

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto e plantio convencional em sucessão ao milho-grão e milho-ensilagem

Ana Paula da Silva Santana
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

ANA PAULA DA SILVA SANTANA

Produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto e plantio convencional em sucessão ao milho-grão e milho-ensilagem

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Ricardo A. de La Cruz

Coorientadores: Jose E. de S. Carneiro
Paulo Roberto Cecon
Francisco C. L. de Freitas

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S232p
2025
Santana, Ana Paula da Silva, 1996-
Produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistemas de plantio direto e plantio convencional em sucessão ao milho-grão e milho-ensilagem / Ana Paula da Silva Santana. – Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação eletrônica (35 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Ricardo Alcantara-de la Cruz.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 2025.

Referências bibliográficas: f. 31-34.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.212>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Feijão - Cultivo. 2. Rotação de culturas agrícolas.
3. Produtividade agrícola. I. Alcantara-de la Cruz, Ricardo, 1990-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 633.37282

ANA PAULA DA SILVA SANTANA

Produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto e plantio convencional em sucessão ao milho-grão e milho-ensilagem

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 6 de março de 2025.

Assentimento:

Ana Paula da Silva Santana
Autora

Ricardo Alcantara de La Cruz
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 27/04/2025 às 16:10:54 e pelo orientador em 28/04/2025 às 08:48:44. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **5GLN.7SCW.UXF3** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais, Dalzirene e Francimar, às minhas irmãs, Laurem Karoline e Gleciane, e ao meu namorado, David Aimar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força, sabedoria, perseverança e pela companhia de pessoas incríveis que estiveram comigo ao longo desta jornada.

Aos meus pais, sou eternamente grata por todo o amor, apoio e por terem me ensinado a ser a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Alcântara de la Cruz. Aos coorientadores e membros da banca Prof. Dr. Francisco Cláudio Lopes de Freitas, Prof. Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro, Prof. Dr. Paulo Roberto Cecon e Dr. Rodrigo Martinelli. pelos valiosos ensinamentos.

À Universidade Federal de Viçosa, por me proporcionar a oportunidade de cursar uma pós-graduação, a qual será fundamental na minha formação como profissional na área de Fitotecnia, com ênfase no Manejo Integrado de Plantas Daninhas-MIPD. Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)..

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), mais uma vez, pela concessão da bolsa de estudos que me permitiu ter dedicação à pesquisa.

Agradeço aos meus colegas, professores, técnicos e membros do grupo de pesquisa em Manejo Integrado de Plantas Daninhas-MIPD e ao programa de pós-graduação em fitotecnia da UFV.

Minha sincera gratidão também aos amigos e familiares, que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada.

Sou grata a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. agradeço a todos que acreditaram em mim e me deram a oportunidade de crescer e aprender.

“A persistência realiza o impossível”. (Albert Einstein)

RESUMO

SANTANA, Ana Paula da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **Produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto e plantio convencional em sucessão ao milho-grão e milho-silagem.** Orientador: Ricardo Alcantara de La Cruz. Coorientadores: Jose Eustaquio de Souza Carneiro, Paulo Roberto Cecon e Francisco Claudio Lopes de Freitas.

Em condições de sequeiro, a produtividade agrícola pode ser menor nos sistemas de plantio convencional (CONV), em relação ao sistema plantio direto (SPD). O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento, o crescimento e a produtividade do feijão nos SPD e CONV, após o monocultivo de milho-grão e milho-silagem, bem como após o consórcio de milho com a braquiária. Acredita-se que em sequeiro, o SPD após o cultivo de milho para grãos e/ou para silagem proporciona adequado crescimento, desenvolvimento e aumento de produtividade do feijão, em relação ao CONV. As variáveis avaliadas neste estudo foram, altura da planta (AP), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento de raiz (CR), profundidade de raiz (PR), massa seca de raiz (MSR), número de vagens (NV) e produtividade (PROD). A precipitação durante o ciclo da cultura foi de 81 mm em 2021, 107 mm em 2023 e 306 mm em 2024. 2024 teve as maiores AP (50,5–52 cm), AF (1.020–1.245 cm²) e MSPA (11,2–15,4 g/planta), em comparação a 2023 e 2021. Em 2021 se registraram as menores APs (26,3–44,6 cm) e MSPA, com diferenças entre os sistemas (11,7 g/planta no SPD e 9,4 g/planta no CONV). Em 2021, a PR foi maior (13–17 cm) do que em 2024 (7,3–8,9 cm), porém, a MSR foi menor em 2021 (0,8–1,2 g/planta) em comparação a 2024 (1–1,8 g/planta). Nas áreas de milho-grão, a PROD variou de 2.735 a 2.863 kg/ha em 2021 e 2024. Já nas áreas de milho-silagem, a PROD foi de 1.427 kg/ha no CONV e 1.776 kg/ha no SPD em 2021, enquanto em 2024, a PROD foi maior no CONV (2.237 kg/ha) em comparação ao SPD (2053 kg.ha⁻¹). O consórcio milho-braquiária no SPD atenuou os impactos do déficit hídrico, promovendo maior crescimento na parte aérea das plantas. Além disso, a cultura antecessora teve maior influência nas variáveis, com melhor desempenho sendo observado nas áreas de milho-grão. Estes resultados destacam o impacto da precipitação e das culturas antecessoras no crescimento e produtividade do feijão, ressaltando a importância de ajustar as práticas agrícolas às condições climáticas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L; Sucessão de Culturas; Preparo do Solo; Sistemas de Cultivo.

ABSTRACT

SANTANA, Ana Paula da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **Productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in no-tillage and conventional tillage systems in succession to corn-grain and corn-silage.** Adviser: Ricardo Alcantara de La Cruz. Co-advisers: Jose Eustaquio de Souza Carneiro, Paulo Roberto Cecon and Francisco Claudio Lopes de Freitas.

Under rainfed conditions, agricultural productivity can be lower in conventional planting systems (CONV) compared to the no-till system (SPC). The objective of this study was to evaluate the development, growth, and productivity of common beans in SPC and CONV, following monocropping of grain maize and silage maize, as well as after intercropping maize with brachiaria. It is believed that under rainfed conditions, SPC after maize cultivation for grain and/or silage provides adequate growth, development, and increased bean productivity compared to CONV. The variables evaluated in this study were plant height (PH), leaf area (LA), shoot dry mass (SDM), root length (RL), root depth (RD), root dry mass (RDM), number of pods (NP), and productivity (PROD). Precipitation during the crop cycle was 81 mm in 2021, 107 mm in 2023, and 306 mm in 2024. 2024 had the highest PH (50.5–52 cm), LA (1,020–1,245 cm²) and SDM (11.2–15.4 g/plant), compared to 2023 and 2021. The lowest PHs (26.3–44.6 cm) and SDM were recorded in 2021, with differences between the systems (11.7 g/plant in SPC and 9.4 g/plant in CONV). In 2021, RD was greater (13–17 cm) than in 2024 (7.3–8.9 cm), however, RDM was lower in 2021 (0.8–1.2 g/plant) compared to 2024 (1–1.8 g/plant). In the grain maize areas, PROD ranged from 2,735 to 2,863 kg/ha in 2021 and 2024. In the silage maize areas, PROD was 1,427 kg/ha in CONV and 1,776 kg/ha in SPC in 2021, while in 2024, PROD was higher in CONV (2,237 kg/ha) compared to SPC (2,053 kg ha⁻¹). Maize-brachiaria intercropping in SPC mitigated the impacts of water deficit, promoting greater shoot growth in plants. Furthermore, the preceding crop had a greater influence on the variables, with better performance observed in the grain maize areas. These results highlight the impact of precipitation and preceding crops on bean growth and productivity, emphasizing the importance of adjusting agricultural practices to climatic conditions.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; Crop Succession; Soil Preparation; Cultivation Systems.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Sistemas de produção agrícola e Sucessão de culturas.....	10
2.2 Agricultura de Sequeiro	12
2.3 Cultura do Feijão	13
2.4 Déficit Hídrico na Cultura do Feijão	14
2.5 Sistema de Plantio.....	15
2.6 Palhada do Milho para Grãos e Ensilagem.....	16
2.7 Consórcio de Milho com Braquiária.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Caracterização da Área Experimental.....	17
3.2 Delineamento Experimental	18
3.3 Preparo do Solo.....	19
3.4 Cultivo do Feijão	19
3.5 Variáveis Avaliadas	19
3.6 Análise Estatística.....	20
4. RESULTADOS	20
4.1 Altura da Planta e Área Foliar do feijão	20
4.3 Profundidade e Comprimento das Raízes	22
4.5 Número de Vagens e Produtividade	24
5. DISCUSSÃO	26
6. CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio convencional (CONV), caracterizado pela remoção dos restos culturais e revolvimento do solo, apresenta como principais vantagens o controle de plantas daninhas fotoblásticas negativas e plantas de sementes pequenas que normalmente germinam nas camadas superficiais do solo, na descompactação do solo e na rápida destruição de resíduos culturais (Blanco e Lal, 2023). No entanto, o solo permanece descoberto durante a safra e a entressafra, ficando exposto a fatores edafoclimáticos como encharcamento, erosão e escoamento superficial da água (Blanco e Lal, 2023). Por outro lado, o sistema de plantio direto (SPD) utiliza os restos culturais como cobertura, formando uma barreira que protege o solo contra a ação direta da chuva, do vento e dos raios solares e possibilita o controle de plantas daninhas fotoblásticas negativas e a redução da disseminação das plantas estoloníferas, rizomatosas ou tuberosas. Essa técnica é vantajosa para o cultivo de sucessão em condições de sequeiro, pois melhora a infiltração de água e reduz a evaporação (Demo e Bogale, 2024). Além disso, a produção de palhada pode ser potencializada pelo consórcio entre culturas agrícolas.

A rotação e a sucessão de culturas no Brasil são práticas agrícolas consolidadas que envolvem o cultivo de diferentes culturas em uma mesma área, em períodos sequenciais, sem a necessidade de deixar o solo em repouso (Ribeiro *et al.*, 2023). Essas estratégias têm sido cada vez mais adotadas devido aos benefícios que oferecem, como a melhoria da qualidade do solo, o controle de pragas e doenças, e a otimização do uso de recursos (Jardim *et al.*, 2023). No Brasil, a rotação e a sucessão de culturas são comumente realizadas com plantas como soja, milho, feijão e trigo, e pode incluir outras plantas, leguminosas e gramíneas, como a braquiária, para promover a cobertura do solo (Ribeiro *et al.*, 2023). As práticas favorecem a diversificação agrícola, reduz a dependência de um único cultivo (Jardim *et al.*, 2023).

Um exemplo muito utilizado é o consórcio do milho com a braquiária, ambas as culturas podem coexistir sem prejuízos significativos, desde que sejam bem manejadas. A braquiária, por ser uma planta C4 que possui raízes profundas e produz altos níveis de biomassa, é ideal para a cobertura do solo no plantio direto (Baptistella *et al.*, 2020). Esse consórcio também traz melhorias biológicas, químicas e físicas ao solo (Demo e Bogale, 2024). Além disso, em cultivos de sequeiro, o consórcio entre milho e braquiária pode ser uma alternativa eficaz para reduzir os impactos do déficit hídrico para as culturas em sucessão, como o feijão, pois garante melhorias nas propriedades físico-químicas devido a maior cobertura do solo (Seidel *et al.*, 2015).

Na Zona da Mata de Minas Gerais, os produtores cultivam principalmente milho para ensilagem, tanto em monocultivo quanto em consórcio com braquiária, visando a alimentação do rebanho bovino. Após a colheita do milho, a área é aproveitada para o cultivo do feijão, garantindo o uso contínuo do solo e a diversificação da produção.

O déficit hídrico na agricultura pode causar danos tanto reversíveis quanto irreversíveis, dependendo de sua duração e do momento em que ocorre. Durante o ciclo do feijão, a escassez de água pode reduzir o índice de área foliar, a produção de matéria seca, o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem e o peso de cem sementes, levando a uma queda na produtividade (Karavidas *et al.*, 2022). Áreas destinadas à produção de milho para grão ou ensilagem, em SPD e CONV, podem ser utilizadas para o cultivo do feijão em sucessão (Silva *et al.*, 2022). No caso de milho para grão, o SPD é mais comum porque se mantém a palhada na área, preservando as vantagens deste sistema. Porém, após o milho para ensilagem, os produtores tendem a usar o CONV e o cultivo mínimo do solo, o qual consiste no plantio em solo descoberto e sem uso de aração e gradagem, devido à remoção total da palha durante a colheita (Periz *et al.*, 2017). Em condições de sequeiro, o uso frequente do CONV pode reduzir a produtividade agrícola em anos de déficit hídrico (Li *et al.*, 2020).

Esta pesquisa foi motivada pela falta de dados científicos que comprovem a viabilidade e eficácia do SPD na produção de feijão após o cultivo de milho para grãos ou ensilagem. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento, o crescimento e a produtividade do feijão cultivado em SPD e CONV, após o monocultivo de milho para grãos e milho para ensilagem, bem como após o consórcio de milho com a braquiária. Pois acredita-se que em plantio de sequeiro, o sistema de plantio direto após o cultivo de milho para grãos e/ou para ensilagem proporciona adequado crescimento, desenvolvimento e aumento de produtividade do feijão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de produção agrícola e Sucessão de culturas

A sucessão de culturas no Brasil é uma prática agrícola estratégica que envolve o cultivo de diferentes culturas em uma mesma área durante períodos sequenciais (Ribeiro *et al.*, 2023). Enquanto a rotação de culturas visa a diversificação ao longo dos anos, possibilitando o cultivo de diferentes culturas no mesmo ano e ou em anos consecutivos (EMBRAPA, 2025). Essas abordagens têm ganhado cada vez mais popularidade devido aos múltiplos benefícios que oferecem. As práticas contribuem para a melhoria da qualidade do solo, principalmente por meio da redução da compactação e da manutenção de sua estrutura, o que favorece a infiltração

de água e a aeração das raízes (Ribeiro *et al.*, 2023). Além disso, ao incluir diferentes tipos de culturas, é possível aumentar a quantidade de matéria orgânica do solo, otimizar o controle de pragas, doenças e plantas daninhas pois cada planta tem necessidades e suscetibilidades distintas, o que dificulta a proliferação de organismos nocivos (Uebersax *et al.*, 2022).

No Brasil, a rotação e a sucessão de culturas são comumente realizadas com culturas como soja, milho, feijão, algodão e trigo, mas também pode incluir leguminosas, como o feijão guandu, o amendoim, e gramíneas, como a braquiária, que são usadas para promover a cobertura do solo (Ribeiro *et al.*, 2023). A rotação de culturas é caracterizada pelo cultivo alternado de três ou mais culturas em uma mesma área ao longo de várias safras. Já a sucessão de culturas refere-se ao cultivo repetitivo das mesmas espécies em anos consecutivos, sem a alternância de diferentes culturas (Ribeiro *et al.*, 2023, EMBRAPA, 2025). Essa combinação contribui para a diversificação agrícola, tornando o sistema mais adaptável a variações climáticas e flutuações de mercado. Além disso, o uso de leguminosas nestes sistemas ajudam na fixação de nitrogênio, enriquecendo o solo de maneira natural e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (Uebersax *et al.*, 2022). Além disso, o consórcio de culturas agrícolas também é uma alternativa eficaz para a melhoria das características físico-químicas do solo. Integrar culturas agrícolas e culturas de cobertura vegetal também melhora a eficiência no uso de água, dos nutrientes e permite que o solo seja melhor aproveitado (Li *et al.*, 2020).

O milho é uma das principais culturas cultivadas em associação com o feijão, seja em consórcio, rotação ou sucessão (Jardim *et al.*, 2023). Quando o feijão é cultivado em sucessão ao milho em monocultivo ou consorciado com a braquiária, os restos culturais dessa gramínea podem ser aproveitados para a produção de palhada, permitindo o estabelecimento do SPD.

O consórcio milho-braquiária é uma estratégia eficiente para reduzir a matocompetição, melhorar a qualidade do solo e aumentar a produção de palhada (Jardim *et al.*, 2023). A maior quantidade de cobertura vegetal proporciona uma série de benefícios, como a proteção do solo contra processos erosivos, a redução da evaporação da água e a diminuição do escoamento superficial (Oliveira *et al.*, 2024). Esses fatores contribuem para o aumento da retenção de água no solo, favorecendo o desenvolvimento das culturas subsequentes.

Os cultivos estabelecidos em solos cobertos por restos vegetais (SPD) apresentam menor suscetibilidade ao déficit hídrico em comparação àqueles conduzidos em CONV. A palhada da cultura antecessora atua como uma barreira natural, reduzindo os impactos da escassez hídrica e favorecendo o equilíbrio térmico e a umidade do solo (Oliveira *et al.*, 2024). Por outro lado, no CONV, a remoção da cobertura vegetal expõe o solo diretamente às intempéries, aumentando a taxa de evaporação da água. Em períodos de baixa precipitação,

torna-se necessário o uso de sistemas de irrigação para garantir o desenvolvimento adequado das plantas e evitar perdas na produtividade (Mompremier *et al.*, 2021). Nessas condições, o cultivo em sequeiro se torna um risco significativo, pois a cultura passa a depender exclusivamente da chuva (Bowden, 1979).

A sucessão de culturas é uma técnica essencial para a sustentabilidade agrícola no Brasil, especialmente em regiões de agricultura de sequeiro. Ao diversificar a produção e melhorar a saúde do solo, essa prática contribui para a conservação ambiental, diminuindo a degradação e aumentando a retenção de água – fatores fundamentais para manter a produtividade em períodos de estiagem (Li *et al.*, 2020). Além de fortalecer a resiliência do sistema agrícola, a sucessão de culturas melhora a estabilidade da produção e reforça a segurança alimentar do país, promovendo uma agricultura mais sustentável.

2.2 Agricultura de Sequeiro

A agricultura de sequeiro ocupa, em média, 96% da área total destinada à produção de culturas temporárias no Brasil (ANA, 2020). No entanto, essa modalidade agrícola depende das precipitações naturais, tornando-se vulnerável à variabilidade climática, que pode comprometer a produtividade e a estabilidade das colheitas (Bowden, 1979). A irregularidade na distribuição e na intensidade das chuvas, agravada por períodos de estiagem, impõe desafios significativos aos produtores, que precisam adotar estratégias eficazes para mitigar os impactos do déficit hídrico (Pariz *et al.*, 2017). Como a precipitação ocorre de forma irregular e, muitas vezes, com intensidade variável, grande parte da água das chuvas pode ser perdida antes de ser aproveitada pelas plantas.

Diferentes práticas de manejo podem ser implementadas para minimizar os efeitos da escassez hídrica, tanto no desenvolvimento da cultura quanto nas condições do ambiente de cultivo (Demo, Bogale *et al.*, 2024). O uso de variedades geneticamente adaptadas à limitação de água tem se mostrado uma abordagem eficiente para aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico (Karavidas *et al.*, 2022). Paralelamente, práticas conservacionistas, como o uso de cobertura vegetal, rotação de culturas e manejo adequado do solo, contribuem para a melhoria da infiltração e do armazenamento da água, reduzindo perdas por evaporação e escoamento superficial (Li *et al.*, 2020).

A adoção de sistemas de plantio que conservam a umidade do solo, como o SPD, é uma alternativa para otimizar o aproveitamento da água disponível no solo e garantir melhores condições de desenvolvimento para as culturas (Lessa *et al.*, 2024).

Algumas culturas apresentam maior adaptabilidade à agricultura de sequeiro, permitindo a sua produção mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica. O feijão, por exemplo, é uma das culturas que pode ser cultivada tanto em sistemas de sequeiro quanto irrigados (Charruá *et al.*, 2021). Essa adaptabilidade faz do feijão uma cultura estratégica, especialmente em regiões suscetíveis à seca, onde a escolha de espécies e cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico pode garantir a produtividade (Charruá *et al.*, 2021).

2.3 Cultura do Feijão

O feijão é uma cultura agrícola de grande importância socioeconômica no Brasil. Cerca de 98% da produção nacional é consumida internamente (EMBRAPA, 2020), refletindo a alta demanda pelo grão, que faz parte da alimentação dos brasileiros desde antes do período colonial (EMBRAPA, 2022). Esse elevado consumo está associado tanto ao baixo custo de produção e comercialização quanto ao seu alto valor nutricional.

Produzido majoritariamente por pequenos agricultores no âmbito da agricultura familiar, o feijão é, em grande parte, manejado, colhido e beneficiado manualmente, devido à baixa disponibilidade de recursos e à limitada mecanização. Com o tempo, tornou-se um alimento essencial na dieta nacional, sendo amplamente consumido em diferentes regiões do país. Rico em proteínas, fibras, vitaminas e minerais, o feijão apresenta um excelente valor nutricional (Kimothi e Dhaliwal, 2020). Além disso, seu ciclo curto, com duração média de 90 dias, dependendo da variedade, favorece sua produção e viabiliza múltiplos cultivos ao longo do ano (Landau e Moura, 2020). Embora sensível a variações de temperatura e precipitação, sua adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas permite o cultivo em regime de sequeiro (Rêgo *et al.*, 2024).

O feijão é produzido em todo o território nacional, a depender da variedade, dentro do gênero *Phaseolus vulgaris* existem as variedades de feijão-carioca (56%), feijão-preto (21%), feijão-jalo, feijão-rosinha, feijão-roxo, feijão-vermelho, entre outros (GEPTS e DEBOUCK, 1991). Na Zona da Mata em Minas Gerais, produz-se principalmente o feijão-vermelho e o feijão-preto, os quais são classificados como feijão-especial.

Dentre os feijões-vermelhos, se destaca a cultivar BRSMG Marte, muito produzida na região de Minas Gerais, especialmente para as regiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes. A Cultivar foi obtida a partir da seleção de linha pura na linhagem SER 198. Essa cultivar foi desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa – UFV e avaliada pelas instituições que compõem o convênio “Desenvolvimento de cultivares de feijão para o estado de Minas Gerais”:

UFV, EPAMIG, Universidade Federal de Lavras - UFLA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Arroz e Feijão (MAPA, 2021).

A cultivar BRSMG Marte é um feijão de ciclo curto, com aproximadamente 78 dias até a maturação fisiológica. Apresenta porte ereto, crescimento indeterminado e hábito do tipo II. Seus grãos têm coloração vermelha e brilho característico, com sementes elípticas e flores brancas. O peso médio de 1.000 grãos é de aproximadamente 280 g, e a produtividade média esperada é de 2.119 kg/ha⁻¹ (MAPA, 2021).

2.4 Déficit Hídrico na Cultura do Feijão

No Brasil, a distribuição das safras de feijão ao longo do ano coincide com diferentes condições climáticas. Em Minas Gerais, a primeira safra de feijão (safra das águas) ocorre na primavera, sendo semeada entre os meses de outubro e dezembro e colhida de janeiro a março. A segunda safra (safra da seca) é semeada de janeiro a abril e colhida de maio a agosto. A terceira safra (safra de inverno) é semeada de abril a setembro e colhida de outubro a dezembro (CONAB, 2019).

A demanda hídrica do feijão, que é de aproximadamente 400 mm durante o ciclo (Sofi *et al.*, 2021), nem sempre é suprida pela chuva, o que pode causar déficit hídrico e impactar o desenvolvimento e a produtividade da cultura de sequeiro. O feijão, quando submetido ao déficit hídrico, expressa algumas características de plasticidade fisiológica e morfológica. A planta reduz o índice de área foliar, minimizando a transpiração, e direciona recursos para o crescimento radicular, buscando explorar camadas mais profundas do solo em busca de umidade. Além disso, a restrição hídrica afeta diretamente a produção de matéria seca, o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem e o peso de cem grãos, variáveis essenciais para a produtividade final (Papathanasiou *et al.*, 2022).

Quando o estresse hídrico ocorre em estádios críticos, como a floração e a formação de vagens, os impactos podem ser ainda mais severos. O abortamento de flores e vagens é um dos principais reflexos dessa condição, reduzindo a produtividade da cultura. Esse efeito pode ser agravado quando o déficit hídrico é associado a temperaturas elevadas, que intensificam a perda de água por evapotranspiração e comprometem a viabilidade do pólen, dificultando a fecundação (Papathanasiou *et al.*, 2022).

A severidade dos danos causados pela falta de água depende da duração e da intensidade do estresse. Em alguns casos, a cultura pode se recuperar parcialmente se a restrição hídrica for temporária, retomando o crescimento e a produção após a recomposição do nível de umidade do solo. No entanto, períodos prolongados de seca podem causar danos irreversíveis

às estruturas vegetais, levando à redução expressiva da produtividade e, em situações extremas, à morte das plantas (Ahluwalia, Singh e Bhatia, 2021). O sistema de plantio adotado pode influenciar no desenvolvimento da cultura e desempenhar um papel fundamental na mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

2.5 Sistema de Plantio

O Sistema de Plantio Convencional (CONV) foi projetado para revolver o solo por meio do uso de arados e grades. Esse revolvimento descompacta a camada superficial do solo e promove a incorporação de fertilizantes (Fernandes *et al.*, 2023). Além disso, a aração e a gradagem favorecem o arranquio e o soterramento de plantas daninhas, podendo ser um método eficiente de manejo, principalmente para as plantas que têm sementes pequenas, raízes sem estolões, rizomas ou tubérculos (Blanco e Lal, 2023).

A incorporação de matéria orgânica através do revolvimento pode melhorar temporariamente a fertilidade do solo. No entanto, quando realizado por longos períodos, aumenta a suscetibilidade à erosão eólica e hídrica, além de contribuir para o esgotamento da matéria orgânica (Blanco e Lal, 2023). O uso contínuo do CONV pode levar à compactação do solo em camadas mais profundas, prejudicando a infiltração de água e dificultando o crescimento das raízes. Além disso, o aumento da exposição do solo à radiação solar pode acelerar a evaporação da umidade do solo e aumentar a necessidade de irrigação. O impacto ambiental também é uma preocupação, pois a prática pode resultar na liberação de grandes quantidades de carbono do solo, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma técnica conservacionista que não revolve o solo, causando mínima ou nenhuma perturbação (Oliveira *et al.*, 2024). A palhada que fica sobre o solo contribui para a redução de impactos ambientais, como a radiação solar direta, o aumento da temperatura do solo, o impacto das gotas de chuva, a erosão e o escoamento superficial (Gerke, 2022). Nesse sistema, os restos culturais são mantidos sobre o solo após a colheita, formando uma cobertura vegetal que protege a camada superficial contra o intemperismo. Além disso, o SPD melhora a estrutura físico-química do solo, favorece a conservação da umidade no solo, reduzindo a evaporação e ajudando a manter a disponibilidade hídrica, especialmente em períodos de seca (Oliveira *et al.*, 2024).

A matéria orgânica do solo desempenha um papel fundamental na agricultura, proporcionando benefícios que vão além da melhoria das condições de cultivo. Além disso, a matéria orgânica favorece a microbiota do solo e aprimora suas propriedades químicas e físicas,

pois os microrganismos presentes atuam como aeradores e decompõem os restos vegetais, facilitando a liberação de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Li *et al.*, 2020).

Em solos com baixos percentuais de cobertura, tem menos matéria orgânica e as plantas ficam mais suscetíveis ao déficit hídrico, uma vez que ocorre um aumento na taxa de evaporação e uma redução na capacidade de infiltração de água (Gerke, 2022). Nesse contexto, o uso de palhada de milho no SPD pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a matéria orgânica do solo. A palhada atua como uma camada protetora que proporciona um ambiente mais estável para o crescimento das plantas, especialmente em períodos de estiagem.

2.6 Palhada do Milho para Grãos e Ensilagem

Em áreas onde ocorre a sucessão de culturas, é comum o cultivo de gramíneas seguido por uma leguminosa. Na sucessão gramínea-leguminosa, os restos culturais podem ser utilizados como palhada ou incorporados ao solo (Silva *et al.*, 2021).

Após a colheita do milho para grãos, os restos culturais que permanecem na área agrícola podem ser incorporados ao solo no CONV ou usados na forma de palhada para SPD (Ndzelu *et al.*, 2023). No cultivo de milho para ensilagem, também existe a possibilidade de realizar o SPD após a colheita. No entanto, essa prática é pouco adotada, pois, no momento da colheita, as plantas são totalmente removidas, restando um baixo percentual de resíduos vegetais (Riedell, Osborne e Dagele, 2017). Essa baixa quantidade de resíduos resulta em pouca cobertura do solo, o que pode comprometer os benefícios do SPD, como a conservação da umidade e a redução da erosão.

Uma alternativa para aumentar a cobertura do solo é o consórcio do milho com a braquiária (*Urochloa* spp.). Esse sistema tem sido adotado com sucesso para incrementar a palhada de resíduos vegetais e melhorar a ciclagem de nutrientes, especialmente em áreas de SPD (Baptistella *et al.*, 2020).

2.7 Consórcio de Milho com Braquiária

O consórcio de milho com braquiária surge como uma alternativa eficiente para aumentar a produção de palhada após a colheita, tanto no milho para grãos quanto no milho para ensilagem (Pariz *et al.*, 2017). Esse sistema possibilita a manutenção da cobertura do solo, reduzindo a erosão, melhorando a retenção de umidade e favorecendo a ciclagem de nutrientes, além de todos os benefícios já mencionados. A braquiária contribui para o aumento da matéria orgânica do solo e para a supressão de plantas daninhas devido ao seu efeito alelopático, o qual reduz a necessidade do uso de herbicidas (Martins *et al.*, 2006)

O consórcio milho-braquiária proporciona melhorias para o solo, visto que as gramíneas possuem uma alta relação carbono/nitrogênio (C:N), o que contribui para uma decomposição mais lenta de seus resíduos orgânicos. Esse aspecto é benéfico no SPD, pois promove uma cobertura do solo mais duradoura (Santos *et al.*, 2018). Além disso, as gramíneas são reconhecidas pela alta produção de biomassa, o que é fundamental para a sustentabilidade e eficiência do sistema agrícola (Silva *et al.*, 2021).

No SPD, a escolha das espécies a serem cultivadas deve considerar sua capacidade de contribuir para o ecossistema agrícola. O ideal é optar por plantas que forneçam nutrientes ao solo, auxiliem na manutenção da sua estrutura, promovam melhorias na qualidade físico-química, contribuam para o controle de plantas daninhas, apresentem alta produção de biomassa e ainda tenham potencial para aumentar a produtividade das culturas comerciais (Baptistella *et al.*, 2020). A braquiária, por exemplo, atende a esses critérios ao atuar na reciclagem de nutrientes, favorecer a formação de agregados no solo e melhorar a infiltração e retenção de água (Santos *et al.*, 2018).

No entanto, quando mal manejada, a braquiária no consórcio pode competir com o milho por água, nutrientes e espaço. Portanto, para evitar que a produtividade do milho seja comprometida, é essencial um planejamento e manejo eficientes das culturas neste sistema. Algumas técnicas que podem ser eficazes incluem o cultivo simultâneo do milho e da braquiária na entrelinha (Carvalho *et al.*, 2023). Além disso, caso as condições ambientais favoreçam o crescimento acelerado da braquiária, é possível realizar a aplicação dirigida de herbicidas em dose reduzida para desacelerar seu desenvolvimento, permitindo que o milho, ao sombrear a braquiária, reduza seu crescimento de forma natural (Lima *et al.*, 2014). Isso ocorre porque a luz é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento da braquiária.

O cultivo de feijão de sequeiro em sucessão de milho consorciado com braquiária seguido otimiza o uso dos recursos naturais, e pode também melhorar a produtividade e a rentabilidade do sistema agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área Experimental

Os experimentos foram realizados na área experimental Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia – UEPE GCBE – Aeroporto (latitude 20°44 '42.7 " S, longitude 42°50' 34.8" W e altitude de 652,84 m) da UFV, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. O solo é Argissolo Vermelho-Amarelo (Santos *et al.*, 2018). A área vem sendo usada há aproximadamente 10 anos para o plantio direto do milho destinado à produção

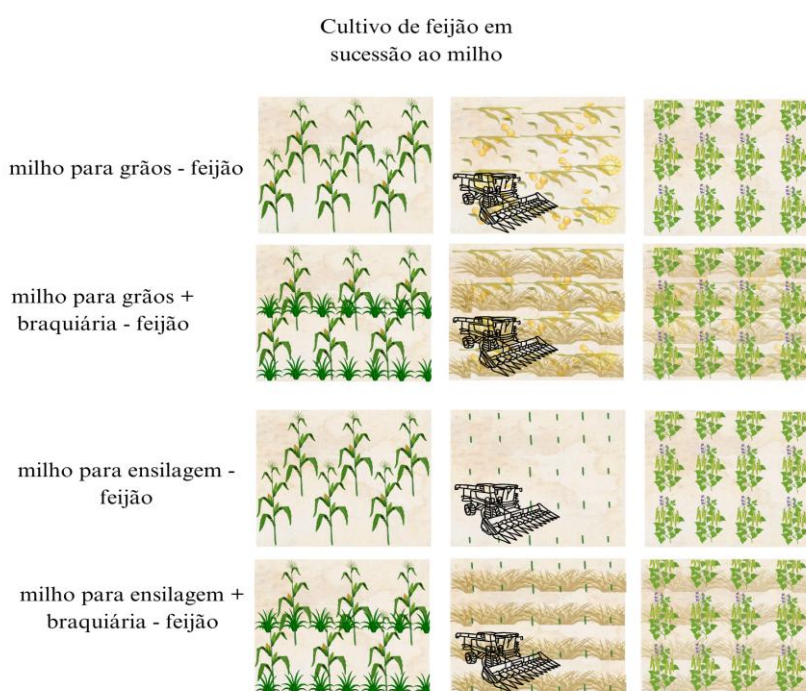
de grãos. O clima é Cwa, com estações bem definidas de chuva e seca (Köppen). A pluviometria média anual é de 838 mm. No período chuvoso (outubro a março), a temperatura média diária varia entre 20,3 e 22,3 °C. Em contraste, durante o período seco (abril a setembro), a temperatura média diária variou entre 15,4 e 18,3 °C (INMET, 2024). A precipitação acumulada durante os períodos de execução dos experimentos deste estudo, nos anos de 2021, 2023 e 2024, foi extraída do boletim meteorológico anual da estação climatológica da Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2025).

3.2 Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e seis repetições. Os blocos foram representados pelos anos de condução do experimento (2021, 2023 e 2024). Cada parcela principal foi subdividida em duas subparcelas, sendo que as parcelas continham os resíduos culturais do milho-silagem e do milho-grão, e as subparcelas continham o sistema de produção (SPD e CONV) (Figura 1).

Na área CONV, as subparcelas foram destinadas ao monocultivo de milho-silagem e milho-grão, enquanto nas subparcelas do SPD, foi realizado o consórcio dessas culturas com a braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). As subparcelas, onde foi cultivado o feijão, consistiram em cinco fileiras de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m entre elas, totalizando uma área de 15 m². A área útil experimental foi composta por 4 m das três fileiras centrais.

Figura 1 - Esquema experimental



3.3 Preparo do Solo

No CONV, após a colheita do milho-grão e milho-silagem, o solo foi arado até uma profundidade de 20 cm e, em seguida, passou por duas gradagens. Já no SPD, durante o estágio de maturidade fisiológica do milho-grão, a dessecação da braquiária e da vegetação espontânea foi realizada 15 dias antes da colheita, com a aplicação de 1.440 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Na área de milho-silagem, a dessecação ocorreu 7 dias antes da semeadura do feijão, também com a aplicação de 1.440 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. O dessecante foi aplicado com um pulverizador costal manual, direcionado às entrelinhas do milho.

3.4 Cultivo do Feijão

O plantio do feijão, cultivar BRSMG Marte, foi realizado com uma semeadora tratorizada (Semeato SHM 1113) nos dias 26 de março de 2021, 10 de abril de 2023 e 29 de fevereiro de 2024. As datas de plantio variaram em função do ciclo do milho que antecedeu o cultivo em cada ano. A densidade de semeadura utilizada foi de 13 sementes m⁻¹ linear. O feijão foi cultivado na segunda safra do ano (safra da seca) e mantido em condições de sequeiro.

A adubação de plantio foi realizada simultaneamente à semeadura, com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ da formulação N-P-K (08-28-16), conforme as necessidades da cultura (CFSEMG, 1999) e as características do solo. No estágio fenológico V4, foi feita a adubação de cobertura com 35 kg ha⁻¹ de N, além da aplicação de 80 g ha⁻¹ de molibdênio via adubação foliar (CFSEMG, 1999).

3.5 Variáveis Avaliadas

A primeira avaliação do feijão ocorreu quando as plantas estavam no estágio R7 (formação de vagem), 70 dias após o plantio (DAP) em 2021, 71 DAP em 2023 e 68 DAP em 2024. Seis plantas por parcela foram selecionadas aleatoriamente dentro da área útil para avaliar altura das plantas (AP) desde o colo até o ápice da haste principal. O comprimento da raiz (CR) foi medido após o arranquio da planta inteira, utilizando duas pás de corte, alinhando a raiz principal. A profundidade das raízes (PR) foi determinada de maneira similar ao CR, porém sem alinhar a raiz principal. A área foliar (AF), após a coleta e armazenamento das folhas em sacos plásticos em uma caixa de isopor para evitar murchar, foi mensurada usando um "scanner HP". Os dados de AF foram processados no software DDA – Determinador Digital de Áreas (Ferreira *et al.*, 2008), fornecendo o resultado em cm². A massa seca de folhas (MSF), massa seca de vagens (MSV) e massa seca das raízes (MSR) foram determinadas pelo peso em gramas

(g) dos materiais vegetais, previamente armazenados em sacos de papel e secados em estufa a 70 °C por 48 h.

A segunda avaliação foi realizada 102 DAP em 2021, 113 DAP em 2023 e 85 DAP em 2024, quando as plantas estavam no estágio R9 (maturidade fisiológica). A colheita foi realizada em duas fileiras centrais, totalizando 6 m de comprimento por parcela. Foram avaliadas o número de vagens por planta (NV), determinado pela contagem de vagens com grãos viáveis presentes em dez plantas por parcela. A produtividade (PROD) foi estimada em kg ha⁻¹, pesando o total dos grãos colhidos das plantas presentes na área útil de cada parcela.

3.6 Análise Estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade. Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma, devido ao interesse em estudo. As análises estatísticas foram realizadas no software R, com o uso do pacote ExpDes.pt.

4. RESULTADOS

As condições meteorológicas, principalmente a precipitação, variaram a cada ano de execução dos experimentos, influenciando diretamente as variáveis avaliadas na cultura do feijão. Em 2021, a precipitação acumulada 10 dias antes do plantio foi de apenas 1 mm, e durante o desenvolvimento da cultura, acumulou-se 81 mm. Em 2023, a precipitação acumulada 10 dias antes do plantio foi de 23 mm, e o total acumulado durante o ciclo da cultura foi de 107 mm. No entanto, o maior volume dessa precipitação correspondeu a uma chuva intensa de 50 mm que ocorreu quatro dias após o plantio. Em contraste, 2024 foi o ano mais chuvoso, com 83 mm de precipitação acumulada 10 dias antes do plantio e 306 mm durante o desenvolvimento da cultura (**Apêndice A**).

4.1 Altura da Planta e Área Foliar do feijão

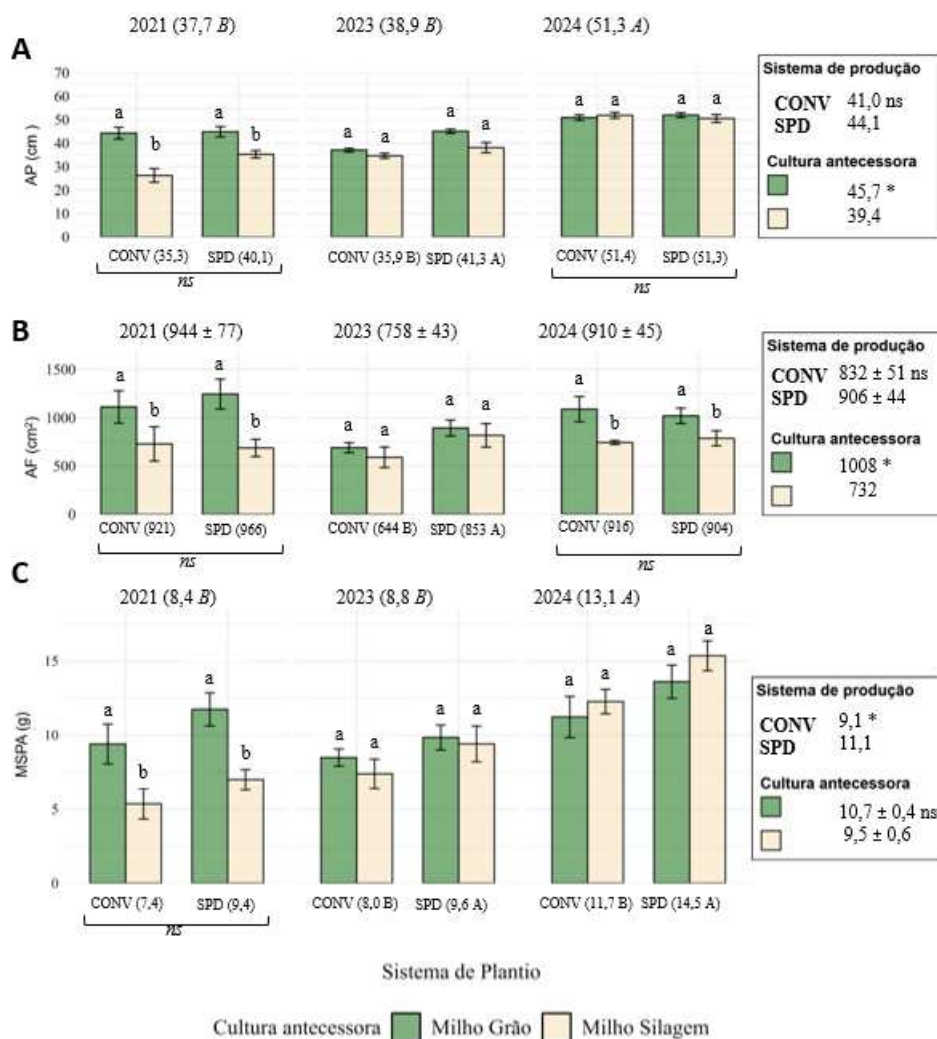
A AP do feijão variou entre os anos, com os maiores valores observados em 2024, variando de 50,5 a 52 cm, seguido de 2023, com AP entre 34,7 e 45,1 cm. Nesses anos, não houve diferença na AP em relação ao sistema de produção ou ao tipo de cultura antecessora (milho-grão ou milho-silagem). No entanto, em 2021 as AP foram menores, e tiveram influência dos sistemas de produção e cultura antecessora. Em áreas de milho-grão, tanto em SPD quanto em CONV, a AP do feijão foi, em média, de 44,6 cm. No entanto, em áreas de milho-silagem, mesmo quando consorciado com braquiária, registaram-se AP menores (26,3

cm no SPD e 35,3 cm no CONV) (**Figura 2A**).

A AF oscilou de 591 a 1.245 cm², dependendo da cultura antecessora e do sistema de produção, sendo sempre maior nas áreas de milho-grão. Em áreas de CONV, a AF variou de 690 a 1.112 cm², enquanto em áreas de SPD variou de 688 a 1.245 cm². Tanto em 2021 quanto em 2024, não houve diferença na AF em função do sistema de produção, mas houve em função da cultura antecessora. Nesses anos, as maiores AF foram registradas em áreas de milho-grão, consorciado ou não com braquiária, variando de 1112 a 1089 cm² no CONV e de 1020 a 1245 cm² no SPD. Em áreas de milho-silagem, a AF variou de 729 a 744 cm² no CONV e de 688 a 788 cm² no SPD. Interessantemente, em 2023, a cultura antecessora não influenciou a AF, mas houve diferença no sistema de produção (640 cm² no CONV versus 856 cm² no SPD) (**Figura 2B**).

A MSPA do feijão variou de 5,4 a 15,4 g, dependendo do ano e, em alguns casos, do sistema de produção e cultura antecessora. Em 2021, produção de MSPA foi maior em áreas de milho-grão, enquanto em 2024, a maior MSPA foi registrada nas áreas de milho-silagem. Em 2023 e 2024, a MSPA do feijão no SPD (9,8 e 15,3 g) foi maior do que no CONV (7,4 e 12,3 g), após o milho-silagem. Em 2023, ano em que se registraram os menores valores de MSPA, nas áreas de milho-grão, a MSPA em SPD foi de 9,8 g, enquanto no CONV foi de 8,5 g. Em áreas de milho-silagem, as menores MSPA do feijão foram de 5,4 g no CONV e 7 g no SPD, em 2021 (**Figura 2C**).

Figura 2 - Altura (AP), área foliar (AF) e Massa seca da parte aérea (MSPA) do feijão cultivado em sequeiro, em área de plantio convencional (CONV) e plantio direto (SPD) após o milho-grão ou milho-silagem.



No SPD, a cultura antecessora esteve consorciada com a braquiária. As médias seguidas por ^{ns} (não significativo) ^{*} (significativo a 5%) referem-se à média global do sistema de plantio ou da cultura antecessora. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre anos e, em cada ano, entre sistemas de produção. Letras minúsculas indicam diferenças dentro sistema de produção em relação à cultura antecessora. A significância de todas as análises corresponde a 95% de confiabilidade, conforme o teste de Tukey. Fonte - SANTANA, Ana Paula da Silva.

4.3 Profundidade e Comprimento das Raízes

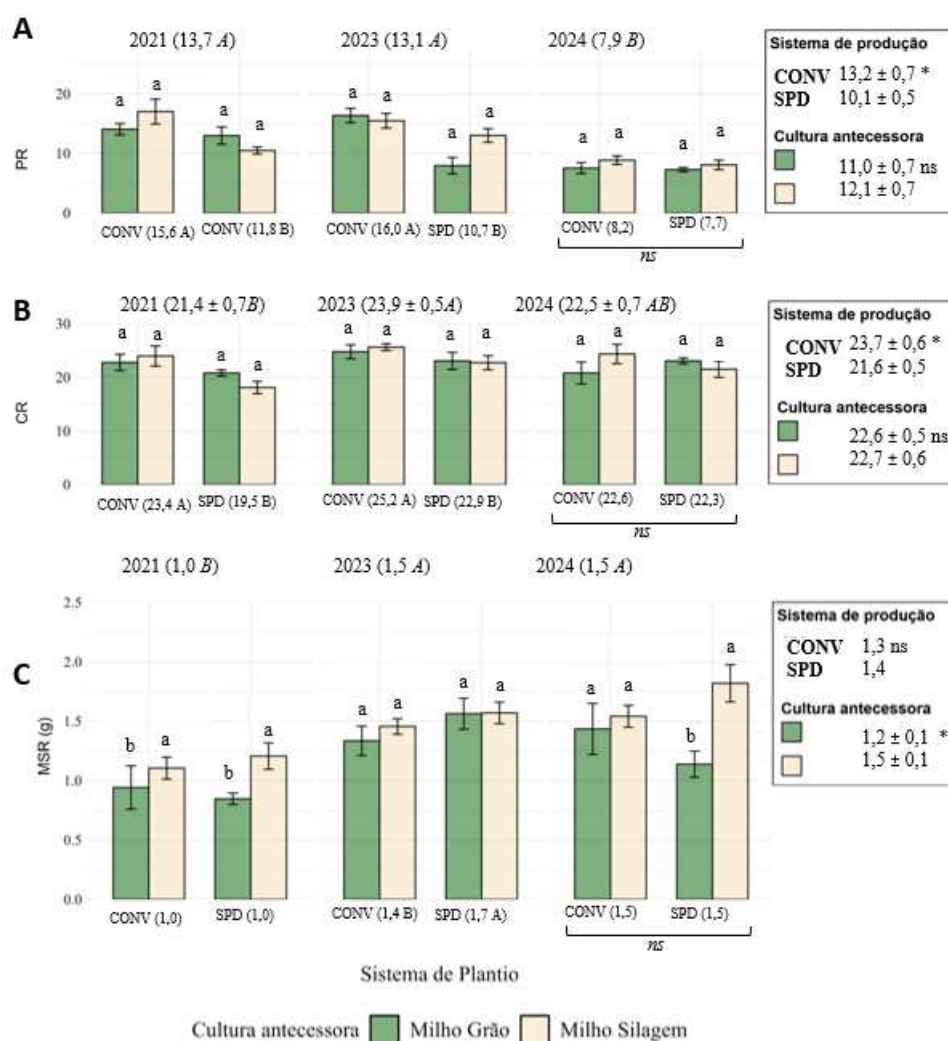
Os valores de PR e CR do feijão variaram de acordo com o ano e o sistema de produção. Em 2021 e 2023, a PR variou de 10,5 a 17,0 cm (exceto na área de milho para grãos em SPD, que foi de 8 cm). Nestes anos, a PR foi maior no CONV (14,1 a 17 cm), sem diferenças entre as culturas antecessoras. Já no SPD, a PR variou de 10,5 a 13 cm, com padrões inversos entre os anos: em 2021, a PR foi maior na área de milho-grão, enquanto em 2023, foi maior na

área de milho-silagem. Em 2024, as PR foram mais baixas, variando de 7,3 a 8,9 cm, mas sem diferenças entre os sistemas de produção ou influência da cultura antecessora (**Figura 3A**).

Por outro lado, os valores de CR, que oscilaram de 18,1 a 25,7 cm, foram mais homogêneos entre os anos, mas houve diferenças entre anos (valores médios de CR: 21,4 cm em 2021, 23,9 cm em 2023 e 22,5 cm em 2024) e sistemas de produção. O único caso em que se observaram diferenças foi no SPD em 2021, ano em que se registrou o CR mais baixo, tanto na área de milho-grão (20,8 cm) quanto na área de milho-silagem (18,1 cm) (**Figura 3B**).

A MSR do feijão variou de 0,8 a 1,8 g, dependendo do ano e da cultura antecessora. No entanto, o sistema de produção não influenciou este parâmetro. Em 2021, tanto no CONV quanto no SPD, registraram-se os valores mais baixos de MSR, com 0,8 g em áreas de milho-grão, e 0,9 g em áreas de milho-silagem. Em 2023 e 2024, a MSR variou de 1,3 a 1,8 g, independentemente do sistema de produção ou da cultura antecessora, exceto no SPD de 2024, onde a MSR do feijão cultivado em área de milho-grão foi de apenas 1,1 g, enquanto na área de milho-silagem alcançou 1,8 g, o maior valor registrado para este parâmetro nos experimentos (**Figura 3C**).

Figura 3 - Profundidade (PR), comprimento das raízes (CR) e Massa seca das raízes (MSR) do feijão cultivado em sequeiro, em área de plantio convencional (CONV) e plantio direto (SPD) após o milho-grão ou milho-silagem

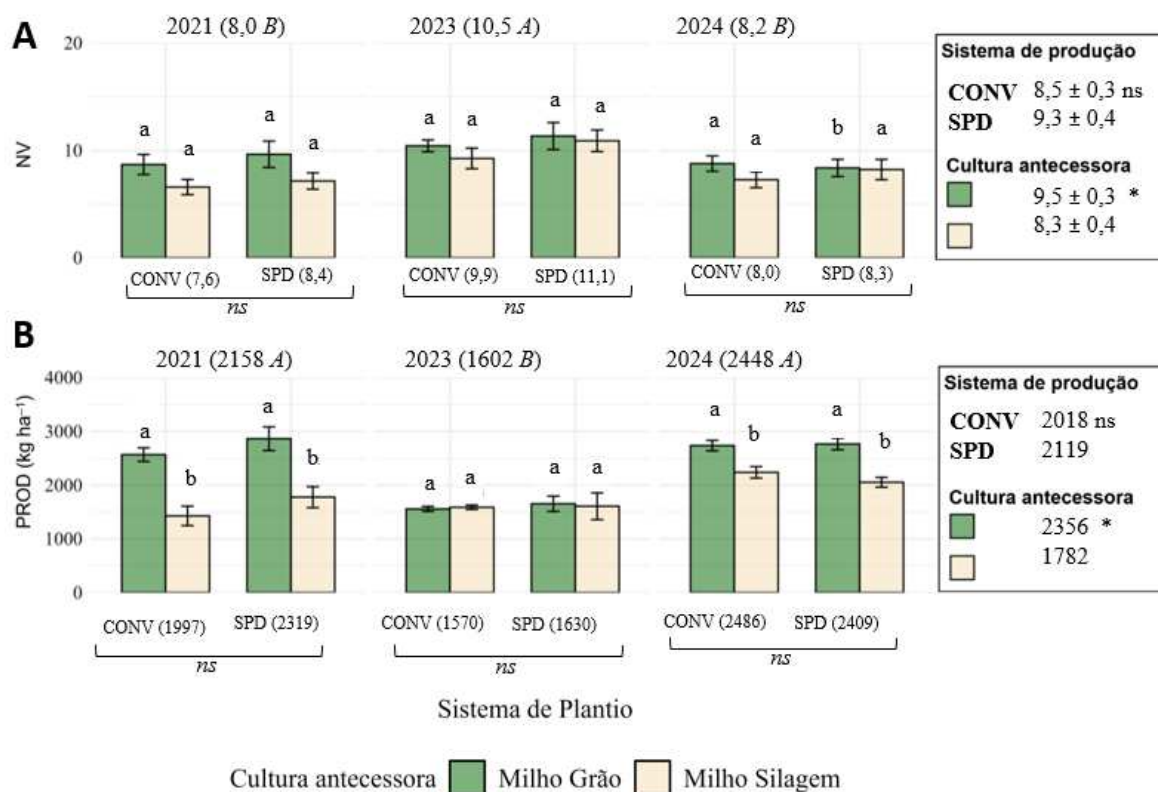


No SPD, a cultura antecessora esteve consorciada com a braquiária. As médias seguidas por ^{ns} (não significativo) ^{*} (significativo a 5%) referem-se à média global do sistema de plantio ou da cultura antecessora. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre anos e, em cada ano, entre sistemas de produção. Letras minúsculas indicam diferenças dentro sistema de produção em relação à cultura antecessora. A significância de todas as análises corresponde a 95% de confiabilidade, conforme o teste de Tukey. Fonte - SANTANA, Ana Paula da Silva.

4.5 Número de Vagens e Produtividade

O NV variou de 6,6 a 11,3, com os maiores valores registrados em 2023. Assim, a média de NV foi de 8,0 em 2021, 10,5 em 2023 e 8,2 em 2024. A única exceção com influência do sistema de produção ocorreu no CONV em 2023, onde foram registradas 10,9 vagens por planta em SPD e 9,3 vagens em CONV após o milho-silagem (**Figura 4A**).

Figura 4 - Número de vagem por planta (NV) e Produtividade (PROD) do feijão cultivado em sequeiro, em área de plantio convencional (CONV) e plantio direto (SPD) após o milho-grão ou milho-silagem



No SPD, a cultura antecessora esteve consorciada com a braquiária. As médias seguidas por 'ns' (não significativo) '*' (significativo a 5%) referem-se à média global do sistema de plantio ou da cultura antecessora. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre anos e, em cada ano, entre sistemas de produção. Letras minúsculas indicam diferenças dentro sistema de produção em relação à cultura antecessora. A significância de todas as análises corresponde a 95% de confiabilidade, conforme o teste de Tukey. Fonte - SANTANA, Ana Paula da Silva.

A PROD de feijão variou de 1427 a 2863 kg.ha⁻¹ em função do ano e, em alguns casos, também em função da cultura antecessora. Em 2023, a produtividade foi homogênea (de 1556 a 1653 kg.ha⁻¹), independentemente do sistema de produção ou cultura antecessora. Contudo, nos anos 2021 e 2024, as maiores PRODs (de 2735 a 2863 kg.ha⁻¹) foram registradas nas áreas de milho-grão, tanto de CONV quanto no SPD. Por outro lado, nas áreas de milho-silagem, as médias de PROD foram de 1427 kg.ha⁻¹ no CONV e de 1776 kg.ha⁻¹ no SPD em 2021. Já em 2024, a PROD foi inversa, sendo maior no CONV (2237 kg.ha⁻¹) em comparação ao SPD (2053 kg.ha⁻¹) (**Figura 4B**).

5. DISCUSSÃO

A precipitação foi determinante nas diferenças observadas nas variáveis avaliadas na cultura do feijão. O ano de 2021 foi o ano mais seco, 2023 teve uma distribuição da chuva mais uniforme ao longo da safra, e 2024 foi o ano mais chuvoso (**Apêndice A**). A precipitação média anual de Viçosa, no período de 1990 a 2020, foi de 838 mm, e 90% dessa precipitação ocorreu no período chuvoso (de dezembro a março) (UFV, 2025). A precipitação durante o período de sequeiro dos experimentos deste trabalho oscilou de 9,7% (em 2021) a 36,6% (em 2024) da precipitação anual, evidenciando o estresse hídrico ao qual a cultura esteve submetida. O ano mais chuvoso durante os experimentos foi 2024, com uma precipitação acumulada de 306 mm; no entanto, esse volume ficou abaixo do mínimo recomendado para a cultura do feijão, que é de 400 mm (Sofi *et al.*, 2021). O déficit hídrico é um dos principais desafios da agricultura de sequeiro, pois pode reduzir o crescimento das plantas devido à menor concentração intercelular de dióxido de carbono e ao fechamento estomático induzido pelo acúmulo de ácido abscísico (ABA) (Aslam *et al.*, 2022).

A AP e a AF foram maiores no SPD e nas áreas de milho-grão. O aumento da AP e da AF pode estar relacionado à maior proteção superficial do solo no SPD, o que reduz a evaporação da água e melhora a retenção hídrica, além da adição de matéria orgânica na área de milho-grão. Esse efeito é particularmente importante em condições de sequeiro, onde a disponibilidade hídrica é um fator limitante ao crescimento das plantas (Lu *et al.*, 2018, Dietz *et al.* 2021).

A cultura antecessora teve maior influência no desenvolvimento do feijão em comparação ao sistema de produção. O milho-grão, especialmente quando consorciado com braquiária (SPD), melhorou as condições do solo. Embora com resultados inferiores aos observados nas áreas de milho-grão, nas áreas de milho-silagem em SPD também se observou uma melhora no desenvolvimento do feijão, devido à decomposição dos restos culturais e ao acúmulo de matéria orgânica (Brito *et al.*, 2023). A matéria orgânica aumenta a concentração de carbono no solo, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos benéficos responsáveis pela ciclagem de nutrientes e formação de agregados (Aslam *et al.*, 2022). Esses fatores melhoram a retenção de água e disponibilizam nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Allam *et al.*, 2022).

A água absorvida pelas plantas desempenha um papel crucial em suas funções bioquímicas e metabólicas, influenciando diretamente a fotossíntese, a turgidez celular, o transporte de nutrientes e a regulação térmica (Ahluwalia, Singh e Bhatia, 2021). Em condições

de déficit hídrico, a redução da absorção de água resulta no aumento da concentração de ácido abscísico (ABA), promovendo o fechamento estomático e acelerando a senescência foliar, o que altera a arquitetura da planta (Aslam *et al.*, 2022). Além disso, o estresse hídrico reduz a absorção de nutrientes, diminui a taxa fotossintética, a concentração de carbono intercelular e a transpiração, prejudicando o crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão (Zhao *et al.*, 2020).

Diferente da AP e da AF, a MSPA apresentou variações mais expressivas, evidenciando sua maior sensibilidade às condições climáticas. O aumento da MSPA no SPD, pode estar associado à capacidade de retenção de água no solo ao longo da safra, além disso, a cultura antecessora também desempenhou um papel importante na variação da MSPA. O milho-grão se mostrou uma cultura antecessora mais eficiente na safra do feijão de sequeiro. Esse efeito pode ser explicado pela presença de resíduos vegetais, que contribuíram para a retenção de umidade no solo e a disponibilização gradual de água para o feijão.

O maior volume de palhada do milho-grão, quando comparado ao milho-silagem, favorece a retenção de umidade e a ciclagem de nutrientes para a cultura sucessora (Riedell, Osborne e Dagel, 2017). Além disso, o consórcio milho-braquiária também influencia a disponibilidade de nutrientes, pois seus resíduos possuem alta relação C/N, o que resulta em decomposição lenta e liberação gradual de potássio (K), sódio (Na) e cálcio (Ca) para o solo (Pariz *et al.*, 2021). Esses nutrientes são essenciais para o crescimento do feijão e podem explicar o melhor desempenho da cultura por fim, a facilidade de absorção de água nas áreas com maior retenção hídrica pode ter levado o feijão a direcionar seus recursos para o crescimento da parte aérea, em detrimento do sistema radicular, visando maximizar a produtividade (Sofi *et al.*, 2021). Esse efeito reforça a necessidade de estratégias de manejo que equilibram o crescimento da parte aérea e radicular, garantindo maior tolerância ao estresse hídrico e maior eficiência no uso dos recursos do solo.

A PR e o CR do feijão variaram conforme o sistema de produção, sendo, em geral, maiores no CONV. O alongamento das raízes pode estar relacionado à menor disponibilidade de água e nutrientes no solo, uma vez que solos expostos a períodos de estiagem apresentam maior evapotranspiração devido à incidência direta da radiação solar (Gunther *et al.*, 2022). Nessas condições, as plantas aprofundam suas raízes para acessar fontes hídricas em camadas mais profundas, o que explica os maiores valores de PR e CR observados no CONV. Além disso, solos com menor cobertura vegetal apresentam menor teor de matéria orgânica e disponibilidade de macro e micronutrientes, o que pode induzir o crescimento das raízes em busca de recursos essenciais a maiores profundidades (Belachew *et al.*, 2019).

A MSR variou conforme a cultura antecessora, mas não foi influenciada pelo sistema de produção. Em 2021, um ano com menor precipitação, os menores valores de MSR foram registrados nas áreas com milho-grãos. A maior MSR após o milho-silagem pode estar relacionada à menor disponibilidade de matéria orgânica na superfície do solo, uma vez que durante a colheita do milho-silagem remove-se quase toda a parte aérea da planta, resultando em um menor aporte de resíduos vegetais e um maior déficit hídrico. A baixa disponibilidade de água pode alterar a morfologia radicular, induzindo as plantas a direcionarem mais recursos para explorar o solo de forma eficiente em busca de água em camadas mais profundas (Schwinning, Ehleringer, 2001). Isto resulta em maiores valores de PR e CR, como constatado neste estudo, porém frequentemente as raízes são mais finas pois a MSR foi reduzida. Além disso, com a limitação na disponibilidade de água, as plantas direcionam seus recursos para a expansão do sistema radicular em detrimento da parte aérea (Belachew *et al.*, 2019). Isto foi constatado neste estudo, nos casos que a MSPA é maior, a MSR é menor e vice-versa.

Nas áreas de SPD de milho-silagem, a maior parte dos resíduos provém da braquiária, o que atenuou parcialmente o estresse hídrico. Já em milho-grão, a camada densa de palhada, formada por milho e braquiária, minimiza os efeitos da seca e reduz a necessidade de raízes mais profundas (Riedell, Osborne e Dagele, 2017). Nessas condições, as raízes são mais grossas (maior MSR) e apresentam menores valores de CR e PR, pois não há necessidade de investir recursos na expansão do sistema radicular (Hopmans e Bristow, 2002). Esses resultados mostram a importância da umidade do solo e da cobertura vegetal no crescimento das raízes, destacando a necessidade de um manejo adequado da palhada e a escolha do sistema de produção para reduzir os impactos da seca e melhorar o desenvolvimento das raízes.

O NV variou ao longo dos anos, influenciado pelo regime de chuvas. Tanto o sistema de produção como a cultura antecessora não influenciaram o NV (exceto em 2023 no CONV), mas numericamente registraram-se maiores médias deste parâmetro nas áreas de milho-grão em ambos os sistemas de produção. A maior quantidade de palha proveniente dessa cultura antecessora pode ter favorecido o NV por planta ao manter a cobertura do solo e reduzir a evapotranspiração, criando um ambiente mais estável para o desenvolvimento das flores e a formação das vagens. O NV por planta do feijão está diretamente ligado à viabilidade das flores, sendo que altas temperaturas e déficit hídrico podem levar ao abortamento floral e, conseqüentemente, à redução do NV por planta (Papathanasiou *et al.*, 2022).

A relação entre o NV por planta e o PROD do feijão não é necessariamente direta, podendo haver maior NV por planta e isso não resultar na maior PROD. Em geral, o maior NV por planta pode aumentar a PROD, mas isso depende de boas condições (como nutrição, água

e temperatura) para o desenvolvimento das vagens (Sale *et al.*, 2018). No entanto, em alguns casos, se a planta não tiver recursos suficientes para sustentar todas as vagens, um NV por planta excessivo pode não aumentar a PROD (Leport *et al.*, 2006). Isto ocorre porque a seca terminal impacta o desenvolvimento e a senescência das folhas, a captação de luz e a fixação de carbono, comprometendo o desenvolvimento das vagens (quantidade e qualidade), e consequentemente, o enchimento dos grãos e a PROD (Farooq *et al.*, 2017).

A PROD do feijão foi influenciada pelo ano e, em alguns casos, pela cultura antecessora. Em 2023, a PROD foi homogênea, sem diferenças entre os sistemas de produção ou culturas antecessoras. Porém, em 2021 e 2024, a cultura antecessora teve impacto na PROD. Nesses dois anos, as maiores PRODs ocorreram em áreas com milho-grão como cultura antecessora, tanto no CONV quanto no SPD. Já nas áreas de milho-silagem, a PROD foi menor, especialmente em 2021 no CONV. Esses resultados reforçam o impacto da palhada do milho-grão na PROD do feijão. Diferente da palhada do milho-silagem, que é composta principalmente da parte inferior do caule e poucas folhas, a palhada do milho-grão (incluindo folhas, galhos, caule e espiga sem milho) fornece uma cobertura mais densa, que ajuda a reduzir a evaporação, controlar a temperatura, reter a umidade, diminuir o escoamento superficial e aumento da infiltração de água no solo (Pariz *et al.*, 2017). Isso cria condições ambientais mais favoráveis para o crescimento do feijão, melhorando a absorção de nutrientes e a produtividade (Miglani, Sharma e Gupta, 2020).

Os dados indicam que o SPD pode favorecer o NV por planta, enquanto a cultura antecessora desempenha um papel crucial na produtividade do feijão. Infelizmente, não é fácil prever com precisão as condições meteorológicas com tanta antecedência, pois a safra de milho, seja para ensilagem ou grãos (consorciada ou não com braquiária), se estabelece com 4-5 meses de antecedência à semeadura do feijão. Portanto, o cultivo de milho-grão, preferencialmente consorciado com braquiária, é uma estratégia eficiente para melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo, garantindo melhores condições para o desenvolvimento do feijão e maximizando seu rendimento.

6. CONCLUSÕES

As variáveis altura de planta, área foliar, massa seca da parte aérea, profundidade e comprimento de raiz, massa seca da raiz, número de vagens por planta e produtividade do feijoeiro foram influenciadas pelo sistema de produção e pela cultura antecessora.

A altura de planta e a área foliar foram maiores em áreas de milho-grão. A massa seca da parte aérea foi maior no SPD, enquanto a profundidade e o comprimento da raiz foram

superiores no CONV. A massa seca da raiz foi superior no SPD após milho-silagem (raízes mais finas). O número de vagens por planta foi maior no SPD em áreas de milho-grão e no CONV nas áreas de milho-grão. A produtividade do feijoeiro foi superior em áreas de milho-grão em comparação com milho-silagem.

O SPD na área de milho-grão consorciado com braquiária, contribuiu para a redução da evaporação e para a moderação da temperatura do solo, favorecendo o crescimento da parte aérea e o aumento da produtividade. Portanto, o SPD, especialmente quando combinado com culturas antecessoras consorciadas com braquiária, é uma estratégia eficiente para melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo. Esses resultados reforçam a viabilidade do SPD como uma prática de manejo sustentável e eficiente para a produção de feijão, especialmente após o cultivo de milho-grão consorciado com braquiária.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017)**. Brasília: ANA: IBGE, 2020. 63 p.: il. color. ISBN 978-85-8210-064-6.
- AHLUWALIA, O., SINGH, P.C. e BHATIA, R. A review on drought stress in plants: **Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria**. Resources, Environment and Sustainability, v. 5, 2021, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>.
- ALLAM, M., *et al.* **Influence of Organic and Mineral Fertilizers on Soil Organic Carbon and Crop Productivity under Different Tillage Systems: A Meta-Analysis**. Agriculture, v. 12, n. 4, 464, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040464>.
- ARAÚJO, G. A. de A. e FERREIRA, A. C. de B. **Manejo do solo e plantio**. In: VIEIRA, C., PAULA JÚNIOR, T. J. DE, BORÉM, A. Feijão. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.
- BAPTISTELLA, J.L.C., *et al.* **Urochloa in Tropical Agroecosystems**. Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 4, 119, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>.
- BELACHEW, K.Y., *et al.* **Association of Shoot and Root Responses to Water Deficit in Young Faba Bean (*Vicia faba* L.) Plants**. Frontiers in Plant Science, v. 10, 1063, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01063>.
- BLANCO, H. e LAL, R. **Tillage Systems. Em: Soil Conservation and Management**. Springer, Cham, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_7.
- BOWDEN, L. (1979). **Development of Present Dryland Farming Systems**. In: Hall, A.E., Cannell, G.H., Lawton, H.W. (eds) Agriculture in Semi-Arid Environments. Ecological Studies, vol 34. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-67328-3_2.
- BRITO, L. de C. R. *et al.* **Improved soil fertility, plant nutrition and grain yield of soybean and millet following maize intercropped with forage grasses and crotalaria in the Brazilian savanna**. Crop & Pasture Science, v. 74, 438-448, 2023. <https://doi.org/10.1071/CP22251>.
- CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Lavras: 1999. 359p
- CHARRUÁ, A. B., *et al.* **Segurança alimentar e nutricional em Moçambique: estudo comparativo com espécies de feijão comercializadas em mercados informais**. Sustentabilidade, v. 13, p. 8839, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13168839>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- DIETZ, K. J., ZÖRB, C. e GEILFUS, C. M. (2021). **Drought and crop yield**. Plant Biology, 23(6), 881-893.
- DEMO, A.H. e BOGALE, G.A. **Enhancing crop yield and conserving soil moisture through mulching practices in dryland agriculture**. Frontiers in Agronomy, v. 6, 1361697, 2024. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1361697>.
- EMBRAPA. **Rotação de culturas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/rotacao-de-culturas>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- FAROOQ, M., *et al.* (2017). **Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling**. Journal of Agronomy and Crop Science, 203(2), 81-102.

FERNANDES, M.M.H., *et al.* **Soil structure under tillage systems with and without cultivation in the off-season.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 342, 108237, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108237>.

FREIRE, F. F. R. **Origem, evolução e domesticação do caupi.** In: ARAÚJO, J. P. P. de, WATT, E. E. (org.). **O caupi no Brasil.** Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.

GEPTS, P. e DEBOUCK, D. G. **Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*).** In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (ed.). *Common beans: research for crop improvement.* Cali: CIAT, 1991. p. 7-53.

GERKE, J. **The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage.** *Soil Systems*, v. 6, n. 2, 33, 2022. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>.

GUNTHER L., *et al.* **Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean.** *Agricultural Water Management*, v. 269, 107719, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107719>.

HOPMANS, J. W. e BRISTOW, K. L. **Current capabilities and future needs of root water and nutrient uptake modeling.** *Advances in agronomy*, 2002, vol. 77, p. 103-183. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77014-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77014-4).

JARDIM, C. A., *et al.* **Crop Succession and Nitrogen Splitting Fertilization in Common Bean in Newly Implemented No-tillage System.** *International Journal of Plant Production*, v. 17, p. 449-461, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00260-5>.

KARAVIDAS, I., *et al.* **Agronomic Practices to Increase the Yield and Quality of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A Systematic Review.** *Agronomy*, v. 12, n. 2, 271, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020271>.

KIMOTHI, S. e DHALIWAL, Y. S. **Nutritional and Health Promoting Attribute of Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A Review.** *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 9, n. 5, p. 1201-1209, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.134>.

LANDAU, E. C. e MOURA, L. **Evolução da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae).** In: MIRANDA, E. R. de, MAGALHÃES, C. de C., BIANCHINI, P. C. (org.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2020. v. 2, cap. 23, p. 739-798.

LESSA, L.C.R., *et al.* **Stability of rainfed food agriculture in Paraíba in the face of rainfall instability.** *Revista Econômica e Sociologia Rural*, v. 62, n. 3, e274633, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.274633>.

LEPORT, L., *et al.* (2006). **Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought.** *European Journal of Agronomy*, 24(3), 236-246.

LI, G.X., *et al.* **Dryland agricultural environment and sustainable productivity.** *Plant Biotechnology Reports*, v. 14, 169-176, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11816-020-00613-w>.

LLANES C. O., *et al.* **Modeling Yield of Irrigated and Rainfed Bean in Central and Southern Sinaloa State, Mexico, Based on Essential Climate Variables.** *Atmosphere*, v. 15, 573, 2024. <https://doi.org/10.3390/atmos15050573>.

- Lu, W., *et al.* (2018). **Crop yield response to climate variables on dryland versus irrigated lands.** Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie, 66(2), 283-303.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2021. **Cadastro nacional de cultivares registradas** - CNCR. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 18 jan. 2024.
- MIGLANI, G.S., *et al.* **Leveraging photosynthetic efficiency toward improving crop yields.** Journal of Crop Improvement, v. 35, n. 3, 361–402, 2020. <https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1824168>.
- MITCHELL, J.P., *et al.* **No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation.** California Agriculture, v. 66, n. 2, 2012. <https://escholarship.org/uc/item/4cg3g2cf>.
- MOMPREMIER, R., *et al.* **Modeling the response of dry bean yield to irrigation water availability controlled by watershed hydrology.** Agricultural Water Management, v. 243, p. 106429, 2021. ISSN 0378-3774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106429>.
- NDZELU, B.S. *et al.* **Molecular composition and structure of organic matter in density fractions of soils amended with corn straw for five years.** Pedosphere, v. 33, n. 2, p. 372-380, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.057>.
- OLIVEIRA, E.M., *et al.* **Effects of conventional, organic and conservation agriculture on soil physical properties, root growth and microbial habitats in a long-term field experiment.** Geoderma, v. 447, 2024, 116927. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116927>.
- PAPATHANASIOU, F., *et al.* **The Evaluation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes under Water Stress Based on Physiological and Agronomic Parameters.** Plants, v. 11, 2432, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11182432>.
- PARIZ, C.M., *et al.* **Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 108, 35–54, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9821-y>.
- RÊGO, L. V. C. do *et al.* **Características Físicas Em Acessos De Feijão *Phaseolus Vulgaris* L. Em Função De Diferentes Teores De Água.** Caderno Pedagógico, v. 21, n. 5, e4088, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-011>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- RIBEIRO, L. L. O., *et al.* (2023). **Plantas de cobertura e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura em sucessão na região sul do Brasil.** REVISTA DELOS, 16(42), 437–444. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n42-028>.
- REICHERT, J. M., *et al.* **Defining tillage need for edible bean production under no-tillage: Classical and time series analyses.** Soil and Tillage Research, v. 202, p. 104671, 2020. ISSN 0167-1987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104671>.
- RIEDEL, W.E., OSBORNE, S.L. e DAGEL, K.J. **Maize Residue Removal and Cover Crop Effects on Subsequent Soybean Crops.** Agronomy Journal, v. 109, n. 5, 2762-2770, 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0245>.
- SALEH, S., *et al.* 2018. **Effect of irrigation on growth, yield, and chemical composition of two green bean cultivars.** Horticulturae, 4(1), 3. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4010003>.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4. Acesso em: 20 jan. de 2023. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>.

SCHWINNING, S. e EHLERINGER, J.R. **Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems**. *Journal of Ecology*, v. 89, 464–480, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00576.x>.

SOFI, P.A., *et al.* **Integrating root architecture and physiological approaches for improving drought tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. *Plant Physiology Reports*, v. 26, 4–22, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00570-8>.

SEIDEL, E. P., *et al.* **Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária**. *Scientia Agraria Paranaensis*, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 18–24, 2015. DOI: 10.18188/sap.v14i1.8226. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/8226>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA M. A DA. *et al.* **Corn yield for ensilage in consortium with green manure and bean in succession**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, e439111234661-e439111234661, 2022.

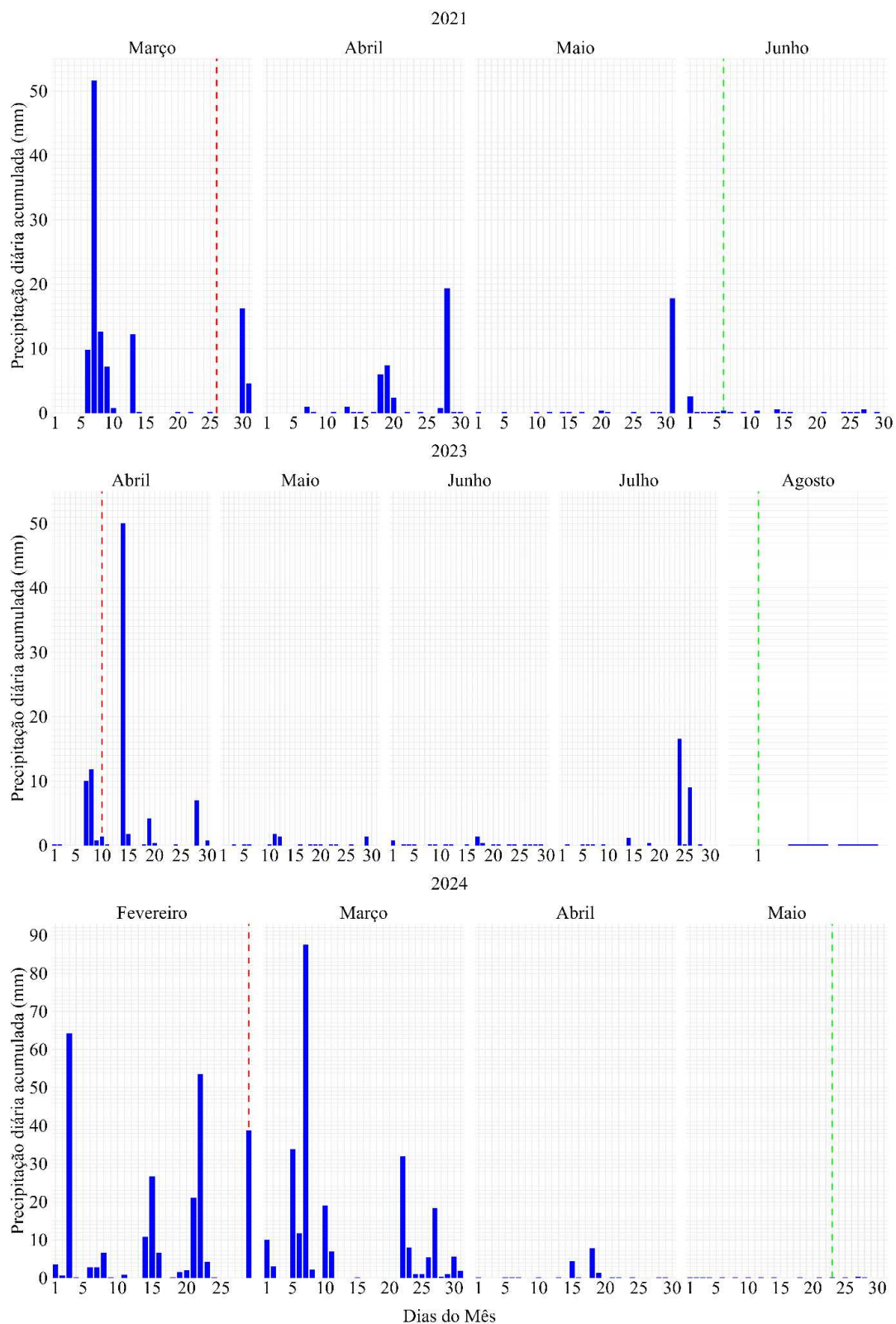
SILVA, M. R. DA, FERRAUDO, A.S. e COELHO, A.P. **Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring**. *Soil and Tillage Research*, v. 209, 104924, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104924>.

UEBERSAX, M.A., *et al.* **Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review**. *Legume Science*, e155, 2022. <https://doi.org/10.1002/leg3.155>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa. **Boletim meteorológico 2021, 2023 e 2024**. Viçosa, MG: UFV, 2025.

ZHAO, W. *et al.* **Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat**. *Water*, v. 12, 2127, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12082127>.

APÊNDICE A - Precipitação acumulada durante o cultivo de feijão em 2021, 2023 e 2024.



A linha vermelha indica a data de plantio e a linha verde a data de colheita. Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV, 2023.