

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA

RENATO PAULO SZADY

TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NA SOJA SOB DIFERENTES CULTURAS DE COBERTURA E
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

ERECHIM - RS

2026

RENATO PAULO SZADY

**TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NA SOJA SOB DIFERENTES CULTURAS DE COBERTURA E
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul
– Campus Erechim, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann

ERECHIM - RS

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Szady, Renato Paulo

TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NA SOJA SOB DIFERENTES
CULTURAS DE COBERTURA E ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO / Renato
Paulo Szady. -- 2026.

27 f.:il.

Orientador: Doutor Alfredo Castamann

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2026.

I. Castamann, Alfredo, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RENATO PAULO SZADY

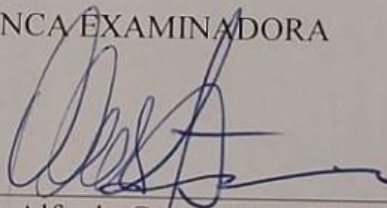
TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NA SOJA SOB DIFERENTES CULTURAS DE
COBERTURA E ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

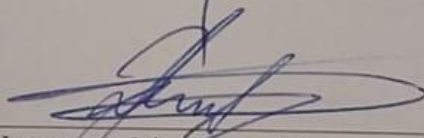
Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em:

29/06/2026

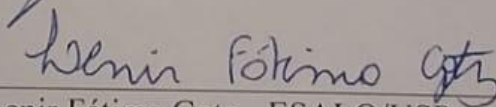
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alfredo Castamann - UFFS



Prof. Dr. Hugo von Linsingen Piazzetta - UFFS



Dra. Lenir Fátima Gotz - ESALQ/USP

GRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e determinação ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, por todo o apoio, ensinamentos e valores transmitidos, fundamentais para minha formação pessoal e profissional. Ao meu irmão, pelo companheirismo e apoio em diferentes momentos dessa trajetória.

Aos meus amigos, pela parceria, incentivo e pelos momentos compartilhados ao longo dessa jornada.

Aos professores, pelos conhecimentos, orientações e experiências que contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e pessoal.

Por fim, agradeço por cada desafio superado, pelos aprendizados adquiridos e por todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta conquista.

RESUMO

A utilização de culturas de cobertura associada a diferentes estratégias de adubação constitui uma importante ferramenta para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em plantio direto. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da soja cultivada em sucessão a diferentes culturas de cobertura e submetida a diferentes estratégias de adubação. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim-RS, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2×9 , com quatro repetições. Foram avaliadas duas estratégias de adubação (adubação na semeadura da soja e adubação de sistema) e nove tratamentos de cobertura do solo: Aveia Preta (AVP); Centeio (CENT); Ervilhaca (ERV); AVP + CENT; AVP + ERV; CENT + ERV; AVP + CENT + ERV; MIX comercial e Pousio. Durante o estágio fenológico R2 da soja foram coletados trifólios para determinação dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram que os teores foliares dos nutrientes foram influenciados pelas culturas de cobertura e pelas estratégias de adubação. Maiores teores foliares de nitrogênio na soja ocorrem com o uso de AVP solteira associada à adubação na semeadura, ou com o MIX comercial associado à adubação de sistema. Os maiores teores foliares de fósforo e potássio ocorrem nos tratamentos MIX comercial, Pousio e no consórcio AVP + CENT + ERV. A adubação de sistema promoveu maiores teores foliares de cálcio e principalmente de magnésio em comparação à adubação realizada na semeadura. Conclui-se que os teores foliares de nutrientes na soja respondem de forma conjunta às plantas de cobertura e às estratégias de adubação, destacando-se a adubação de sistema como uma estratégia eficiente para otimizar a nutrição mineral da cultura.

Palavras-chave: *Glycine max*; plantas de cobertura; adubação de sistema; nutrição mineral; fertilidade do solo.

ABSTRACT

The use of cover crops associated with different fertilization strategies constitutes an important tool for the sustainability of agricultural systems under no-tillage. The objective of this study was to evaluate the leaf contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in soybean cultivated in succession to different cover crops and subjected to different fertilization strategies. The experiment was conducted at the experimental area of the Federal University of the Frontier South (UFFS), Erechim-RS Campus, in a randomized block design, in a 2×9 factorial scheme, with four replications. Two fertilization strategies were evaluated (fertilization at soybean sowing and system fertilization) and nine soil cover treatments: Black Oat (AVP); Rye (CENT); Vetch (ERV); AVP + CENT; AVP + ERV; CENT + ERV; AVP + CENT + ERV; commercial MIX, and Fallow. During the R2 phenological stage of soybean, trifoliolate leaves were collected to determine the leaf contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Tukey's test at 5% probability. The results demonstrated that the leaf nutrient contents were influenced by the cover crops and fertilization strategies. Higher leaf nitrogen contents in soybean occur with the use of single AVP associated with fertilization at sowing, or with the commercial MIX associated with system fertilization. The highest leaf contents of phosphorus and potassium occur in the commercial MIX, Fallow, and AVP + CENT + ERV consortium treatments. System fertilization promoted higher leaf contents of calcium and especially magnesium compared to fertilization carried out at sowing. It is concluded that the leaf nutrient contents in soybean respond jointly to cover crops and fertilization strategies, highlighting system fertilization as an efficient strategy to optimize the mineral nutrition of the crop.

Keywords: *Glycine max*; cover crops; system fertilization; mineral nutrition; soil fertility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises químicas das amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS...	11
Tabela 2. Identificação das culturas de cobertura utilizadas no experimento, em cultivo solteiro e em consórcio	12
Tabela 3. Teor de nitrogênio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação	14
Tabela 4. Teor de fósforo foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura, independente da estratégia de adubação.....	15
Tabela 5. Teor de fósforo foliar na cultura da soja cultivada em diferentes manejos de adubação	16
Tabela 6. Teor de potássio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação	17
Tabela 7. Teor de cálcio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação	18
Tabela 8. Teor de magnésio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura.....	19
Tabela 9. Teor de magnésio foliar na cultura da soja cultivada em diferentes manejos de adubação...	20

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
2.MATERIAL E MÉTODOS	11
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS	22
APÊNDICE A – Registro fotográfico das culturas de cobertura utilizadas no experimento. A) Aveia preta, B) Centeio, C) Ervilhaca, D) Aveia preta + centeio, E) Aveia preta + ervilhaca, F) Centeio + ervilhaca, G) Aveia preta + centeio + ervilhaca, H) Mix	24
APÊNDICE B – Registro fotográfico da implantação, estabelecimento e avaliação da cultura da soja.	25

1.INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas cultivadas no mundo, destacando-se pela elevada importância econômica e pela ampla utilização de seus grãos na alimentação humana e animal, além de sua aplicação na produção de óleo, biodiesel e diversos produtos industriais. No Brasil, a cultura ocupa posição de destaque no agronegócio, contribuindo significativamente para a geração de renda, exportações e desenvolvimento do setor agrícola (Hirakuri; Lazzarotto, 2014).

Nas últimas décadas, a expansão da área cultivada e a adoção de tecnologias relacionadas ao melhoramento genético, manejo fitossanitário e fertilidade do solo permitiram expressivos avanços na produtividade da cultura (Seixas et al., 2020). Atualmente, o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores mundiais de soja, sendo responsável por parcela significativa da produção global. Para a safra 2025/2026, a Companhia Nacional de Abastecimento estima uma produção de aproximadamente 180,3 milhões de toneladas, evidenciando a importância estratégica da cultura para a agricultura brasileira e para o abastecimento mundial de grãos (CONAB, 2026).

Nesse contexto, a manutenção da produtividade em sistemas agrícolas sustentáveis depende diretamente do manejo adequado da fertilidade do solo. O Sistema Plantio Direto (SPD), associado ao uso de plantas de cobertura, constitui uma das principais estratégias conservacionistas, contribuindo para a proteção do solo, aumento da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Santos et al., 2003; Crusciol et al., 2005).

As plantas de cobertura exercem papel fundamental na dinâmica de nutrientes no sistema. Gramíneas apresentam elevada relação C/N, favorecendo maior persistência dos resíduos vegetais e liberação gradual de nutrientes, enquanto leguminosas contribuem com aporte de nitrogênio via fixação biológica (Aita; Giacomini, 2003; Hungria; Nogueira, 2020). A associação entre diferentes espécies pode potencializar esses efeitos, promovendo maior eficiência no uso de nutrientes e maior estabilidade do sistema produtivo (Boeni et al., 2021).

Apesar dos benefícios consolidados dessas práticas, ainda existem lacunas quanto à eficiência de diferentes combinações de plantas de cobertura e estratégias de adubação de sistema na disponibilidade e no aproveitamento de nutrientes pela cultura da soja, especialmente em relação ao estado nutricional da planta. Essa limitação dificulta a definição de manejos mais precisos e eficientes dentro dos sistemas de produção.

Dentre as estratégias de manejo da fertilidade, a adubação de sistema tem sido proposta como alternativa para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, por meio da aplicação antecipada de nutrientes às culturas de cobertura, permitindo sua ciclagem e posterior disponibilização à cultura em sucessão (Assmann et al., 2018; Aita; Giacomini, 2003). Esse modelo contribui para a redução de perdas, melhoria da eficiência nutricional e maior sustentabilidade do sistema agrícola.

A avaliação do estado nutricional da soja por meio da análise foliar constitui uma ferramenta essencial para diagnosticar a eficiência desses sistemas de manejo. Essa técnica permite identificar deficiências, excessos ou desequilíbrios nutricionais, além de fornecer informações sobre a dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio são essenciais ao crescimento e à produtividade da cultura (Oliveira Junior et al., 2020).

Diante disso, o presente estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre a interação entre plantas de cobertura e estratégias de adubação de sistema, visando otimizar o aproveitamento de nutrientes e promover maior eficiência agrônômica e sustentabilidade dos sistemas produtivos. O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis no cultivo da soja, tendo como objetivos específicos avaliar os efeitos de diferentes culturas de cobertura e estratégias de adubação no estado nutricional da soja, por meio da determinação dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

2.MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, localizada nas coordenadas 27° 43' 31" S e 52° 17' 40" W, a uma altitude aproximada de 650 metros, durante o ano de 2024. O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck et al., 2018).

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm para caracterização química da área experimental. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos, Fertilizantes, Plantas e Corretivos S/S Ltda (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados das análises químicas das amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS

Camada (cm)	pH (água)	Al (cmolc dm ⁻³)	Ca (cmolc dm ⁻³)	Mg (cmolc dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	MO (%)	Argila (%)	V (%)	CTC (cmolc dm ⁻³)	m (%)
0 – 10	6,00	0,00	6,22	3,66	221	13,1	3,5	52	80,60	12,96	0,00
10 – 20	4,92	0,90	2,90	1,91	130	9,7	2,3	63	42,71	12,04	14,89

Fonte: Laboratório de Análises de Solos, Fertilizantes, Plantas e Corretivos S/S Ltda.
Nota: pH (água): potencial hidrogeniônico; Al: alumínio; Ca:cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca de cátions; K: potássio; P: fósforo; MO: matéria orgânica; Argila: teor de argila; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 9), com quatro repetições, totalizando 72 parcelas experimentais. O fator A correspondeu a duas estratégias de adubação: 1) na semeadura da soja e 2) adubação de sistema. Quando o manejo da adubação foi a “adubação de sistema”, a adubação destinada para a cultura da soja foi realizada de forma antecipada, ou seja, a quantidade de adubo destinada para a soja foi aplicada no momento da semeadura das culturas de cobertura antecedentes ao cultivo da soja.

O fator B correspondeu a nove culturas de cobertura, compostas por: aveia preta, centeio, ervilhaca, aveia preta + centeio (AVP+CENT), aveia preta + ervilhaca (AVP+ERV), centeio + ervilhaca (CENT+ERV), aveia preta + centeio + ervilhaca (AVP + CENT + ERV), mix comercial (aveia preta + aveia branca + centeio + ervilhaca + nabo) e pousio (Tabela 2).

No pousio, ocorreu o desenvolvimento de plantas espontâneas, como azevém, nabo e ervilhaca, oriundas do banco de sementes do solo.

A semeadura das culturas de cobertura foi realizada no dia 5 de junho de 2024, obedecendo às condições climáticas e operacionais adequadas para o estabelecimento das espécies.

Tabela 2 - Identificação das culturas de cobertura utilizadas no experimento, em cultivo solteiro e em consórcio

Cobertura	Cultivar	Espaçament o (m)	Semente kg ha ⁻¹	NPK ¹		N
				kg ha ⁻¹		
Aveia Preta (AVP)	Embrapa 139	0,17	60	300		-
Centeio (CENT)	Comum	0,17	60	300		-
Ervilhaca (ERV)	Unita	0,17	40	300		-
AVP + CENT	-	0,17	40 + 20	300		-
AVP + ERV	-	0,17	35 + 25	300		-
CENT + ERV	-	0,17	35 + 25	300		-
AVP + CENT + ERV	-	0,17	30 + 15 + 15	300		-
MIX*	Green Cover 2.5 A	0,17	60	300		-
Pousio	-	-	-	300		-

¹Fórmula: 05-20-20

*Aveia preta, aveia branca, centeio, ervilhaca e nabo.

O manejo das coberturas de inverno foi conduzido conforme apresentado na Tabela 2, contemplando diferentes espécies e combinações, com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre o sistema produtivo da soja. As culturas de cobertura foram semeadas em linhas espaçadas de 0,17 m, utilizando-se as quantidades de sementes recomendadas para cada tratamento.

Não foi feita adubação nitrogenada em cobertura, uma vez que o objetivo foi observar o desempenho das espécies e misturas sob condições uniformes de fertilização.

As espécies aveia preta (Embrapa 139), centeio (comum) e ervilhaca (Unita) foram utilizadas de forma isolada e em combinações binárias e ternárias, além de um mix comercial (Green Cover 2.5 A), que incluiu aveia preta, aveia branca, centeio, ervilhaca e nabo. Cada mistura foi implantada nas proporções descritas na Tabela 2, respeitando a densidade total de semeadura ajustada para o equilíbrio entre as espécies.

O tratamento pousio foi mantido sem cultivo de cobertura, permitindo o crescimento natural de plantas espontâneas oriundas do banco de sementes do solo, como azevém, nabo e ervilhaca.

Após o ciclo das coberturas, as plantas de cobertura foram manejadas mecanicamente com rolo-faca, em momento próximo à semeadura da soja, buscando maximizar a formação de palhada e a cobertura do solo.

A adubação foi realizada conforme as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) para a cultura da soja.

Cada unidade experimental foi constituída por uma área de 40 m² (10 × 4 m), com quatro repetições. A semeadura da soja foi realizada utilizando a cultivar BMX Torque I2X, em seis linhas espaçadas de 0,50 m, com densidade de 16 sementes por metro linear, o que correspondeu a aproximadamente 320.000 sementes por hectare.

Os tratos culturais durante o período foram realizados de acordo com as necessidades da cultura, nos quais foram aplicados inseticidas, herbicidas e fungicidas, com o objetivo de evitar danos por possíveis causas que pudessem ocorrer.

Durante o período de florescimento pleno da soja, foram coletados 16 trifólios com pecíolo por parcela, sendo um trifólio por planta, retirado do terço médio superior da haste principal, correspondente ao estágio fenológico R2.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório, onde foram lavadas com água destilada para eliminar possíveis impurezas. Em seguida, foram dispostas em bancada para uma pré-secagem ao ar livre e, posteriormente, acondicionadas em sacos de papel kraft.

O processo de secagem definitiva foi realizado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas. Em seguida, o material seco foi moído em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 1 mm (60 mesh), visando à obtenção de amostras finas e homogêneas, conforme a metodologia descrita por (Tedesco et al., 1995). Nas amostras de trifólios de soja, foram determinados os teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme os procedimentos analíticos descritos por Tedesco et al. (1995) no manual *Análise de solo, plantas e outros materiais*.

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos aos testes de normalidade e aditividade. Após a confirmação da normalidade dos resíduos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando houve diferenças significativas entre os tratamentos, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) para a comparação das médias.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de nitrogênio foliar na cultura da soja foi maior quando esta foi cultivada em sucessão à cultura de cobertura AVP, e quando a cultura da soja recebeu adubação no momento da semeadura. Este resultado diferiu dos constatados nos trifólios da cultura da soja cultivada em sucessão às demais culturas de cobertura, cultivadas com adubação. Os teores de nitrogênio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão às culturas de cobertura cultivadas em consórcio, não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Teor de nitrogênio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação

Tratamentos	Teor de nitrogênio foliar (%)	
	Adubação na soja	Adubação de sistema
AVP	8,21 aA	6,53 abB
AVP+CENT	7,06 bA	6,46 abA
POUSIO	7,04 bcA	6,58 abA
MIX	6,75 bcA	7,35 aA
CENT	6,66 bcA	6,76 abA
AVP+ERV	6,38 bcA	6,33 abA
CENT+ERV	6,26 bcB	7,21 abA
ERV	6,21 bcA	6,31 bA
AVP+CENT+ERV	6,03 cB	6,88 abA

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si na coluna.

Quando o manejo da adubação foi realizado no momento da semeadura das culturas de cobertura de inverno (adubação de sistema), o maior teor de nitrogênio foliar na cultura da soja foi alcançado quando esta foi cultivada em sucessão ao cultivo do MIX comercial. No entanto, o teor de nitrogênio foliar diferiu apenas quando a cultura da soja foi cultivada em sucessão à cultura de cobertura ERV, manejada sob adubação de sistema.

Os resíduos culturais influenciam diretamente a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta. Gramíneas como a aveia-preta e o centeio, por apresentarem elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), possuem taxas de decomposição e mineralização mais lentas, o que promove a liberação gradual do nutriente ao longo do ciclo da cultura sucessora. Em contrapartida, leguminosas como a ervilhaca exibem baixa relação C/N, o que favorece a rápida degradação microbiana e expressivo aporte de nitrogênio mineral na solução do solo (Aita; Giacomini, 2003).

Contudo, elevadas concentrações de N mineral no solo inibem a nodulação e reduzem a atividade da fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma vez que a soja passa a assimilar preferencialmente as formas nítricas e amoniacais disponíveis na solução, poupando o gasto

energético exigido pela simbiose. Dessa forma, a maior disponibilidade inicial de nitrogênio, decorrente da rápida decomposição da palhada das leguminosas, tendeu a reduzir parcialmente a atividade do *Bradyrhizobium* spp. nos tratamentos avaliados (Hungria; Campo; Mendes, 2007).

O maior teor de fósforo foliar foi observado na cultura da soja cultivada na área em POUSIO, o qual não diferiu do teor de fósforo foliar obtido na cultura da soja cultivada em sucessão à AVP + CENT + ERV, CENT + ERV e MIX, independente da estratégia relativa ao manejo da adubação. Sendo assim, esses tratamentos apresentaram maiores teores de fósforo foliar dos trifólios em relação aos demais (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de fósforo foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura, independente da estratégia de adubação

Tratamento	teor de fósforo foliar (%)
POUSIO	0,47 a
AVP+CENT+ERV	0,44 ab
CENT+ERV	0,42 ab
MIX	0,41 ab
AVP+ERV	0,35 abc
AVP+CENT	0,34 bc
CENT	0,33 bc
AVP	0,32 bc
ERV	0,27 c

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente.

A variação observada nos teores de fósforo foliar, com os maiores valores encontrados na área em pousio, pode ser explicada pela forma como esse elemento se comporta no solo. O fósforo se movimenta muito pouco no solo, e a difusão é o principal mecanismo que leva esse nutriente até a superfície das raízes (Costa et al., 2006). Por isso, a sua disponibilidade para as plantas depende muito da proximidade com o sistema radicular, da atividade biológica e da ciclagem de nutrientes que vem da decomposição dos resíduos vegetais (Malavolta, 2006; Moreira; Siqueira, 2006).

Além disso, a liberação de compostos orgânicos pelas raízes, como ácidos orgânicos e enzimas fosfatases, ajuda a liberar o fósforo que está retido no solo e indisponível para a planta. Esse processo aumenta a quantidade do nutriente perto das raízes, facilitando a sua absorção pelas plantas (Araújo; Machado, 2006).

Tabela 5 - Teor de fósforo foliar na cultura da soja cultivada em diferentes manejos de adubação

Tratamentos	Teor de fósforo foliar (%)
Adubação na semeadura da soja	0,38 ^{ns}
Adubação antecipada	0,37

^{ns} não significativo, pelo teste Tukey.

O teor de fósforo foliar da soja foi semelhante nos dois manejos de adubação, indicando que colocar o fertilizante no inverno atendeu a cultura de verão tão bem quanto a aplicação na linha de semeadura. Isso pode ocorrer em razão da fertilidade já construída da área, que apresentava teor de fósforo de 13,1 mg/dm³ na camada superficial (0 a 10 cm), classificado como alto para um solo com 52% de argila (Tabela 1).

A antecipação da adubação fosfatada na linha das culturas de inverno apresenta eficiência semelhante à aplicação no sulco de semeadura da soja em sistemas de plantio direto consolidados e com alta fertilidade. Essa estratégia reduz a fixação do fósforo porque a aplicação localizada restringe o contato do adubo a um volume limitado de solo, evitando que o nutriente fique exposto aos pontos de retenção de toda a área. Posteriormente, as plantas de cobertura absorvem o nutriente disponível e, após o manejo mecânico ou químico, promovem sua liberação gradual por meio da decomposição da palhada, deixando o elemento disponível na região de maior crescimento das raízes da soja (Steiner et al., 2012).

Os teores de potássio foliar dos trifólios da soja resultaram em diferenças quando foi realizado o manejo de adubação da soja no momento da semeadura, situação em que a cultura foi semeada em sucessão às coberturas MIX e CENT + AVP + ERV e na área em POUSIO. No entanto, esses valores não diferiram quando a soja foi cultivada em sucessão às culturas de cobertura ERV, CENT, CENT + ERV e AVP + CENT. Por outro lado, o teor de potássio foliar diferiu apenas quando a cultura da soja foi cultivada em sucessão às culturas de cobertura AVP e AVP + ERV, manejada sob adubação no momento da semeadura da soja (Tabela 6).

A soja, quando cultivada em sucessão ao MIX, resultou em maior teor foliar de potássio ao receber adubação no momento da semeadura em relação à adubação de sistema. Este comportamento também foi observado na soja cultivada em sucessão à associação CENT + AVP + ERV. Por outro lado, quando cultivada em sucessão à AVP, o teor foliar de potássio foi maior na área manejada com adubação de sistema em comparação à adubação na cultura.

Tabela 6 - Teor de potássio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação

Tratamentos	Teor de potássio foliar (%)	
	Adubação na soja	Adubação de sistema
MIX	2,74 aA	2,13 aB
CENT+AVP+ERV	2,65 aA	2,05 aB
POUSIO	2,54 aA	2,27 aA
ERV	2,39 abA	2,20 aA
CENT	2,35 abA	2,36 aA
CENT+ERV	2,24 abA	2,26 aA
AVP+CENT	2,23 abA	2,39 aA
AVP	1,96 bB	2,30 aA
AVP+ERV	1,95 bA	2,18 aA

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si na coluna.

A maior absorção de potássio na adubação realizada no momento da semeadura está associada à maior disponibilidade de K^+ na solução do solo em períodos de maior demanda da cultura. Como o suprimento às raízes ocorre prioritariamente por difusão, a aplicação localizada da adubação na semeadura maximiza o gradiente de concentração na rizosfera (Meurer, 2006). Essa alta concentração no sulco assegura o contato precoce do sistema radicular em desenvolvimento com o nutriente, otimizando o gasto energético da planta na busca por nutrientes no perfil do solo. Consequentemente, o fluxo contínuo e concentrado na zona de absorção ativa facilita o deslocamento do nutriente para a parte aérea, resultando em maiores teores foliares ao longo do ciclo, mesmo em solos sob sistema de plantio direto (Pesini et al., 2024).

Por outro lado, a equivalência de teores foliares observada na adubação antecipada pode estar relacionada à dinâmica entre as formas em solução e trocável do solo (Meurer, 2006), associada à eficiente ciclagem de potássio promovida pelas culturas de cobertura. Por não ser estrutural, o potássio é rapidamente liberado da palhada pela ação da chuva e da decomposição (Silva et al., 2014), atuando como uma fonte de liberação gradual capaz de suprir as necessidades da cultura sucessora.

Em relação aos teores de cálcio nos trifólios da cultura da soja, os tratamentos MIX e POUSIO resultaram em maiores teores de Ca foliar, diferenciando-se da AVP, que registrou o menor teor de cálcio nos trifólios da soja, quando a adubação foi realizada no momento da semeadura da soja. Já na adubação de sistema, o comportamento foi homogêneo, não havendo diferença significativa entre nenhum dos tratamentos avaliados.

Tabela 7 - Teor de cálcio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura e sob dois diferentes manejos de adubação

Tratamentos	Teor de cálcio foliar (%)	
	Adubação na soja	Adubação de sistema
MIX	0,38 aA	0,41 ^{ns} A
POUSIO	0,38 aA	0,41 A
CENT	0,31 abB	0,49 A
CENT+AVP+ERV	0,30 abB	0,53 A
CENT+ERV	0,27 abB	0,47 A
AVP+CENT	0,27 abB	0,48 A
ERV	0,22 abB	0,51 A
AVP+ERV	0,22 abB	0,44 A
AVP	0,21 bB	0,48 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente e médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si.^{ns} Não significativo, na coluna.

O ponto de maior destaque ocorreu na comparação entre as duas estratégias de adubação. Para as culturas de cobertura CENT, ERV, AVP, e suas associações, a adubação de sistema resultou em teores de cálcio nas folhas da soja significativamente maiores do que a adubação feita na linha de semeadura. As únicas exceções foram observados quanto aos teores foliares de Ca na soja cultivada em sucessão ao MIX como cultura de cobertura (antecedente) e na soja cultivada na área mantida em Pousio. Nestas condições os teores de Ca foliares foram semelhantes em ambas as formas de manejo de adubação (Tabela 7).

Na adubação realizada na semeadura da cultura principal, a elevada disponibilidade imediata de potássio na solução do solo pode ter limitado a absorção de cálcio pelas plantas, reduzindo seus teores foliares em alguns tratamentos devido à competição por sítios de troca nas raízes (Meurer, 2006). Altas concentrações de K⁺ na fase líquida reduzem a atividade do cálcio e intensificam o antagonismo entre esses cátions, cenário característico de adubações concentradas no sulco de semeadura (Vieira; Vieiro, 2025).

Por outro lado, a adubação antecipada e a consequente ausência de variações negativas nos teores de cálcio sugerem que a distribuição temporal dos nutrientes atenua os efeitos dessa competição iônica imediata (Meurer, 2006). Como o cálcio apresenta baixa mobilidade interna

e seu suprimento radicular ocorre predominantemente por fluxo de massa, sua absorção é estritamente dependente da dinâmica da água no solo e da taxa transpiratória vegetal (Vitti; Lima; Cicarone, 2006).

Nesse sentido, o maior intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e a implantação da cultura favorece a redistribuição hídrica e de solutos na matriz do solo (Meurer, 2006). Esse processo é potencializado pela presença das culturas de cobertura, que melhoram atributos físicos como agregação, infiltração e retenção de água, otimizando o transporte e o acúmulo de cálcio no sistema solo-planta (Vieira; Vieiro, 2025).

Os teores de magnésio foliar na cultura da soja não apresentaram diferenças em sucessão às culturas de cobertura, indicando que essas não influenciaram os teores de magnésio nos trifólios da soja (Tabela 8).

Tabela 8 - Teor de magnésio foliar na cultura da soja cultivada em sucessão à diferentes culturas de cobertura

Tratamentos	Teor de magnésio foliar (%)
CENT+ERV	0,28 ^{ns}
CENT+AVP+ERV	0,27
POUSIO	0,25
MIX	0,24
ERV	0,24
AVP+CENT	0,24
CENT	0,23
AVP+ERV	0,22
AVP	0,22

^{ns} Não significativo.

Sendo assim a ausência de diferenças pode estar relacionada à maior estabilidade do magnésio no sistema solo-planta, apresentando menor sensibilidade às variações de manejo em comparação a outros nutrientes (Vieira; Vieiro, 2025).

No entanto, constatarem-se maiores teores de magnésio foliar nos trifólios da soja na adubação antecipada em comparação à aplicação realizada na semeadura da cultura (Tabela 9). Esse resultado está associado ao antagonismo iônico entre o potássio e o magnésio, visto que elevadas concentrações de K^+ reduzem a absorção de Mg^{2+} por competição direta pelos mesmos sítios de transporte radicular (Meurer, 2006). Como a adubação potássica na semeadura ocorre de forma localizada no sulco, a alta densidade de carga do K^+ na rizosfera intensificou a competição entre os cátions, limitando a entrada do magnésio.

Tabela 9 - Teor de magnésio foliar na cultura da soja cultivada em diferentes manejos de adubação

Tratamentos	Teor de magnésio foliar (%)
Adubação antecipada	0,27 a
Adubação na semeadura da soja	0,21 b

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si.

Em contrapartida, a adubação antecipada propicia um maior intervalo temporal para a difusão e redistribuição dos nutrientes na matriz do solo. Esse processo atenua os efeitos da competição imediata na zona de absorção radicular ativa e favorece o suprimento contínuo de magnésio para a planta. Sendo assim, a eficiente translocação desse nutriente via xilema garante o aporte adequado até a parte aérea, consolidando teores foliares superiores e mais estáveis ao longo do ciclo (Vitti; Lima; Cicarone, 2006).

4. CONCLUSÕES

Maiores teores foliares de nitrogênio na soja ocorrem com o uso de aveia preta solteira associada à adubação na semeadura, ou com o MIX comercial associado à adubação de sistema.

Os maiores teores foliares de fósforo ocorrem quando a soja é cultivada na área de pousio ou em sucessão ao MIX comercial e ao consórcio aveia preta + centeio + ervilhaca, demonstrando que a adubação de sistema mantém teores desse nutriente equivalentes aos do manejo de adubação feito no momento da semeadura da soja.

Para o potássio, os maiores teores foliares ocorrem nos tratamentos MIX comercial, pousio e no consórcio aveia preta + centeio + ervilhaca, e os teores observados não mudaram em função da estratégia de adubação utilizada.

A adubação de sistema eleva os teores foliares de cálcio, mas principalmente de magnésio na soja, em comparação à adubação na semeadura.

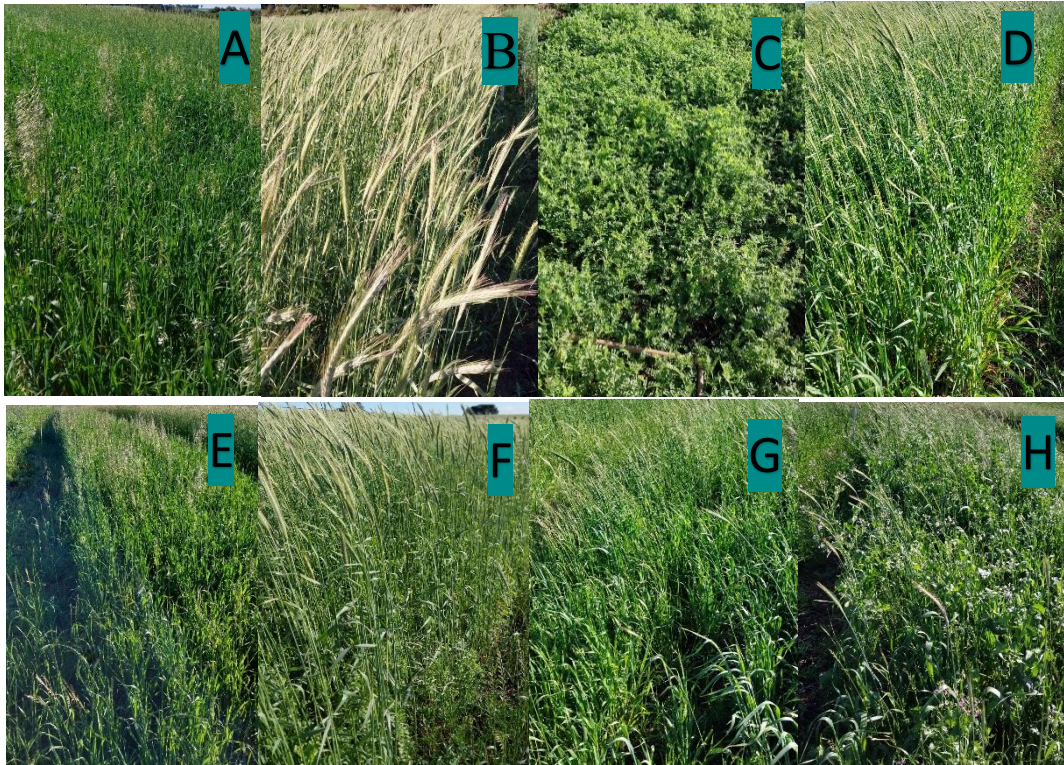
Os teores foliares de magnésio não mudaram em função das plantas de cobertura isoladas ou consorciadas, sendo influenciados exclusivamente pelas estratégias de adubação.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. de T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 254–271.
- ASSMANN, T. S. *et al.* Adubação de sistemas: o papel das plantas de cobertura na fertilidade do solo e na produtividade das culturas. **Revista de Ciências Agro veterinárias**, Lages, v. 17, n. 1, p. 133–145, 2018.
- BOENI, M. *et al.* Culturas de cobertura de solo e seus benefícios. In: STEFFEN, G. P. K. *et al.* (org.). **Culturas de cobertura de solo em sistemas de produção de grãos**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021. p. 11–25.
- CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendações de adubação. In: CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. p. 130.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26: v. 13, n. 9: nono levantamento, jun. 2026**. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-9o-levantamento_2026.pdf Acesso em: 18 jun. 2026.
- COSTA, J. P. V. da *et al.* Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828–835, 2006.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161–168, 2005.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p. (Documentos, 349). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundialebrasileiro.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2026.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 115–121.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MALVEZI, K. E. D. *et al.* Dinâmica de nutrientes do solo em sistema de plantio direto. **Acta Iguazu**, Toledo, v. 4, n. 1, p. 50–62, 2015.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 282–293.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

- OLIVEIRA JUNIOR, A. de *et al.* Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. *In*: SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 123–141.
- PESINI, G. *et al.* Effect of potassium rates and application methods in no-till on soil K availability and crop yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 48, p. 1–14, 2024.
- REIS, V. M. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. *In*: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 154–168.
- SANTOS, H. P. dos *et al.* **Evolução da fertilidade de solo em sistemas de produção mistos sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003.
- SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Sistemas de Produção, 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123928>. Acesso em: 18 abr. 2026.
- SILVA, M. P. da *et al.* Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 233–243, 2014.
- SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. *In*: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 216–235.
- STEINER, F. *et al.* Phosphorus and potassium balance in soil under crop rotation and fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 11–20, 2012.
- STRECK, E. V. *et al.* As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. *In*: STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. p. 86–90.
- TEDESCO, M. J. *et al.* Análises de plantas e resíduos orgânicos. *In*: TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. p. 89–97.
- VIEIRA, R. C. B.; VIEIRO, F. Ciclo biogeoquímico do cálcio e do magnésio. *In*: SOUZA, R. O. *et al.* (ed.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2025. p. 233–246.
- VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. *In*: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 300–305.

APÊNDICE A – REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS CULTURAS DE COBERTURA UTILIZADAS NO EXPERIMENTO. A) AVEIA PRETA, B) CENTEIO, C) ERVILHACA, D) AVEIA PRETA + CENTEIO, E) AVEIA PRETA + ERVILHACA, F) CENTEIO + ERVILHACA, G) AVEIA PRETA + CENTEIO + ERVILHACA, H) MIX



APÊNDICE B – REGISTRO FOTOGRÁFICO DA IMPLANTAÇÃO, ESTABELECIMENTO E AVALIAÇÃO DA CULTURA DA SOJA.

