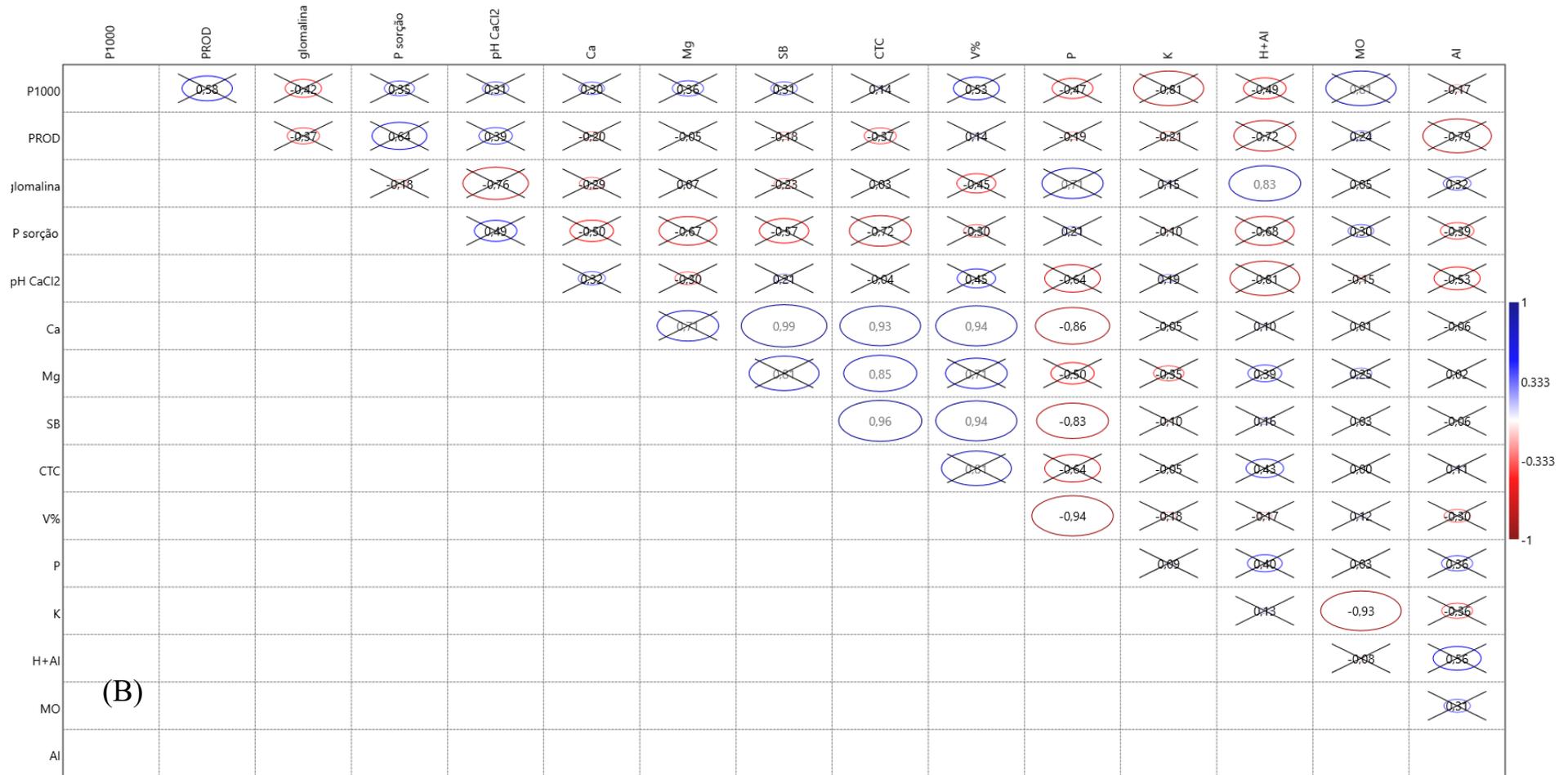
Na camada de 0-0,10 m antes do cultivo da soja (Quadro 14 A), observa-se correlação positiva entre o pH do solo e os atributos químicos: cálcio (Ca), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), isso indica que a elevação do pH está associada a um aumento na fertilidade química do solo. A correlação positiva entre a capacidade de troca de cátions (CTC) e a matéria orgânica

(MO) do solo ocorre porque a matéria orgânica desempenha um papel fundamental na retenção e troca de nutrientes no solo. Em solos com baixo teor de argila, a fração mineral tem baixa CTC, assim, a matéria orgânica desempenha um papel crucial no armazenamento de nutrientes, visto que, aumenta a capacidade do solo de armazenar e fornecer nutrientes às plantas, melhorando a fertilidade.

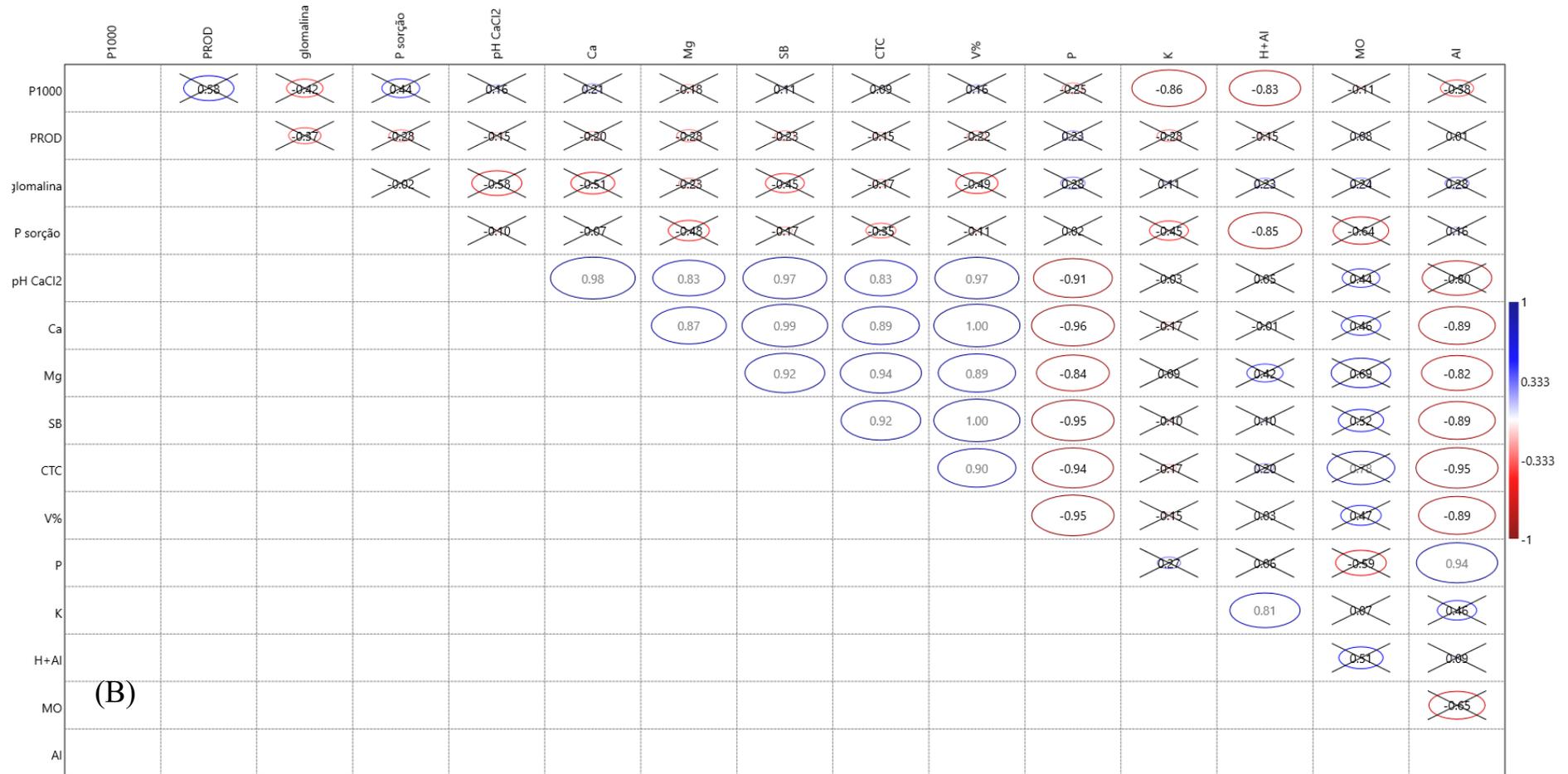
Não houve correlação entre a produtividade e os atributos químicos do solo, glomalina e sorção de fósforo (P), provavelmente a produtividade pode não ter respondido a variações nesses parâmetros, porque os atributos químicos do solo estavam em níveis não limitantes (SOUSA e LOBATO, 2004), assim, fica evidente a menor dependência química do solo para a obtenção de produtividades mais elevadas.

Na camada de 0-0,10 m após o cultivo da soja (Quadro 14 B), observa-se correlação positiva entre glomalina e acidez potencial (H^+Al), o que sugere que ambientes mais ácidos podem favorecer a presença de fungos micorrízicos e, conseqüentemente maior produção de glomalina. Houve correlação positiva entre Ca, Mg e SB com a CTC, mesmo após o cultivo da soja, isso pode ser indicativo positivo da calagem realizada na área, entretanto, observa-se correlação negativa do Ca, SB, V% com o P, o que pode ser explicada por processos químicos e interações entre os nutrientes. Em solos com altos teores de Ca, especialmente em solos de pH mais elevados (acima de 6,5), o P pode reagir com o Ca para formar fosfato de cálcio insolúveis, tornando o fósforo menos disponível para as plantas (HARIDASAN, 2008).

Na camada de 0,10-0,20 m antes e após o cultivo da soja (Quadro 15 A, B), os atributos químicos, Ca, Mg, SB e V% correlacionaram positivamente com o pH do solo, indicando adequada condição de fertilidade do solo (SOUZA e LOBATO, 2004) e correção da acidez do solo ao longo do perfil. Para essa camada, principalmente após o cultivo da soja, observa-se correlações negativa mais fortes do pH, Ca, Mg, SB, CTC e V% com o P, o que indica que solos corrigidos, com altos teores de Ca, Mg, SB e V%, ocasionará maior formação de fosfato insolúveis, com conseqüente menor disponibilidade de P para as plantas.



*P1000: peso de 1000 grãos; PROD: produtividade soja; glomalina: glomalina; P sorção; pHCaCl₂, Ca: cálcio, Mg: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; P: fósforo, K: potássio; H+Al: acidez potencial; MO: matéria orgânica; Al: alumínio. Elipse em coloração vermelha correlação negativa; elipse em coloração azul correlação positiva. ○ Significativo a 5% de probabilidade; ✕ ns



*P1000: peso de 1000 grãos; PROD: produtividade soja; glomalina: glomalina; P sorção; pHCaCl₂, Ca: cálcio, Mg: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; P: fósforo, K: potássio; H+Al: acidez potencial; MO: matéria orgânica; Al: alumínio. Elipse em coloração vermelha correlação negativa; elipse em coloração azul correlação positiva.

○ Significativo a 5% de probabilidade; ~~ns~~

Nesse caso, o aumento da acidez pode favorecer a disponibilidade de P, visto que, houve correlação negativa do P, com os teores de Ca, Mg, SB, V% e pH, além da correlação negativa entre a sorção de fósforo (P) e a acidez potencial (H+Al), ou seja, observa-se que à medida que a acidez potencial do solo aumenta, a capacidade de sorção de fósforo diminui. O aumento da acidez do solo pode promover a dissolução de formas de P precipitados com Ca, tornando o P mais disponível para as plantas. No entanto, em pH muito baixo, pode ocorrer a precipitação do P com Fe e Al, reduzindo a sua disponibilidade. Assim, é importante manter o pH dentro dessa faixa ideal (6,0-7,0) para maximizar a absorção de nutrientes e promover um crescimento saudável das plantas.

4.8 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) tem como objetivo reduzir a dimensionalidade dos dados, destacando as variáveis mais influentes na diferenciação dos tratamentos. A CP mostra uma associação de variáveis com comportamentos semelhantes (Figura 5). As análises mostraram que os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 78,74% da variância total. O primeiro componente principal (57,10% da variação) explica a maior parte da variabilidade dos dados e está fortemente influenciado por variáveis como glomalina, sorção de P e produtividade (PROD). Isso indica que essas variáveis têm um papel crucial na diferenciação dos tratamentos ao longo desse eixo.

O segundo componente principal (24,15%) está associado à matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), cálcio (Ca) e saturação por bases (SB), sugerindo que essas características também desempenham um papel relevante na separação dos tratamentos, mas em menor grau. Isso sugere que tratamentos posicionados na direção dessas variáveis apresentam maior concentração desses atributos.

A dispersão dos tratamentos na Figura 5 revela grupos distintos, sugerindo que os tratamentos possuem características químicas e produtivas diferenciadas. Os Trat. 3 e Trat. 4 estão posicionados mais à direita, indicando que possuem atributos relacionados à produtividade e disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, Trat. 1 se encontra isolado na parte inferior esquerda, sugerindo que apresenta características muito distintas, possivelmente associadas a maiores teores de alumínio ou menor disponibilidade de fósforo. O tratamento Trat 2, localizado próximo ao centro da Figura, indica uma composição intermediária entre os outros tratamentos, levemente deslocado na direção das variáveis K, P1000 e Prod. Isso sugere que essas variáveis têm alguma influência

sobre o Trat 2, mas, não de maneira tão intensa quanto nos tratamentos mais afastados. Já os Trat 5 e Trat 6 apresentam um comportamento distinto, localizando-se em regiões do gráfico com menor influência de algumas das variáveis-chave. O Trat 5 está no quadrante inferior esquerdo, próximo à variável H+Al. Isso indica que essa variável tem uma forte influência sobre esse tratamento. Já o Trat 6 está no quadrante superior esquerdo, mais distante das variáveis, próximo de glomalina e P sorção, sugerindo que essas variáveis podem ter uma influência sobre esse tratamento.

Para a camada 0-0,10 m após o cultivo da soja, os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 69,88% da variância total (38,96% para PC1 e 30,92% para PC2 (Figura 6).

Os tratamentos 5 e 6 localizam-se no quadrante inferior esquerdo e estão mais afastados do centro, sugerindo que possuem características distintas dos demais. As variáveis que mais os influenciam foram o P e P sorção. O Trat 2 está no quadrante inferior direito, próximo às variáveis P1000, pH CaCl₂, MO e Prod., indicando que esses fatores podem estar fortemente correlacionados com esse tratamento. O Trat 1 está no quadrante superior direito, distante dos demais tratamentos, o que indica uma grande diferenciação em relação às outras amostras. Ele pode estar relacionado às variáveis CTC e Mg. Já os tratamentos 3 e 4 estão no lado direito do gráfico, próximos às variáveis V%, P1000 e pH CaCl₂, sugerindo que esses fatores tiveram grande influência sobre eles.

A separação dos tratamentos indica que diferentes práticas de manejo podem estar influenciando a dinâmica dos atributos do solo e a produtividade. Em ambas as Figuras (Figura 5 e 6) sugere que as áreas manejadas com milho (Trat 2), crotalária (Trat 3) e nabo forrageiro (Trat 4) otimizaram a fertilidade do solo e a produtividade da soja.

Para a camada 10-20 cm antes do cultivo da soja, os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 75% da variância total (56,27% para PC1 e 18,73% para PC2 (Figura 7).

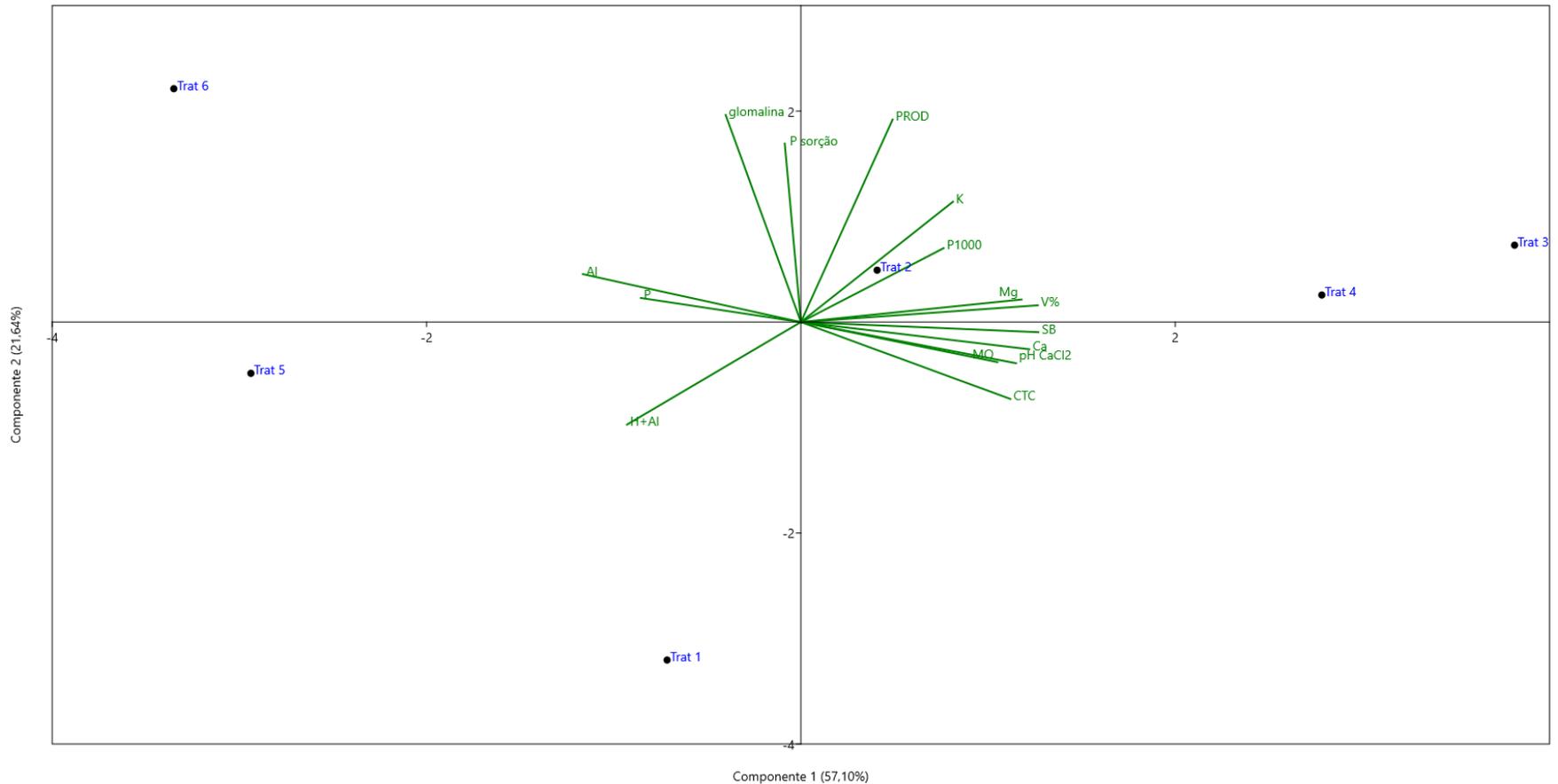


Figura 5. Biplot mostrando a projeção de parte das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos seis sistemas de manejo de cultura. Trat 1: pousio; Trat 2: milho; Trat 3: crotalária; Trat 4: nabo forrageiro; Trat 5: milho safrinha; Trat 6: milho safrinha + braquiária. Atributos químicos do solo, da camada de 0-0,10 m, antes do cultivo da soja: MO (matéria orgânica do solo), fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), pH CaCl₂, alumínio (Al), produtividade da soja (PROD), peso de 1000 grãos, glomalina e P sorção.

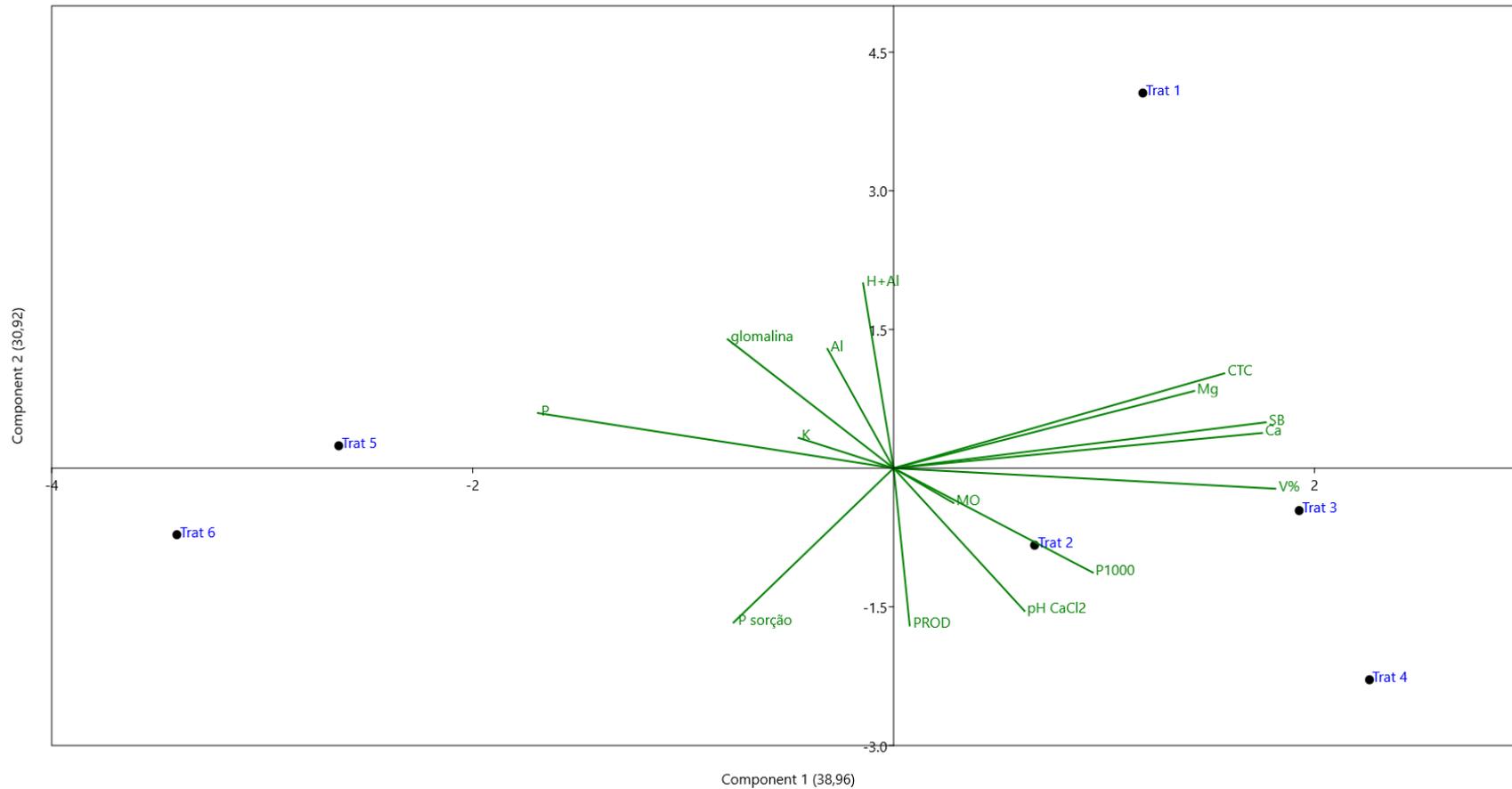


Figura 6. Biplot mostrando a projeção de parte das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos seis sistemas de manejo de cultura. Trat 1: pousio; Trat 2: milho; Trat 3: crotalária; Trat 4: nabo forrageiro; Trat 5: milho safrinha; Trat 6: milho safrinha + braquiária. Atributos químicos do solo, da camada de 0-0,10 m, após o cultivo da soja: MO (matéria orgânica do solo), fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), pH CaCl₂, alumínio (Al), produtividade da soja (PROD), peso de 1000 grãos, glomalina e P sorção.

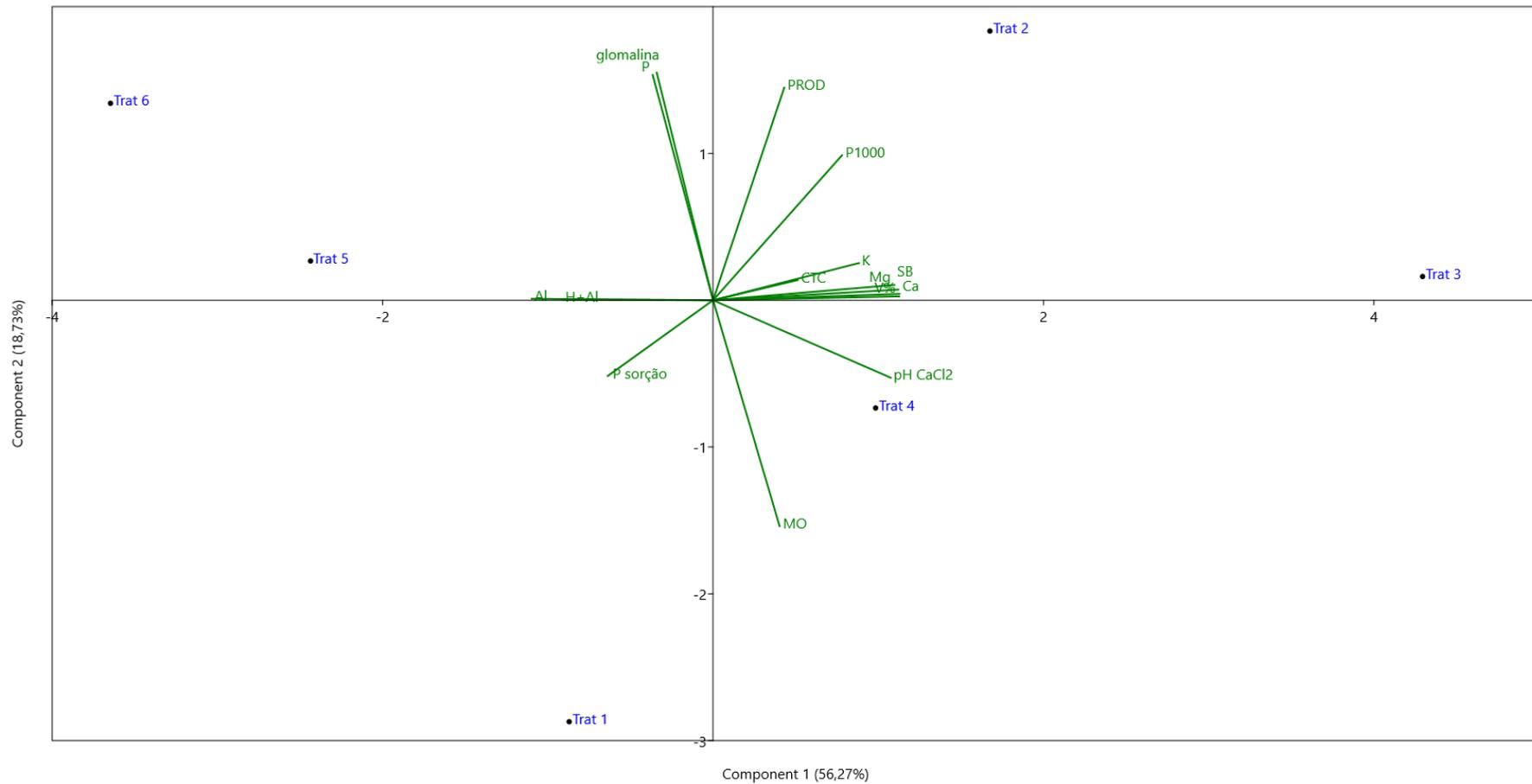


Figura 7. Biplot mostrando a projeção de parte das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos seis sistemas de manejo de cultura. Trat 1: pousio; Trat 2: milheto; Trat 3: crotalária; Trat 4: nabo forrageiro; Trat 5: milho safrinha; Trat 6: milho safrinha + braquiária. Atributos químicos do solo, da camada de 0,10-0,20 m, antes do cultivo da soja: MO (matéria orgânica do solo), fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), pH CaCl₂, alumínio (Al), produtividade da soja (PROD), peso de 1000 grãos, glomalina e P sorção.

Os tratamentos 5 e 6 localizam-se no quadrante superior esquerdo e as variáveis que mais os influenciaram foram glomalina, P, Al e H+Al. O Trat. 2 está no quadrante superior direito, próximo às variáveis P1000 e Prod., indicando que esses fatores podem estar fortemente correlacionados com esse tratamento. O Trat 1 está no quadrante inferior esquerdo, distante dos demais tratamentos, o que indica uma grande diferenciação em relação às outras amostras. Ele pode estar relacionado à variável P sorção. Já os tratamentos 3 e 4 estão no lado direito do gráfico, próximos às variáveis V%, pH CaCl₂, Ca, SB, CTC, K sugerindo que esses fatores tiveram grande influência sobre eles.

Para a camada 0,10-0,20 m após o cultivo da soja, os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 78,29% da variância total (53,83% para PC1 e 24,46% para PC2 (Figura 8).

Os tratamentos 5 e 6 localizam-se no quadrante superior esquerdo e as variáveis que mais os influenciaram foram glomalina, Al e P. O Trat 2 está no quadrante inferior esquerdo, próximo às variáveis Psorção e Prod. O Trat 1 está no quadrante superior direito, relacionado às variáveis MO, H+Al e Mg. Já os tratamentos 3 e 4 estão no lado direito do gráfico, próximos às variáveis V%, pH CaCl₂, Ca, SB, CTC, sugerindo que esses fatores tiveram grande influência sobre eles.

Observa-se resultado semelhante na camada de 0,10-0,20 m, quando comparado a camada superficial (0-0,10 m), onde sugere que as áreas manejadas com milho (Trat. 2), crotalaria (Trat. 3) e nabo forrageiro (Trat. 4) foram os tratamentos que contribuíram para a melhoria da fertilidade do solo e culminando com as maiores produtividade da soja.

Esses resultados indicam que os tratamentos promoveram efeitos diferenciados nos atributos do solo e na produtividade, sendo possível inferir quais variáveis estão mais associadas a cada grupo. Isso pode subsidiar a tomada de decisão sobre práticas de manejo e a seleção dos tratamentos mais adequados conforme os objetivos desejados.

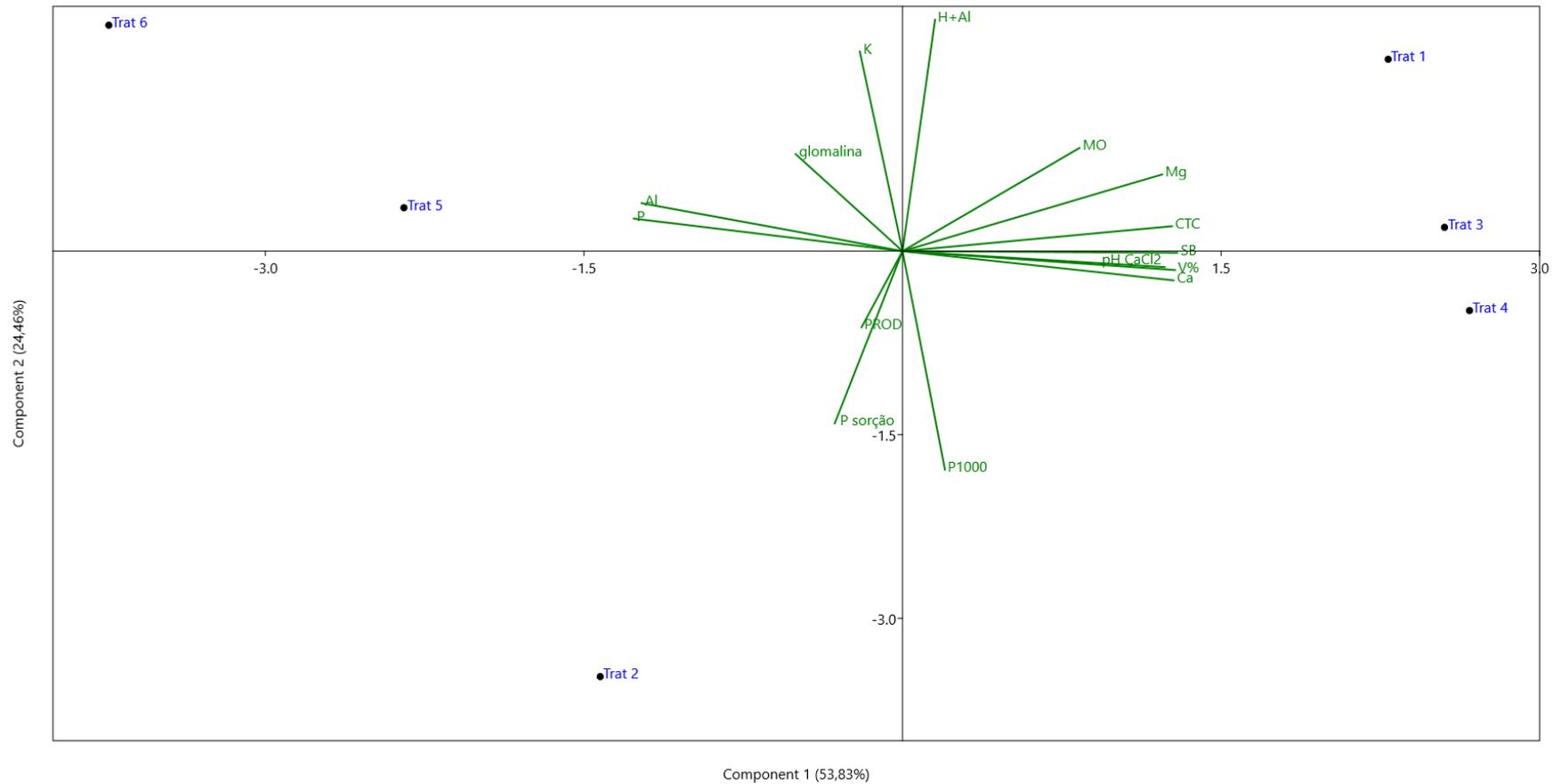


Figura 8. Biplot mostrando a projeção de parte das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos seis sistemas de manejo de cultura. Trat 1: pousio; Trat 2: milheto; Trat 3: crotalária; Trat 4: nabo forrageiro; Trat 5: milho safrinha; Trat 6: milho safrinha + braquiária. Atributos químicos do solo, da camada de 0,10-0,20 m, após o cultivo da soja: MO (matéria orgânica do solo), fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), pH CaCl₂, alumínio (Al), produtividade da soja (PROD), peso de 1000 grãos, glomalina e P sorção.

5. CONCLUSÃO

Com relação às alterações nos atributos químicos do solo, a crotalária foi o sistema de cultivo que apresentou os melhores resultados para as variáveis analisadas. Já a produção de glomalina não foi afetada pelos tratamentos, porém, sofreu influência das épocas de amostragens, visto que houve aumento na concentração durante o florescimento e após o cultivo da soja. Dessa forma, pode-se inferir que a glomalina tenha sido influenciada pelo estágio fenológico da soja.

Quanto à taxa de micorrização, a crotalária e o pousio apresentaram as maiores porcentagens de colonização micorrízica. Constatou-se também, que a concentração de matéria orgânica foi maior nesses sistemas. Em se tratando da produtividade da soja, a crotalária e o pousio apresentaram respectivamente, a maior e a menor produtividade. Nesse sentido, percebe-se que possa haver uma correlação positiva entre a taxa de colonização micorrízica, a matéria orgânica e a produtividade da soja.

A produtividade foi beneficiada pelas plantas de cobertura sendo os tratamentos com milheto, crotalária, nabo forrageiro e consórcio (milho safrinha+braquiária), os que alcançaram as maiores produtividades.

As plantas de cobertura se mostraram eficientes na redução da fixação de P (P sorção) no solo. De maneira geral, a crotalária apresentou maior redução na sorção de P (0-0,10 m), podendo ser a planta de cobertura mais eficiente nesse parâmetro. Com relação a análise dos componentes principais, sugere-se que os tratamentos com milheto, crotalária e nabo forrageiro contribuíram para a fertilidade do solo e produtividade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, J.; BRAUWERS, L.P.; DUARTE, L. P.; GHISLENI, G.; TIECHER, T.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C.; SOUZA, E. D.; MARTINS, A. P. Phosphorus lability in a subtropical Acrisol under long-term integrated crop-livestock system: impacts of grazing management and cropping system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 28 oct. 2022.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNADES, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 53-88.2006.

BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132-146, 2015.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária**. Regras para análise de sementes. Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, 1992, Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, 1992,365p.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. Working with mycorrhizas in forest and agriculture. Canberra: **Australian Centre for International Agricultural Research**, 374 p, 1996.

BOSELLI, R.; FIORINI, A.; MARIS, S. C.; SANTELLI, S.; ARDENTI, S. F.; TABAGLIO, V. May conservation tillage enhance soil C and N accumulation without decreasing yield in intensive irrigated croplands? Results from an eight-year maize monoculture. **Agric Ecosyst Environ** 296, 2020.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. No-till agriculture in southern Brazil: Factors that facilitated the evolution of the system and the development of the mechanization of conservation farming. [s.l.] **The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Instituto Agrônomo do Paraná**, 2012.

CHAVARRÍA, D. N.; VERDENELLI, R. A.; SERRI, D. L.; RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO, A. E.; MERILES, J.M.; VAGAS-GIL, S. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. **European Journal of Soil Biology**, v. 76, p. 74–82, sept. 2016.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Soil. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian. **Soil e Tillage Research**. Oxisol. V. 133, p. 32-39, 2013.

CASALI, C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos por longa duração alteram as formas de fósforo do solo?** [s.l.] 149 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, 2012.

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, R. **Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo.** Capítulo de Livro II, 2016.

CEROZI, B.; FITZSIMMONS, K. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 778-781, 2016.

CORREIA, I. V. T. **Composição da comunidade infestante em sistemas de produção de grãos em função das culturas antecessoras.** 2017. 48f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

COSTA, M.M.M.N. Micorrizas: da associação mutualística com algodoeiro aos benefícios. **Embrapa Algodão**. Campina Grande, 2024.

DALLA COSTA, M.; LOVATO, P. E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 603–605, jun. 2004.

DERETTI, A. F. H.; SANGOI, L.; MARTINS JUNIOR, M. C.; GULARTE, P. S.; CASTAGNETI, V.; LEOLATO, L. S.; KUNESKI, H. F.; SCHERER, R. L.; BERKENBROCK, J.; DUARTE, L. Resposta de cultivares de soja à redução na densidade de plantas no planalto norte catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 2, p. 123–136, 2022.

DICK, G.; SCHUMACHER, M.V.; MOMOLLI, D. R.; SANTOS, J. C.; LUDVICHAK, A. A.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, H. P. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2016.

EL-NAGAR, E. I.; MOHAMED, I. R.; NASRALLA, A. E.; ELRYS, A. S. The role of magnesium in phosphorus availability in soil. **Zagazig Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 5, p. 1467-1478, 2019.

ESUBALEW, T.; AMARE, A.; MOLLA, E. Quantificação do balanço de nutrientes do solo e estoque em propriedades familiares na bacia hidrográfica de Agew Mariam, no norte da Etiópia. **Heliyon**, v. 9, n. 4, 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development.** Ames, Iowa State University. 12p. 1977.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FINK, J. R.; INDA, A.V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e Agrotecnologia**, 40(4), 369-379, 2016.

GATIBONI, C.; CONDRON, L. M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agrosystems. **Geoderma**, v. 385, 2021.

GEORGE, N. P.; RAY, J. G. The inevitability of arbuscular mycorrhiza for sustainability in organic agriculture - a critical review. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 7, 2023.

GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M. N.; TUINEN, D. V.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza** vol. 20(8), 519-530, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097–1104, set. 2003.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, 84:489-500, 1980.

GUZMAN, A.; MONTES, M.; HUTCHINS, L.; DELACERDA G.; YANG, P.; KAKOURIDIS, A.; DAHLQUIST-WILLARD, R.M.; FIRESTONE, M.K.; BOWLES, T.; KREMEN, C. Crop diversity enriches arbuscular mycorrhizal fungal communities in an intensive agricultural landscape. **New Phytologist**, Lancaster, v. 231, n. 1, p. 447-459, 2021.

HADDAD, M. J.; SARKAR, D. Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: part II – relationship with soil properties. **Environmental Geosciences**, v. 10, n. 3, p. 99-106, 2003a.

HALLAMA, M.; PEKRUN, C.; LAMBERS, H.; KANDELER, E. Hidden miners - the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agrosystems. **Plant Soil**, 2019.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 7 th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2005. 515p.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HANSEN, V.; MULLER-STOVER, D.; GÓMEZ-MUÑOZ, B.; OBERSON, A.; MAGID, J. Differences in cover crop contributions to phosphorus uptake by ryegrass in two soils with low and moderate P status. **Geoderma**, v. 426, p. 116075, nov. 2022.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 183-195, 2008.

KAN, A.; MARUYAMA, H.; AOYAMA, N.; WASAKI, J.; TATEISHI, Y.; WATANABE, T.; SHINANO, T. Relationship between soil phosphorus dynamics and low-phosphorus responses at specific root locations of White lupine. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 68, n. 5-6, p. 526-535, 2022.

KIM, N; ZABALOY, M.C; GUAN, K; VILLAMIL, M.B. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 142, p. 107701, mar. 2020.

KULKARNI, S.; GOSWAMI, A. Effect of excess fertilizers and nutrients: a review on impact on plants and human population. In: Proceedings of International **Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM)**, Amity University Rajasthan, Jaipur-India. 2019.

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E.J.; WUTKE, E.B.; ROSSI, F.; DONIZETI CARLOS, J. A. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília, DF; Embrapa, 2023.

LI, Z.; ZHANG, X.; XU, J.; CAO, K.; WANG, J.; XU, C; CAO, W. Green manure incorporation with reductions in Chemical fertilizer inputs improves rice yield and soil organic matter accumulation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 7, p. 2784-2793, 2020.

LIU, A; KU, Y. S.; CONTADOR, C. A.; LAM, H. M. The impacts of domestication and agricultural practices on legume nutrient acquisition through symbiosis with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 11, 583954, 2020.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 1009-1012. 2004a.

MAZETTO JÚNIOR J. C.; TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. de A.; SILVA, V. R.; SOUZA, Z. M. de; LEMES, E. M. Production and decomposition of cover crop residues and associations with soil organic fractions. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, n. 5, p. 58-69, Apr. 2019.

MOENS, C; LOMBI, E; HOWARD, D. L; WAGNER, S; PAYNE, J. L; KOPITTKE, P. M; DOOLETTE; C. L. Mapping phosphorus availability in soil at a large scale and high resolution using novel diffusive gradients in thin films designed for x-ray fluorescence microscopy. **Environmental Science & Technology**, v. 58, n. 1, p. 440-448, 18 dec. 2023.

MURPHY J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, 27, 31–36, 1962.

NICHOLS, K. A. Characterization of glomalin – a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. **Thesis (Ph.D.)** – University of Maryland, College Park, MD, 2003.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C.L.

Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

OLIVEIRA, H. P. **Estoque de carbono e fósforo influenciam-na qualidade do solo com plantas de cobertura a longo prazo.** Dissertação (Mestrado) – USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2024.

OLIVEIRA, L. E. Z.; DE SOUZA, D. M. G.; FIGUEIREDO, C.C. de, NUNES, R. de S.; MALAQUIAS, J. V. Long-term phosphate fertilization strategies evaluation in a Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, 2020.

OLIVEIRA, R. M. **Produção e ciclagem de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura em cultivo isolado e consórcios em áreas sob plantio direto.** Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro-Campus Uberaba-MG, 2025.

OLIVEIRA, S. R. **Marcha de absorção e balanço de nutrientes no sistema solo-planta para o meloeiro fertirrigado.** 2017. 51 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2017.

OLIVEIRA FILHO, J. de S.; PEREIRA, M. G. Analyzing the research on phosphorus fractions and phosphorus legacy in soil: a bibliometric analysis. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 9, p. 3394–3405, 30 sept. 2020.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p.17-25, jan. 2011.

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

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de P. Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos. Visconde do Rio Branco: **Suprema**, p. 250-255, 2011.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEISI, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, 10(1), 2020.

PAVINATO, P. S.; ROCHA, G. C.; CHERUBIN, M. R.; HARRIS, I.; JONES, D. L.; WITHERS, P. J. A. Map of total phosphorus content in native soils of Brazil. **Scientia Agricola**, 78(6), 2021.

PEDROSO, F. F. **Desempenho agrônômico da soja em sucessão de culturas com espécies oleaginosas.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

PELEGRIN, A. J.; NARDINO, M.; FERRARI, M.; CARVALHO, I.R.; SZARESKEI, V.J.; BELLE, R.; CARON, B.O.; SOUZA, V.Q. Polímeros hidroredutores na cultura da soja em condições de solo argiloso na região norte do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2017.

PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S.; CARVALHO, L. B. O elemento P: formas e dinâmicas em solos tropicais. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 5, 2021.

QIN, Y; YAN, Y, CHENG, L.; LU, Y.; CHEN, J.; LIU, F.; TAN, J. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen and phosphate availability in soybean/maize intercropping systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 23, n. 2, p. 2723-2731, 2023.

QU, J.; LI, L.; ZHAO, P.; HAN, D.; ZHAO, X.; ZHANG, Y.; HAN, L.; WANG, Y. Impact of phosphorus fertilization on rape and common vetch intercropped fodder and soil phosphorus dynamics in North China. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 11, 2022.

RABEL, D. O.; MOTTA, A.C.V.; BARBOSA, J. Z.; MELO, V. F.; PRIOR, S. A. Depth distribution of exchangeable aluminum in acid soils: A study from subtropical Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 39320, 15 may 2018.

RAMOS, F. S. **Fungos micorrízicos arbusculares em sistemas de culturas ancestroras a soja em plantio direto de longa duração**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – UFGD/ Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2021.

RAWAL, N.; PANDE, K. R.; SHRESTHA, R.; VISTA, S. P.; AMBADE, B. Soil Nutrient Balance and Soil Fertility Status under the Influence of Fertilization in Maize-Wheat Cropping System in Nepal. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2022, n. 1, p. 2607468, 2022.

REBELO PIMENTEL, N.; PAULETTO, D.; AGUIAR, D. L. Produção de biomassa por leguminosas para a adubação verde em Santarém, Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2024.

RESENDE, A.V.; GIEHL, J.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; ABREU, S. C.; SIMÃO, E. P.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; SANTANA, D. P.; ALVES, V. M. C. É hora de usar a poupança de nutrientes do seu solo, *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo - RS, V. 2022, p. 15-23, 2022.

RESENDE, A.V.; GIEHL, J.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; ABREU, S. C.; SIMÃO, E. P.; COELHO, A. M.; SANTOS, A. C.; SANTANA, D. P.; ALVES, V. M. C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.10, p.342-398, 2019.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; EVINER, V. T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 238, n. 2, p. 325-333, 2002.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, Oxford, v.171, p.41-56, 2006.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 233, n. 2, p. 167-177, 2001.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003b.

ROCHA, K. F. KURAME, E. E.; BORGES, B, M, F.; LEITE, M. F. A.; ROSOLEM, C. A. Microbial N-cycling gene abundance is affected by cover crop specie and development stage in an integrated cropping system. *Archives of Microbiology*, v. 202, n. 7, p. 2005–2012, 20 sept. 2020.

RODRIGUES, M.; WITHERS, P. J. A.; SOLTANGHEISI, A.; VARGAS, V.; HOLZSCHUH, M.; PAVINATO, P. S. Tillage systems and cover crops affecting soil phosphorus bioavailability in Brazilian Cerrado Oxisols. **Soil and Tillage Research**, 205, 2021.

RONQUIM, C. C. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Territorial, 2020.

ROSIER, C. L.; HOYE, A. T.; RILLIG, M. C. Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 8, p. 2205-2211, 2006.

SÁNCHEZ, L.; DAVID, J.; CANABAL, V. A. G.; INGE, A. Longitud del micelio y glomalina de micorrizas arbusculares: agregación del suelo en bosques y agroecosistemas andinos. **Acta Agronomía**, v. 71, n. 2, e101536, 2022.

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

SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **SpringerPlus**, v. 2, n. 1, p. 587, 2013.

SILVA, M. P.; ARF, O.; DE SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; DE SOUZA, L. C. D. 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, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas

comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e11101220008-1, 2021.

SOLTANGHEISI, A.; RODRIGUES, M.; COELHO, M.J.A.; GASPERINI, A.M.; SARTOR, L.R.; PAVINATO, P.S. Changes in soil phosphorus lability promoted by phosphate sources and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 179, p. 20–28, 1 June 2018.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO. **Cerrado: correção do solo e adubação**– 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 283-313, 2004.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ciências Agrárias*. v. 336, p. 3033-3044, 2012.

SOUZA, I. J.; OLIVEIRA, Z. B.; SILVA, C. M.; GOIS, H.; RODRIGUES, L. R.; MALFFINI, L.B. Componentes de rendimento de soja irrigada por aspersão em Cachoeira do Sul no ano agrícola de 2018/19. **Ciência e Natura**, v. 42, Special Edition, n. 3, 2020.

SOUZA, T. A. F. D., RODRIGUEZ-ECHEVERRÍA, S.; ANDRADE, L. A. D. e FREITAS, H. Arbuscular mycorrhizal fungi in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir from Brazilian semi-arid. **Brazilian Journal of Microbiology**, 2016.

SCHIPANSKI, M. E.; BENNETT, E. M. **The phosphorus cycle**. In *Fundamentals of Ecosystem Science* (pp. 189-213). Elsevier, 2021.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. New York: Elsevier; Academic, 2008. 800 p.

STEINBERG, P. D.; RILLIG, M. C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 191-194, 2003.

STEFFEN, G. P. K; STEFFEN, R. B. **A importância das interações biológicas e das simbioses micorrízicas em sistemas agrícolas**. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 40 p. (Circular: divulgação técnica, 21), 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed., 2017.

TELES, A. P. B. **Influência de plantas de cobertura e fertilizantes fosfatados nas frações de fósforo e nos atributos químicos do solo**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; BEJARANO HERRERA, W. F.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, v. 33, n. 1, p. 34–44, mar. 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TIECHER, T.; OLIVEIRA, L. B.; CANER, L.; BRUNETTO, G.; BORTOLUZZI, E.C.; SANTOS, D. R.; CASALI, C. A.; ZAFAR, M.; TIECHER, T. L. Cover crops affecting soil phosphorus dynamics in Brazilian highly weathered soils. In: REUTER, J. (Ed.). **Cover Crops: Cultivation, Management and Benefits**. [s.l.] New York, USA: Nova Science Publishers, 2015a. p. 23–52.

TIECHER, T.; OLIVEIRA, L.B.; CANER, L.; BRUNETTO, G.; BORTOLUZZI, E. C.; SANTOS, D. R.; CASALI, C. A.; ZAFAR, M.; TIECHER, T. L. Cover crops affecting soil phosphorus dynamics in Brazilian highly weathered soils. In: REUTER, J. (Ed.). **Cover Crops: Cultivation, Management and Benefits**. New York, USA: Nova Science Publishers, 2015b. v. 55p. 23-52.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. D.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under diferente long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 271-281, 2012.

TIECHER, T.; FONTOURA, S. M. V.; AMBROSINI, V. G.; ARAÚJO, E. A.; ALVES, L. A.; BAYER, C.; GATIBONI, L. C. Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. **Geoderma**, v. 435, p. 116495, july 2023.

TORRES, J. L. R.; MAZETTO JÚNIOR, J. C.; SILVA JÚNIOR, J.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z. M.; ASSIS, R. L.; LEMES, E. M. Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the cerrado. **Soil Research**, Austrália, v. 57, n. 7, p.712–718, Aug. 2019.

TORRES, J. L. R.; GOMES, F. R. C.; BARRETO, A. C.; ORIOLI JUNIOR, V.; FRANÇA, G. D.; LEMES, E. M. Nutrient cycling of different plant residues and fertilizer doses in broccoli cultivation. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p.11-10, jan./ mar. 2021.

TORRES, J. L. R.; SILVA, G. G.; CHARLO, H. C. de O.; LOSS, A.; LEMES, E. M.; VIEIRA, D. M. da S. Lettuce crop fertilized with organomineral source of phosphorus and micronutrients. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 4, p. 393-402, out./dez. 2022.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. Glomalin in ecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1257-1266, 2007.

TURRINI, A., SBRANA, C., AVIO, L., NJERU, E. M., BOCCI, G., BÀRBERI, P.; GIOVANNETTI, M. Changes in the composition of native root arbuscular mycorrhizal fungal communities during a short-term cover crop maize succession. **Biology and Fertility of Soils**, 52(5): 643-653, 2016

VARGAS, N. B. **Desempenho agrônômico da soja e qualidade do solo sob rotação e sucessão de culturas em plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTREN VAN, J. T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to P and Zn sequestration in polluted soil. **Science of the Total Environment**, v. 392, n. 1, p. 130-136, 2008.

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, n.2, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soils**, Germany, v. 31, n. 3-4, p. 249-253, 2000.

ZHANG, H.; HUANG, Y.; YE, X.; SHI, L.; XU, F. Genotypic differences in phosphorus acquisition and the rhizosphere Properties of *Brassica napus* in response to low phosphorus stress. **Plant na Soil**, The Hague, v. 320, n. 1, p. 91-102, 2009.

ZHANG, L.; LI, J.; RONG, T.Z.; GAO, S.B.; WU, F.K.W.; XU, J.; LI, M.L.; CAO, M.J.; WANG, J.; HU, E.L.; LIU, Y.X.; YAN, L.L. Large-scale screening maize germplasm for low-phosphorus tolerance using multiple selection criteria. **Euphytica**, v. 197, n. 3, p. 435–446, 19 jun. 2014.

ZHU, Y.; WU, F.; FENG, W.; LIU, S.; GIESY, J. P. Interaction of alkaline phosphatase with minerals and sediments: activities, kinetics and hydrolysis of organic phosphorus. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 495, p. 46-53, 2016.

ZUBEK, S., MAJEWSKA, M. L., BŁASZKOWSKI, J., STEFANOWICZ, A. M., NOBIS, M. & KAPUSTA, P. Invasive plants affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness as well as the performance of native plants grown in invaded soils. **Biology and Fertility of Soils**, 52(6): 879-893, 2016.