

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

GUTIERRY APARECIDO GARCIA DUTRA

**INFLUENCIA DA UTILIZAÇÃO DE FOSFITO E PLANTAS DE
COBERTURAS EM CARACTERES AGRONOMICOS NA CULTURA DO
FEIJÃO**

CHAPADÃO DO SUL-MS
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

GUTIERRY APARECIDO GARCIA DUTRA

**INFLUENCIA DA UTILIZAÇÃO DE FOSFITO E PLANTAS DE
COBERTURAS EM CARACTERES AGRONOMICOS NA CULTURA DO
FEIJÃO**

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

CHAPADÃO DO SUL-MS
2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Gutierry Aparecido Garcia Dutra.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Profª. Drª. Rita de Cássia Félix Alvarez
Membro da Banca Examinadora

Eng. Agr. Luiz Eduardo Bezerra da Silva Moreira
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 15 de setembro de 2025.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 15/09/2025, às 08:27, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Felix Alvarez, Professora do Magistério Superior**, em 15/09/2025, às 08:30, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Eduardo Bezerra da Silva Moreira, Usuário Externo**, em 15/09/2025, às 08:49, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5871734** e o código CRC **5919C746**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000705/2025-41

SEI nº 5871734

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e saúde concedidas durante toda a minha caminhada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão ao meu pai, Aparecido Camilo Dutra, e à minha mãe, Rosangela França Garcia, pelo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim. Vocês são a base de tudo o que conquistei até aqui.

A minha namorada, Emilly Melo Faria, agradeço pelo incentivo constante, pela compreensão nos momentos de ausência e por ser fonte de força e motivação durante essa jornada.

À minha família, por todo incentivo, compreensão e palavras de encorajamento nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e por estarem ao meu lado em todas as fases deste percurso.

Agradeço especialmente ao meu Grupo de Estudos em Manejo e Conservação do Solo (GEMCS), pela dedicação, troca de conhecimentos e apoio mútuo durante toda a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1. Descrição da área.....	3
2.2. Histórico da área.....	5
2.3. Implantação do experimento	5
2.4. Manejo fitossanitário	6
2.5. Avaliações agronômicas	7
2.6. Avaliação de compactação do solo.....	7
2.7. Análise estatística	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4. CONCLUSÃO.....	15
5. REFERÊNCIAS	16

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
01.	Características químicas e granulométricas do solo na área experimental com e sem Fosfito anterior à semeadura do experimento nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m respectivamente.....	5
02.	Resumo da análise de variância para os tratamentos (com e sem fosfito) em função das variáveis analisadas.....	9

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01.	Precipitação e temperaturas médias durante o período de condução do experimento na safra de 2024/2025 para a cultura da soja, fonte: INOVAGRI (2025).....	5
02.	Ilustração da disposição das parcelas e dos tratamentos a campo....	7
03.	Comparação de médias para os atributos Número de grãos, Altura de plantas, Número de nós e Altura de inserção da primeira Vagem do feijão submetidos e não a fosfito.....	10
04.	Comparação de médias para os atributos Número de Nós Reprodutivos, Número de Vagens, Peso de 1000 grãos e Produtividade de feijão submetidos e não a fosfito.....	12
05.	Resistência à penetração de raízes do feijão em sistema de plantas de cobertura com e sem fosfito.....	14

RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, especialmente na região Centro-Oeste, onde tem ganhado espaço em sistemas de produção intensiva. Práticas como o uso de plantas de cobertura e a adubação com fosfito vêm sendo exploradas como alternativas sustentáveis para melhorar o desempenho agrônomo da cultura. No entanto, os efeitos dessas práticas, isoladas ou combinadas, ainda necessitam serem melhor compreendidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adubação com fosfito e da utilização de plantas de cobertura sobre a cultura do feijão. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, câmpus de Chapadão do Sul em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, os tratamentos consistiram em diferentes coberturas de solo e adubação com e sem fosfito. Os resultados indicam que a aplicação de fosfito não proporcionou benefícios agrônômicos ao cultivo do feijão, podendo inclusive ter limitado o desempenho das plantas em diferentes fases de desenvolvimento. Estudos adicionais são recomendados para avaliar a dinâmica do fosfito no metabolismo da planta e sua interação com outros nutrientes, especialmente o fósforo. Em relação à resistência à penetração do solo, as espécies de cobertura influenciaram significativamente a estrutura física, com destaque para *Urochloa brizantha* cv. Piatã, que reduziu a compactação em todas as profundidades avaliadas.

PALAVRAS CHAVE: adubação verde, fósforo, remineralização

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of great socioeconomic importance in Brazil, especially in the Central-West region, where it has gained ground in intensive production systems. Practices such as the use of cover crops and phosphite fertilization have been explored as sustainable alternatives to improve the agronomic performance of the crop. However, the effects of these practices, isolated or combined, are still poorly understood. The objective of this study was to evaluate the effects of phosphite fertilization and the use of cover crops on the morphophysiological characteristics and productivity of common bean. The experiment was conducted at the Federal University of Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul campus, in an Oxisol Red Yellow with a clayey texture. The treatments consisted of different soil covers and fertilization with and without phosphite. The results indicate that the application of phosphite did not provide agronomic benefits to common bean cultivation and may even have limited plant performance at different stages of development. Further studies are recommended to evaluate the dynamics of phosphite in plant metabolism and its interaction with other nutrients, especially phosphorus. Regarding soil penetration resistance, cover species significantly influenced the physical structure, with emphasis on *Urochloa brizantha* cv. Piatã, which reduced compaction at all depths evaluated.

KEYWORDS: green manure, phosphorus, remineralization

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais leguminosas cultivadas e consumidas no Brasil, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar da população (Uebersax et al., 2023). Além de seu elevado valor nutricional, rico em proteínas, fibras, ferro e outros micronutrientes, o feijoeiro é uma cultura relevante para a agricultura familiar e sistemas de produção diversificados (Islam et al., 2024). Na região Centro-Oeste do Brasil, o cultivo do feijão tem ganhado espaço em sistemas irrigados e de sucessão de culturas, especialmente em áreas anteriormente destinadas ao milho ou à soja, devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas e sistemas produtivos.

Na safra recente, o Brasil tem se mantido como um dos maiores produtores mundiais de feijão: a produção total brasileira (somando 1.^a, 2.^a e 3.^a safras) vem ficando na faixa de três milhões de toneladas por safra, garantindo principalmente o abastecimento interno e pequenas exportações pontuais. Essa recuperação/safra está sendo observada após perdas climáticas em ciclos anteriores e reflete o caráter multipartido (três safras anuais) da cultura no país (CONAB 2025). Os estados que mais se destacam na produção nacional incluem Paraná, Minas Gerais, Bahia, Goiás e Mato Grosso, em que Paraná frequentemente ocupando a liderança. Esses estados combinam áreas de cultivo tanto de pequenos produtores (agricultura familiar) quanto de plantios maiores, e a heterogeneidade regional explica diferenças fortes em rendimento e práticas agronômicas (CONAB 2025). No panorama mundial, a produção de feijão situa-se na casa de 28–29 milhões de toneladas anuais (dados FAO / Our World in Data referentes ao ciclo 2022–2023), com países como Índia, China, Myanmar e alguns países da América Latina e África entre os maiores produtores. A posição do Brasil no ranking global é de destaque regional (entre os maiores produtores do mundo), mas abaixo dos maiores produtores asiáticos em termos de volume total.

Nesse contexto, o uso de plantas de cobertura tem se consolidado como prática sustentável e estratégica para a melhoria da qualidade do solo, promovendo o aumento da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a cobertura do solo e a supressão de plantas daninhas (Quinterelli et al., 2022). No entanto, os benefícios agronômicos desse manejo são influenciados pelo tempo de adoção e pelas interações com outras práticas culturais, como adubações e manejos químicos.

Entre os insumos utilizados na agricultura moderna, o fosfito tem se destacado por sua aplicação tanto como fertilizante foliar quanto como indutor de resistência em plantas (Dan et al., 2021). Quimicamente, os fosfitos (Φ_i ; $H_2PO_3^-$) correspondem a uma forma reduzida do fósforo inorgânico (P_i ; $H_2PO_4^-$), diferenciando-se pela substituição de um átomo de oxigênio por um de hidrogênio (Vinas et al., 2020).

O uso de fosfitos em diferentes culturas está associado, principalmente, à sua capacidade de ativar mecanismos de defesa contra patógenos, além da hipótese de contribuir para a nutrição vegetal via fornecimento de fósforo (Mohammadi et al., 2021). Contudo, é importante ressaltar que as plantas não metabolizam diretamente o Φ_i , o que limita sua utilização como fonte imediata de fertilizante. Ainda assim, devido à sua baixa solubilidade e reduzida reatividade com os constituintes do solo, os fosfitos podem ser considerados uma fonte estável de fósforo. A conversão do Φ_i em P_i ocorre somente quando há interação com microrganismos capazes de oxidá-lo, tornando possível seu aproveitamento como adubação complementar (Manna et al., 2016).

Assim, embora os fosfitos apresentem potencial para elevar os teores de fósforo no solo e aumentar sua disponibilidade para absorção pelas plantas, a eficácia desse processo ainda depende de maior comprovação científica. Estudos recentes destacam a necessidade de aprofundar pesquisas sobre o papel dos fosfitos como fonte alternativa ou suplementar de adubação fosfatada em sistemas agrícolas (Morales-Morales et al., 2022). Diante disso, a interação entre o uso de fosfito e a presença de plantas de cobertura surge como uma abordagem potencialmente promissora, embora ainda pouco explorada. A cobertura vegetal pode influenciar a dinâmica dos nutrientes no solo, incluindo o fósforo, o que poderia alterar a resposta das plantas ao fosfito além de influenciar na resistência a penetração das raízes do feijão. Assim, entender como esses dois manejos interagem pode fornecer subsídios importantes para o aprimoramento de sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Desta forma, o estudo a adubação com fosfito e o uso de plantas de cobertura podem influenciar de forma significativa o desenvolvimento agrônômico e a produtividade do feijoeiro. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos isolados e combinados da adubação com fosfito e da presença de plantas de cobertura sobre características morfofisiológicas e produtivas do feijoeiro e de resistência a penetração do solo na região Centro-Oeste do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato do Grosso do Sul, município de Chapadão do Sul, estado de Mato Grosso do Sul, por uma safra, com as coordenadas geográficas 18°46'13,4" s e 52°37'19,8" w e altitude de 819 m. O clima da região segundo a classificação de Koppen é tipo AW, com concentrações maiores de chuva no verão e o inverno submetido a períodos de seca, com precipitação média anual de 1.850 mm e umidade relativa média anual de 64,8%, apresenta temperatura média anual variando de 13°C a 28°C (Castro et al., 2012).

Os dados pluviométricos durante a condução dos experimentos constam na Figura 1. Observa-se que as chuvas ocorreram de forma irregular ao longo do período, com picos esporádicos de precipitação mais intensa, chegando a valores próximos de 70–80 mm em dias isolados. No entanto, a maior parte do período apresentou chuvas diárias baixas, muitas vezes inferiores a 10 mm.

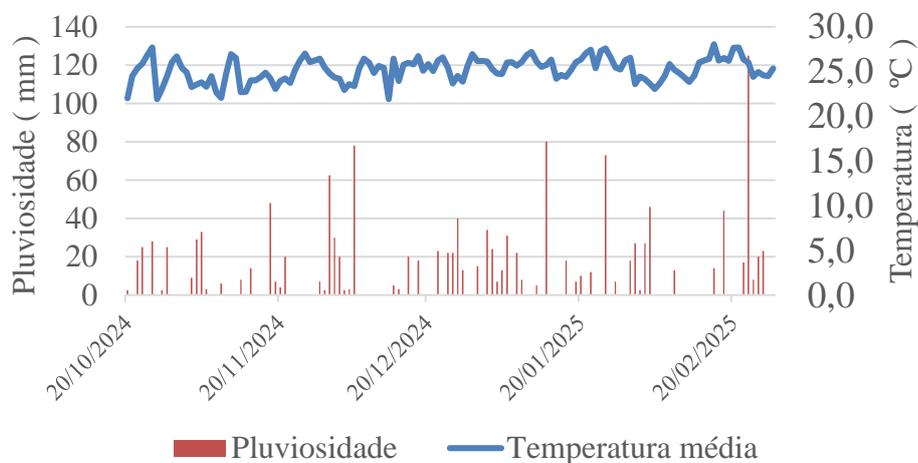


Figura 1. Precipitação e temperaturas médias durante o período de condução do experimento na safra de 2024/2025 para a cultura da soja, fonte: INOVAGRI (2025).

Estima-se que a precipitação acumulada no período esteja em torno de 450–500 mm. A linha azul demonstra relativa estabilidade, com temperaturas médias diárias variando entre aproximadamente 24 °C e 28 °C, com poucos desvios. A média geral para o período é próxima de 26 °C. A exigência hídrica normalmente do feijão fica na faixa de 300 a 500 mm de água bem distribuída ao longo do ciclo, com maior sensibilidade à falta de água nas fases de florescimento e enchimento de vagens, sendo a pluviosidade incidente ao longo do ciclo da cultura suficiente (Munoz-Perea, 2007)

O solo da área experimental utilizada para a condução do experimento classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al.,2018) de textura argilosa, com composição granulométrica de 49,5% de argila, 48% de areia e 2,5% de silte. A coleta de solo para análise foi realizada em 10/05/2024. A caracterização química do solo foi realizada nas profundidades de 0,0–0,20 e 0,20–0,40 m (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo nas áreas experimentais com e sem Fosfito anterior à semeadura do experimento nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m respectivamente.

Prof	P	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V
(m)	Resina mg/dm ³	g dm ⁻³	Melich mg/dm ³	-----cmol _c dm ⁻³ -----								%
Com aplicação de Fosfito (Phi)												
0,0-0,20	31,13	30,59	23,35	0,35	3,81	0,84	0,06	4,72	5,00	5,06	9,72	51,44
0,20-0,4	15,49	21,10	4,83	0,15	2,27	0,59	0,09	5,03	3,01	3,1	8,04	37,44
Sem aplicação de fosfito (Phi)												
0,0-0,20	27,94	28,90	16,59	0,30	3,74	0,75	0,07	4,68	4,79	4,86	9,47	50,58
0,20-0,4	8,50	21,10	3,72	0,15	2,32	0,58	0,09	5,03	3,05	3,14	8,08	37,75

Prof	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Argila	Silte	Areia	pH
(m)	-----			mg/dm ⁻³ -----				-----g/dm ³ -----			CaCl ²
Com aplicação de Fosfito (Phi)											
0,0-0,20	6,40	0,39	1,21	53,68	15,57	5,24	4,44	495	25	480	5,2
0,20-0,4	14,49	0,28	0,99	64,05	6,64	2,44	2,72	520	25	455	4,8
Sem aplicação de fosfito (Phi)											
0,0-0,20	6,71	0,37	1,38	53,03	14,18	5,51	6,18	495	25	480	5,2
0,20-0,4	3,83	0,28	1,01	65,44	7,19	2,82	3,83	520	25	455	4,8

Os teores de fósforo, avaliados pelos métodos de Mehlich e resina, apresentaram classificação alta na camada superficial (0,0–0,20 m) e baixa (Mehlich) ou adequada (resina) na camada de 0,20–0,40 m, tanto nos tratamentos com aplicação de fosfito quanto nos tratamentos sem fosfito. Os níveis de potássio foram considerados altos na camada de 0,0–0,20 m e adequados em 0,20–0,40 m para ambos os tratamentos. Em relação aos micronutrientes, o boro apresentou teores médios nas duas profundidades em todas as condições. Já os teores de cobre, ferro, manganês e zinco, determinados por Mehlich, foram classificados como altos nas duas camadas, independentemente da aplicação de fosfito.

2.2.Histórico da área

Em setembro de 2021 foi realizado o preparo convencional de solo para incorporação de calcário visando elevar a saturação de bases para 50% (utilizando calcário com PRNT 90%). Logo após a área foi dividida em duas áreas: área I, com aplicação fosfato natural (Phi) contendo as concentrações de 8,23, 11,43, 0,46 e 36,78 % de P₂O₅ total, CaO total, MgO total e SiO₂, respectivamente, na dose de 2000 kg ha⁻¹ baseado na recomendação da empresa e na Area II sem aplicação de Phi. Em Agosto de 2022 foi se realizada novamente aplicação de Phi na dose de 2000 kg ha⁻¹ a lanço superficial baseado na recomendação da empresa.

Em 25/02/2023 foi realizada pré semeadura do *Stylosanthes* spp.(E) a lanço e logo após foi realizada a semeadura do milho em linhas (híbrido 30R520VYH) consorciado com plantas de cobertura em áreas com aplicação de Fosfito (Phi) e em áreas sem aplicação de Fosfito (Phi). Os tratamentos consistiram de milho solteiro; milho com *Urochloa brizantha* cv. Piatã (P); milho com *Stylosanthes* spp.(E); milho com *Urochloa Ruzizienses* (R); milho com *Urochloa Ruzizienses* (R) e *Stylosanthes* spp. (E); e milho com *Urochloa brizantha* cv. Piatã (P) e *Stylosanthes* spp. A colheita do milho ocorreu em 28/07/2023, permanecendo as plantas de cobertura na área, as quais foram dessecadas em Fevereiro de 2024. No início de março de 2024 foram semeadas novamente as plantas de cobertura, nas mesmas parcelas com as dimensões de 14 x 6 m (84 m²) e manejadas até o mês de outubro, quando houve a dessecação. Em 2 de novembro de 2024 foi semeado o Feijão avaliado neste trabalho, sobre as parcelas das plantas de coberturas.

2.3.Implantação do experimento

Na implementação da cultura do feijão, semeado no dia 02 de novembro, foi utilizada a cultivar de feijão-comum BRS Estilo, no espaçamento de 0,50 m entre linhas, com população de 318 mil sementes por hectare. As sementes foram tratadas seguindo as recomendações de 4 mL/Kg de sementes para ambos os produtos utilizados BioEnergy, No-Nema e Tricho-Turbo, além de grafite agrícola.

O delineamento experimental adotado foi o de parcela subdividida, em que a parcela foi considerada a aplicação com e sem fosfito, e a subparcela as parcelas das plantas de cobertura. Foram realizadas quatro repetições dentro de cada manejo de adubação. O croqui da área experimental está na Figura 2.

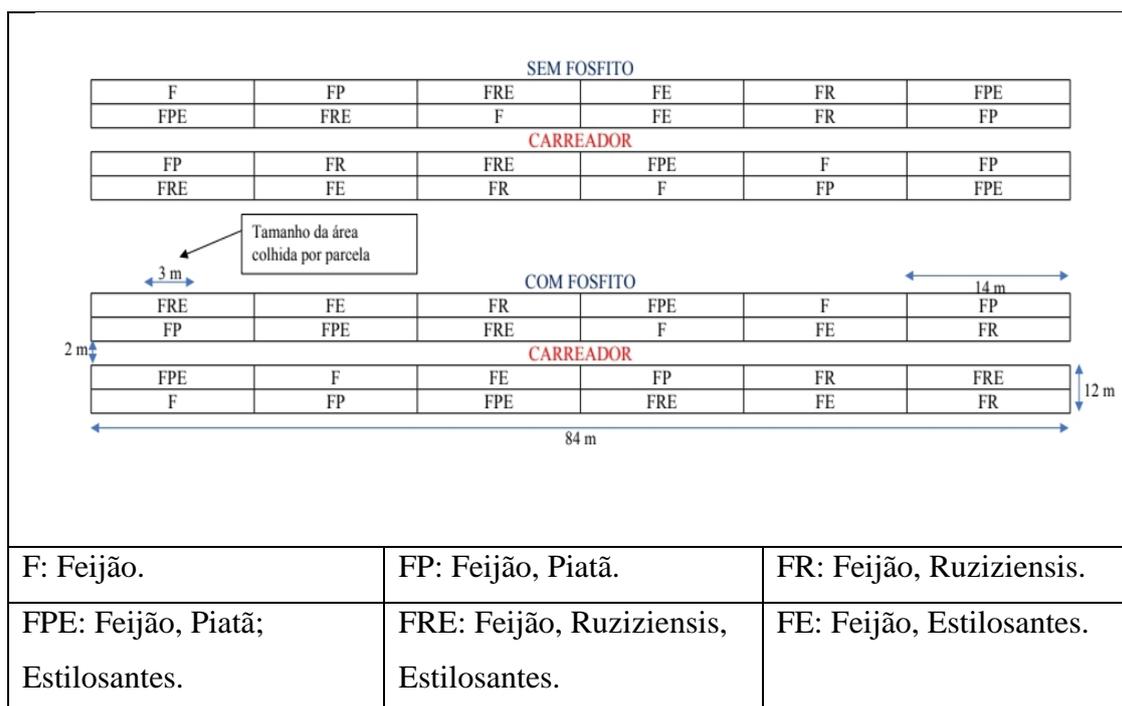


Figura 2. Ilustração da disposição das parcelas e dos tratamentos a campo.

A adubação de base foi composta pela aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O . Para o fornecimento do nitrogênio inicial, utilizou-se $44,44 \text{ kg ha}^{-1}$ de ureia com teor de 46% de N. O fósforo foi aplicado na forma de superfosfato simples (SS), com 18% de P_2O_5 , sendo utilizados $166,66 \text{ kg ha}^{-1}$, apenas nas parcelas sem aplicação de fosfito. Já o potássio foi fornecido por $93,33 \text{ kg ha}^{-1}$ de cloreto de potássio (KCl), com 60% de K_2O . No total, a fórmula utilizada na semeadura nas áreas sem fosfito correspondeu a 305 kg ha^{-1} de fertilizantes. Ressalta-se que, para as áreas com aplicação de fosfito, não foi utilizado superfosfato simples, visando avaliar a interação entre fosfito e a atividade de solubilizadores biológicos.

2.4 Manejo Fitossanitário

As aplicações de defensivos, adjuvantes e bioestimulantes foram realizadas em área experimental conforme cronograma de manejo previamente estabelecido, utilizando vazão de 180 L ha^{-1} . No manejo inicial, por hectare, aplicaram-se 4 kg de WG, 1 L de Fusilade e 0,5 L de óleo mineral (Quid Oil). Em 05/11/2024, foi realizada a aplicação de pré-emergente com Diquat na dose de $1,4 \text{ L ha}^{-1}$ antes da emergência do feijão. Em

14/11/2024, utilizaram-se os herbicidas Connect (1,0 L ha⁻¹) e Verdict Max (0,2 L ha⁻¹), acompanhados de adjuvante (150 mL ha⁻¹). No dia 28/11/2024, foi realizada a aplicação de Basagran (1,2 L ha⁻¹), Ampligo (0,2 L ha⁻¹) e do adjuvante Join (0,2 L ha⁻¹). Em 06/12/2024, aplicaram-se Bioamino Extra (0,5 L ha⁻¹), Tricho Turbo (0,2 L ha⁻¹) e Bioenergy (0,25 L ha⁻¹). Por fim, em 11/12/2024, realizou-se a aplicação de Connect (1,0 L ha⁻¹) e EssenzAmino (1,5 L ha⁻¹).

2.5. Avaliações agronômicas

A colheita foi realizada em 02/02/2025 sendo colhidas 4 linhas de 3 m em cada parcela. No dia 03/02/2025 iniciou-se as avaliações por parcela para a avaliação do número de grãos (G), altura de planta (AP) foi avaliada da base da inserção da planta até o ponto mais alto (último nó) com o auxílio de uma trena graduada em cm, número de nós (N), altura de inserção (AI) com o auxílio de uma trena graduada em cm, número de nós reprodutivos (NR), número de vagens (VG), peso de 100 grãos. Para a determinação da massa de 100 grãos, foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g, sendo os resultados corrigidos para 13% de umidade e posteriormente avaliada a produtividade (PROD, kg ha⁻¹) total de cada parcela com a umidade corrigida para 13%.

2.6. Avaliação de compactação do solo

A resistência a penetração foi avaliada com o equipamento penetrômetro eletrônico digital (PenetroLOG), operado manualmente dependendo basicamente da força do operador, indica a profundidade da penetração da haste e consta o cálculo da velocidade de penetração, além de avisar ao usuário se a velocidade está fora do padrão (Molin, 2012).

2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, analisados no software Sisvar. Também foi construído um gráfico de resistência a penetração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra a análise de variância, onde verifica-se que houve significância da influência dos tratamentos (uso de fosfito), para todas as variáveis avaliadas: número de grãos (G), altura de planta (AP, cm), número de nós (N), altura de inserção (AI, cm), número de nós reprodutivos (NR), número de vagens (VG), peso de 100 grãos e produtividade (PROD, kg ha⁻¹). Os resultados indicam que o tratamento com e sem fosfito influenciou diretamente o desempenho fisiológico e produtivo das plantas de feijão.

Apesar da utilização de plantas de cobertura no sistema de cultivo, não foi constatada influência significativa desse manejo sobre as variáveis agrônomicas avaliadas. Essa ausência de efeito pode ser atribuída, principalmente, ao tempo reduzido de adoção do manejo. Os benefícios agrônomicos e edáficos advindos do uso de plantas de cobertura, como o aumento da matéria orgânica, melhoria na estrutura do solo e maior disponibilidade de nutrientes, especialmente o fósforo, ocorrem de forma gradativa e acumulativa, sendo mais expressivos após ciclos prolongados de cobertura vegetal contínua, geralmente acima de cinco anos (Koudahe et al., 2022).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os tratamentos (com e sem fosfito) em função das variáveis analisadas.

FV	GL	G	AP	AI	N	NR	VG	PESO DE 100	PROD
Bloco	3	113,47 ^{ns}	143,98 ^{ns}	5,21 ^{ns}	57,95 ^{ns}	2,02 ^{ns}	5,40 ^{ns}	1459,72 ^{ns}	36175,94 ^{ns}
Tratamento	1	4202,91*	3876,04*	70,04*	2356,20*	137,76*	259,38 *	4816,67 *	317310,31*
Erro 1	3	26,47	26,94	0,84	36,86	1,96	4,4637	255,55	15616,76
C		207,31 ^{ns}	155,47 ^{ns}	21,81 ^{ns}	66,22 ^{ns}	5,42 ^{ns}	6,97 ^{ns}	704,17 ^{ns}	25023,27 ^{ns}
TRAT x C	5	477,65 ^{ns}	110,42 ^{ns}	5,15 ^{ns}	24,01 ^{ns}	3,69 ^{ns}	12,70 ^{ns}	376,67 ^{ns}	33543,60 ^{ns}
Erro 2	78	261,21	151,55	15,66	42,20	4,18	11,2904	527,30	22223,07
CV1 (%)		5,81	6,94	3,88	15,15	10,76	10,86	6,73	5,44
CV2 (%)		18,24	16,46	16,72	16,21	15,71	17,28	9,66	6,49
Média		88,60	74,79	23,67	40,08	13,01	19,44	237,70	2298,59

^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; G: Grãos; AP: Altura de Planta; AI: Altura de Inserção; N: Número de Nós; NR: Nó Reprodutivo; VG: Vagem; PROD: Produtividade.

Nos primeiros anos de adoção, o acúmulo de biomassa, a decomposição da

palhada e a ação das raízes sobre os atributos químicos e físicos do solo ainda são incipientes, o que pode limitar o impacto direto sobre o desempenho das culturas subsequentes (Li et al., 2024). Assim, os resultados obtidos reforçam a importância da persistência e continuidade no manejo com coberturas vegetais, para que os benefícios esperados se consolidem ao longo do tempo e possam interagir de forma significativa com demais práticas agrônômicas, como a adubação.

De maneira geral, os tratamentos sem aplicação de fosfito apresentaram desempenho superior para a maioria das variáveis avaliadas (Figura 3A). O número de grãos por planta, por exemplo, foi 16% maior na ausência do fertilizante, sugerindo que o uso do fosfito pode ter interferido negativamente na formação ou retenção de estruturas reprodutivas. Essa redução possivelmente está associada a alterações no balanço hormonal ou à mobilização inadequada de nutrientes essenciais durante a fase de enchimento de grãos (Mohammadi et al., 2021).

A altura de planta (Figura 3B) também foi significativamente maior nos tratamentos sem fosfito, com incremento de quase 19% em comparação aos tratamentos com adubação fosfatada. Esse resultado pode estar relacionado à interferência do fosfito na regulação do crescimento vegetativo, possivelmente por limitar a absorção de fósforo, com já mencionado anteriormente (Li et al., 2025).

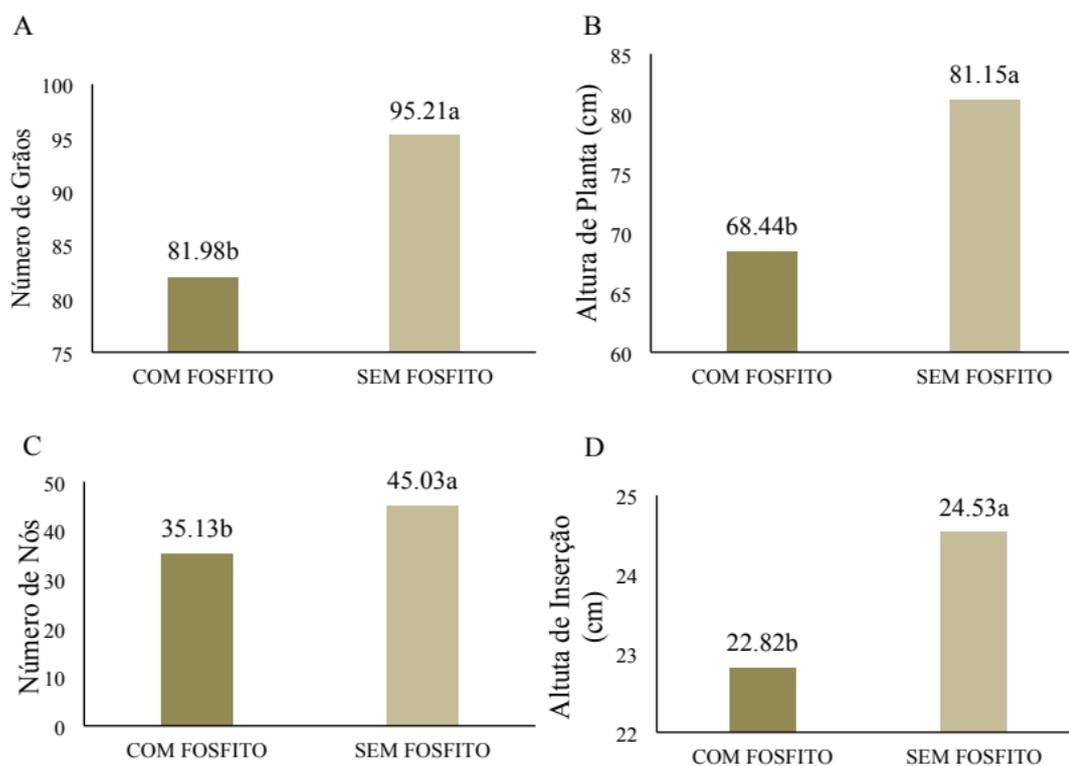


Figura 3. Comparação de médias para os atributos Número de grãos (G), Altura de plantas (AP), Número de nós (N) e Altura de inserção da primeira Vagem (AI) do feijão submetidos e não a fosfito.

Letras diferentes são estatisticamente diferente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Resultados semelhantes foram observados para o número de nós (Figura 3C), com as plantas não tratadas com fosfito apresentando, em média, 28% mais nós do que aquelas adubadas. Esses resultados reforçam a hipótese de que a aplicação de fosfito pode ter comprometido o desenvolvimento vegetativo pleno, afetando diretamente a diferenciação/elongação dos entrenós. Em soja, metabolismo similar ao feijão, o suprimento adequado de fosfato está associado a entrenós mais longos, maior área foliar e maior acúmulo de biomassa e rendimento; logo, qualquer perturbação da nutrição ou sinalização de P tende a encurtar entrenós e reduzir o crescimento (Feng et al., 2021).

A altura de inserção da primeira vagem (AI) foi também superior nos tratamentos sem fosfito, sendo aproximadamente 2 cm maior (Figura 3D). Esse parâmetro tem relevância prática, uma vez que está associado à mecanização da colheita e à arquitetura da planta, podendo impactar diretamente a eficiência operacional (Scher, 2024).

O número de nós reprodutivos (NR) (Figura 4A) seguiu a mesma tendência, com aumento médio de 2,4 nós nas plantas não submetidas ao uso de fosfito. As plantas não submetidas ao uso de fosfito apresentaram maior capacidade de diferenciação reprodutiva, o que se refletiu em maior potencial produtivo. Esse resultado reforça a hipótese de que a aplicação de fosfito pode comprometer processos fisiológicos associados à transição do crescimento vegetativo para o reprodutivo. Em soja, a diferenciação de estruturas reprodutivas depende de uma combinação de fatores nutricionais e hormonais, sendo que o fósforo (Pi) adequado é essencial para a indução floral, formação de nós reprodutivos e enchimento de vagens (Feng et al., 2021).

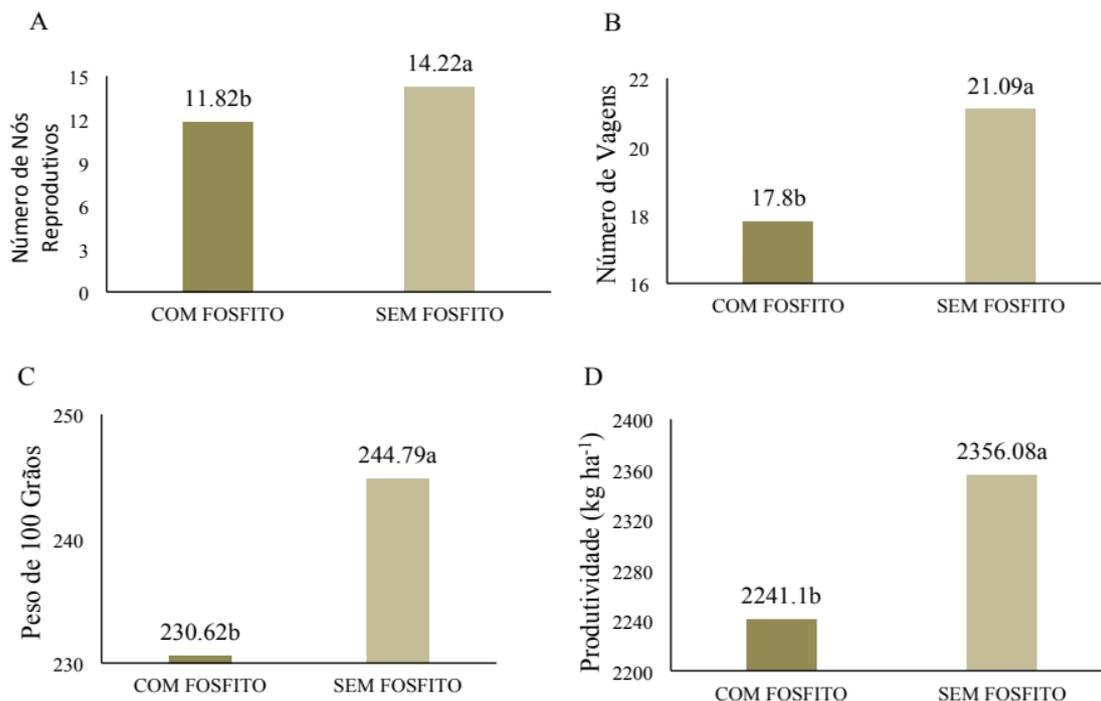


Figura 4. Comparação de médias para os atributos Número de Nós Reprodutivos (NR), Número de Vagens (VG), Peso de 100 grãos e Produtividade (PROD) de feijão submetidos e não a fosfito. Letras diferentes são estatisticamente diferente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A variável número de vagens (VG) (Figura 4B) também foi beneficiada nos tratamentos sem aplicação de fosfito, o que pode ser consequência direta do maior número de nós reprodutivos e da maior altura de inserção, que favorecem uma melhor distribuição e retenção das estruturas reprodutivas, como já explicado anteriormente.

O peso de 100 grãos (Figura 4C) foi ligeiramente superior nas plantas sem fosfito, atingindo 244,79 g, valor 6% maior em comparação aos tratamentos com adubação fosfatada. Esse aumento pode indicar que, apesar do menor número de grãos, a ausência do fosfito favoreceu o enchimento dos grãos, possivelmente em função de menor competição por assimilados (Duarte et al., 2023).

No entanto, a produtividade (PROD) em kg ha⁻¹ (Figura 4D) final foi significativamente maior nas plantas não tratadas com fosfito, atingindo 2.356,08 kg ha⁻¹, valor 5% superior ao observado nas plantas submetidas à aplicação do fertilizante. Esse resultado sugere que o maior número de estruturas produtivas nas plantas sem fosfito foi determinante para o incremento da produtividade geral da cultura, em consonância com a relação direta entre a formação de vagens, número de grãos e rendimento final, conforme achados de Havlin et al. (2021).

Esse resultado evidencia um possível efeito inibitório do uso de fosfitos sobre o desenvolvimento geral da cultura, sugerindo que sua aplicação, em determinadas condições, pode comprometer o crescimento e a produtividade da soja (Li et al., 2025). Resultados semelhantes foram reportados por Wang et al. (2022), que verificaram redução no crescimento vegetativo e na eficiência fotossintética em plantas de soja submetidas à aplicação de fosfito.

Essa resposta negativa pode ser explicada pelo modo de ação do fosfito na planta. Embora frequentemente utilizado como fonte alternativa de fósforo o fosfito não é metabolizado da mesma forma que o ortofosfato pelas plantas (Plaxton et al., 2021). A absorção de fosfitos pode interferir na assimilação do fósforo convencional, prejudicando processos metabólicos essenciais relacionados ao crescimento vegetativo e reprodutivo (Poirier et al., 2022). Além disso, o fosfito atua na ativação do metabolismo secundário, estimulando a produção de compostos de defesa, como fitoalexinas e peroxidases (Mohammadi et al., 2021), porém essa ativação pode ocorrer em detrimento do crescimento da planta, o que explica os menores valores de altura, número de nós e estruturas reprodutivas nas plantas tratadas com fosfito.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que, independentemente do sistema de cultivo, a ausência de aplicação de fosfito esteve associada a melhor desempenho agrônomico. Esse achado sugere um possível efeito inibitório desse insumo sobre o desenvolvimento das plantas, hipótese já levantada em estudos que relatam que a utilização de fosfitos pode alterar processos fisiológicos, comprometendo o crescimento vegetal em determinadas condições como já mencionado anteriormente. Em contrapartida, outros autores ressaltam que o efeito do fosfito é altamente dependente da espécie, da dose e do contexto de cultivo, podendo em alguns casos apresentar benefícios relacionados à indução de resistência e ao fornecimento indireto de fósforo (Havlin et al., 2021). Essa divergência reforça a necessidade de cautela na recomendação desse insumo, bem como de estudos adicionais que esclareçam os mecanismos envolvidos.

Nesse contexto, apesar de neste experimento não apresentar diferenças em relação ao uso de plantas de cobertura, como *Urochloa brizantha* cv. Piatã (P), *Stylosanthes* spp. (E) e *Urochloa ruziziensis* (R), bem como seus consórcios, assume-se que estas exercem papel estratégico para a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas agrícolas. Diferentes autores destacam que essas espécies contribuem para a melhoria da estrutura e da fertilidade do solo, incremento da matéria orgânica, supressão de plantas daninhas e maior eficiência na ciclagem de nutrientes (Prajapati et al., 2023; Yang et al., 2023).

Comparando-se áreas com e sem cobertura, observa-se que, além dos efeitos diretos do manejo nutricional, a presença dessas plantas favorece um ambiente radicular mais equilibrado e aumenta a tolerância da cultura principal, resultando em maior aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais (Abranches et al., 2021).

A resistência à penetração do solo (RP), em função da profundidade, apresentou variação de acordo com as diferentes combinações de culturas de cobertura, tanto nos tratamentos com aplicação de fosfito (Figura 5A) quanto sem aplicação (Figura 5B). De modo geral, observou-se que as raízes do feijoeiro cultivado com fosfito enfrentaram maior resistência à penetração nas parcelas sem cobertura vegetal, evidenciando condições físicas menos favoráveis ao crescimento radicular nesse ambiente. A menor resistência foi registrada nas parcelas manejadas com *Urochloa brizantha* cv. Piatã (P), independentemente da profundidade analisada, indicando a eficácia dessa espécie na melhoria da estrutura física do solo, possivelmente por meio de maior aporte de biomassa radicular e formação de bioporos.

As parcelas com *Stylosanthes* spp. também apresentaram menores valores de RP até a profundidade de 0,20 m. No entanto, a partir de 0,30 m, os valores de resistência nas áreas com *Stylosanthes* se equipararam aos observados nas parcelas sem cobertura, sugerindo um efeito mais superficial dessa leguminosa sobre a descompactação do solo. A partir da profundidade de 0,30 m, todos os tratamentos, com exceção de Piatã, apresentaram valores semelhantes de resistência à penetração, indicando que apenas essa cobertura foi capaz de influenciar positivamente a estrutura do solo em camadas mais profundas.

Nos tratamentos sem aplicação de fosfito (Figura 5B), observou-se que, nos primeiros 0,10 m de profundidade, a resistência à penetração do solo foi menor nas parcelas que haviam sido cultivadas com *Urochloa ruziziensis*, indicando uma contribuição inicial positiva dessa espécie para a melhoria da estrutura superficial do solo. A partir dessa profundidade, entretanto, as menores resistências foram registradas nas parcelas manejadas com *Urochloa brizantha* cv. Piatã, o que sugere que essa espécie de cobertura possui maior capacidade de promover a descompactação em camadas subsuperficiais, provavelmente em razão do seu sistema radicular mais profundo e agressivo (Lima et al., 2023). Os demais tratamentos, incluindo as parcelas com *Stylosanthes* spp. e aquelas sem cobertura vegetal, apresentaram valores de resistência à penetração similares entre si ao longo do perfil analisado, indicando menor efeito dessas condições sobre a estrutura física do solo.

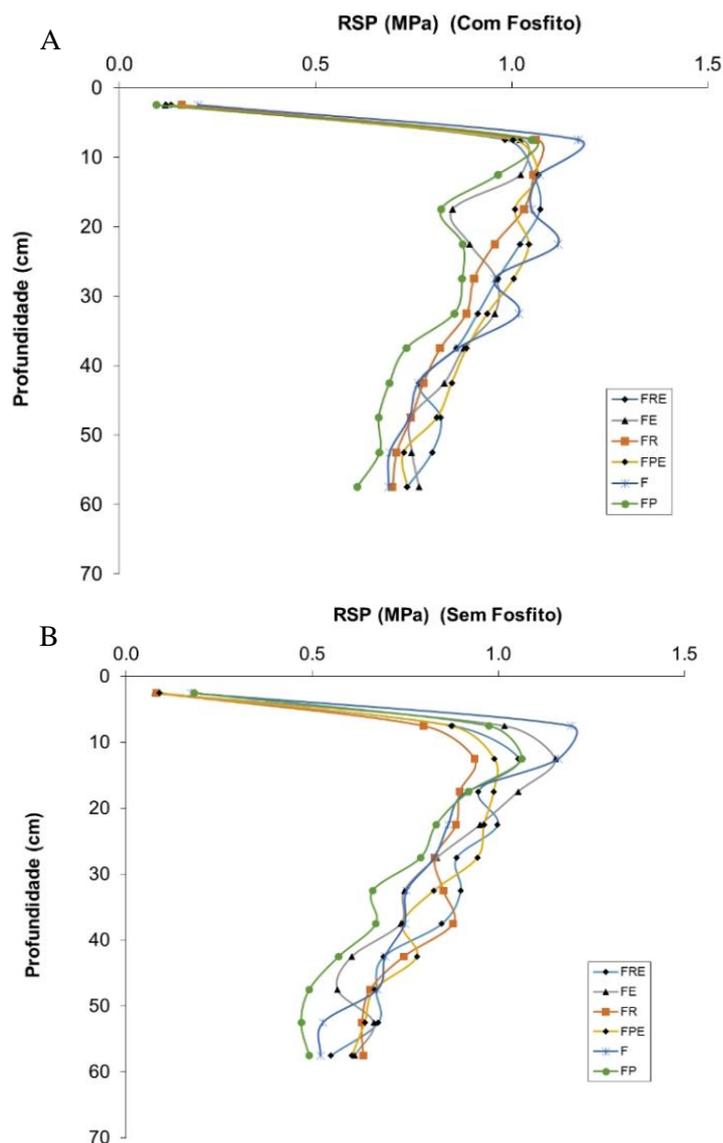


Figura 5. Resistência à penetração de raízes do feijão em sistema de plantas de cobertura com e sem fosfite.

Os resultados observados evidenciam a influência diferenciada das espécies de cobertura vegetal sobre a resistência à penetração do solo. A menor resistência observada nas camadas superficiais das parcelas com *Urochloa ruziziensis* pode estar associada à elevada densidade de raízes finas dessa gramínea, que favorece a formação de bioporos e maior porosidade estrutural nas camadas mais rasas (Policarpo et al., 2024). Por outro lado, a superioridade da *Urochloa brizantha* cv. Piafã nas camadas subsuperficiais está relacionada ao seu sistema radicular profundo e vigoroso, capaz de descompactar camadas mais profundas e promover melhoria duradoura nos atributos físicos do solo.

Esses achados que destacam o papel das gramíneas tropicais na promoção da

descompactação biológica em sistemas conservacionistas (Serafim et al., 2025). A ausência de efeitos significativos nos demais tratamentos, incluindo as áreas com *Stylosanthes spp.* ou sem cobertura, sugere que a contribuição dessas condições para a estrutura do solo é limitada ou superficial, ou ainda que precisa de mais tempo com essas coberturas para refletir seus efeitos benéficos.

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a aplicação de fosfito não proporcionou benefícios agronômicos ao cultivo do feijão, podendo inclusive ter limitado o desempenho das plantas em diferentes fases de desenvolvimento. Estudos adicionais são recomendados para avaliar a dinâmica do fosfito no metabolismo da planta e sua interação com outros nutrientes, especialmente o fósforo.

Em relação à resistência à penetração do solo, as espécies de cobertura influenciaram significativamente a estrutura física, com destaque para *Urochloa brizantha* cv. Piatã, que reduziu a compactação em todas as profundidades avaliadas.

5. REFERÊNCIAS

ABRANCHES, M., DA SILVA, G. A. M., DOS SANTOS, L. C., PEREIRA, L. F., & DE FREITAS, G. B. (2021). Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. **Research, Society and Development**, 10(7), e7410716351-e7410716351.

CONAB — Boletim da Safra / Levantamentos de Grãos e estimativas de produção (dados consolidados sobre produção nacional de feijão e estimativas por safra).

DANN, E., & MCLEOD, A. (2021). Phosphonic acid: a long-standing and versatile crop protectant. **Pest Management Science**, 77(5), 2197-2208.

FENG, Y. Y., HE, J., TURNER, N. C., SIDDIQUE, K. H., & LI, F. M. (2021). Phosphorus supply increases internode length and leaf characteristics, and increases dry matter accumulation and seed yield in soybean under water deficit. **Agronomy**, 11(5), 930.

HAVLIN, J. L., & SCHLEGEL, A. J. (2021). Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. *Soil systems*, 5(3), 52.

ISLAM, S. S., ADHIKARY, S., MOSTAFA, M., & HOSSAIN, M. M. (2024). Vegetable beans: comprehensive insights into diversity, production, nutritional benefits, sustainable cultivation and future prospects. **OnLine J. Biol. Sci**, 24, 477-494.

KOUDAHE, K., ALLEN, S. C., & DJAMAN, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, 10(3), 343-354.

LI, H., LI, J., JIAO, X., JIANG, H., LIU, Y., WANG, X., & MA, C. (2024). The fate and challenges of the main nutrients in returned straw: A basic review. **Agronomy**, 14(4), 698.

LI, Z., KONG, X., ZHANG, Z., TANG, F., WANG, M., ZHAO, Y., & SHI, F. (2025). The functional mechanisms of phosphite and its applications in crop plants. **Frontiers in plant science**, 16, 1538596.

LIMA, J. D. P., TORINO, A. B., SILVA, L. M. D., NASCIMENTO JÚNIOR, L. F. D., BRITO, M. F. D., COSTA, K. A. D. P., & SEVERIANO, E. D. C. (2023). Crop-livestock integration improves physical soil, agronomic and environmental aspects in soybean cultivation. **Plants**, 12(21), 3746.

MOHAMMADI, M. A., CHENG, Y., ASLAM, M., JAKADA, B. H., WAI, M. H., YE, K., & QIN, Y. (2021). ROS and oxidative response systems in plants under biotic and abiotic stresses: revisiting the crucial role of phosphite triggered plants defense response. **Frontiers in Microbiology**, 12, 631318.

Our World in Data / FAO statistics — **produção mundial de feijão (séries FAO processadas pelo Our World in Data; dados 1961–2023, com totais ~28–29 Mt).**

PLAXTON, W. C., & TRAN, H. T. (2011). Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. **Plant physiology**, 156(3), 1006-1015

POIRIER, Y., JASKOŁOWSKI, A., & CLÚA, J. (2022). Phosphate acquisition and metabolism in plants. **Current Biology**, 32(12), R623-R629.

POLICARPO, V. H. C., MENEZES, C. C. E. D., MENEZES, J. F. S., SOUZA, M. D. F., OLIVEIRA, A. M. D., ROSA, M., & ROBERTI, G. (2024). Subsurface Soil Compaction and its Effect on the Morphophysiological Characteristics of Maize Plants, *Urochloa ruziziensis* and *Panicum maximum*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 67, e24231096.

PRAJAPATI, S. K., DAYAL, P., KUMAR, V., & GAIROLA, A. (2023). Green manuring: A sustainable path to improve soil health and fertility. **Int. J.**, 1, 24-33.

QUINTARELLI, V., RADICETTI, E., ALLEVATO, E., STAZI, S. R., HAIDER, G., ABIDEEN, Z., & MANCINELLI, R. (2022). Cover crops for sustainable cropping systems: a review. **Agriculture**, 12(12), 2076.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., CUNHA, T.J.F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5a ed. **EMBRAPA**, Brasília, pp. 117-120. ISBN 978-85-7035-817-2.

SCHER, I. M. (2024). Correlações entre componentes de produtividade no feijoeiro (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

SERAFIM, M. E., BARBOSA, S. M., ZEVIANI, W. M., SEVERIANO, E. D. C., COSTA, K. A. D. P., ROMANO, L. R., & SILVA, B. M. (2025). Biopores, soil decompacting potential, and biomass of *Brachiaria* cultivars. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 49, e0240079.

UEBERSAX, M. A., CICHY, K. A., GOMEZ, F. E., PORCH, T. G., HEITHOLT, J., OSORNO, J. M., & BALES, S. (2023). Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. **Legume science**, 5(1), e155.

WANG, B., SHEN, Q., HAN, C., ZHENG, Y., WANG, Z., LIU, C., ... & REN, J. (2022). New insights into the growth response of the macrophyte *Vallisneria spiralis* L. exposed to phosphite. *Science of The Total Environment*, 851, 158189.

YANG, R., SONG, S., CHEN, S., DU, Z., & KONG, J. (2023). Adaptive evaluation of green manure rotation for a low fertility farmland system: Impacts on crop yield, soil nutrients, and soil microbial community. **Catena**, 222, 106873.

VINAS, M.; MENDEZ, J. C.; JIMÉNEZ, V. M. Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. **Scientia Horticulturae**, v.265, n.4, p.1-16, 2020.

MANNA M.; ACHARY V. M.; ISLAM T.; AGRAWAL P. K.; REDDY M. K. The development of a phosphite-mediated fertilization and weed control system for rice. **Scientific Reports**, v.6, n.2, p.1-13, 2016.

MORALES-MORALES, E. J.; MARTÍNEZ-CAMPOS, A. R.; LÓPEZ-SANDOVAL, J. A.; GONZÁLEZ, A. M. C.; RUBÍ-ARRIAGA, M. Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.13, n.2, p.345-354, 2022.

MUNOZ-PEREA, Carlos German et al. Eficiência do uso da água entre variedades crioulas e cultivares de feijão em ambientes com e sem estresse hídrico. **Euphytica**, v. 155, n. 3, p. 393-402, 2007.