

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias - ICA

João Pedro de Carvalho Campos

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM SUBMETIDAS A
DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUÇÃO**

Unai

2024

João Pedro de Carvalho Campos

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE FEJJOEIRO COMUM SUBMETIDAS A
DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUÇÃO**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Renata Oliveira Batista

**Unai
2024**

João Pedro de Carvalho Campos

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM SUBMETIDAS A
DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUÇÃO**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Renata Oliveira Batista

Data de aprovação 12/07/2024

Prof^a. Dra. Renata Oliveira Batista
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Dr. Paulo Sérgio Cardoso Batista
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Me. Northon Matheus Santana de Castro
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unai

Dedico este trabalho a Deus que é o centro e a base de tudo na minha vida, que renovou minhas energias e me deu ânimo sempre que o desânimo tomou conta de mim. A minha família, pelo convívio diário e por serem tão especiais ao desempenharem, nesta longa jornada, a difícil tarefa de me dar o suporte necessário para realizar este sonho e alcançar este objetivo. À minha orientadora, Prof^a. Dra. Renata Oliveira Batista, pela orientação e inspiração incansáveis. Aos meus amigos e colegas, que me acompanharam ao longo desta jornada acadêmica. Sem vocês, este trabalho não seria possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus...

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança ao longo desta jornada.

Aos meus pais e irmãos...

Que estiveram comigo durante todo o processo, sempre me incentivando e oferecendo apoios inestimáveis.

Aos Professores...

Por todo o conhecimento transmitido e pelo auxílio prestado durante minha formação.

A Prof^a. Dra. Renata Oliveira Batista, minha orientadora...

Por ter acreditado em mim desde o início. Sua confiança foi fundamental para que eu pudesse me dedicar ao tema proposto e seguir em frente com este Trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço profundamente pela orientação, apoio e incentivo ao longo deste processo.

A você, meus sinceros agradecimentos e respeito.

Aos membros da banca...

Dr. Paulo Sérgio Cardoso Batista e Me. Northon Matheus Santana de Castro, que tenho profunda admiração e respeito aos profissionais que são.

A todos os demais servidores da UFVJM...

Uma lembrança àqueles que cuidaram das salas, corredores, rampas, laboratórios, livros e documentação, todos os ambientes onde passei horas de estudo. Também aos responsáveis pelo transporte e aos técnicos.

Em especial àqueles com quem tive o privilégio de conviver durante minha trajetória de formação. Agradeço a cada um, pelos momentos de conversas e descontração que tornaram meu percurso mais leve e prazeroso.

Aos companheiros de campo...

Vitória, Duda, Brunno, Samuel, Gustavo, Matheus e Robert meu sincero agradecimento, por toda ajuda, apoio, incentivo, disponibilidade e amizade.

Ao Grupo de Pesquisa em Feijoeiro do Noroeste de Minas Gerais (GEFENM)...

Por toda a troca de conhecimento adquirida durante todas as reuniões e práticas realizadas.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

O feijoeiro comum é essencial na dieta brasileira por ser rico em proteínas, carboidratos, fibras e minerais, além de sua importância econômica, gerando renda para toda a cadeia produtiva. No campo, a produtividade do feijoeiro é limitada por fatores químicos, biológicos e físicos do solo, especialmente a compactação causada por máquinas agrícolas pesadas, que afeta o desenvolvimento radicular. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de cultivares de feijoeiro comum em diferentes ambientes de produção. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Santa Paula (FESP) do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Unaí-MG, durante a safra de inverno de 2023. O experimento foi implantado em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x3 (cultivares x ambientes), com três repetições. As cultivares avaliadas foram TAA Dama, ANfc9 e BRS Estilo, em três ambientes: área de manobras, área previamente cultivada e área sem interferência. Foram medidos parâmetros morfoagronômicos para as cultivares e produtividade de grãos, além de atributos do solo como densidade, densidade de partículas e porosidade total. Os resultados mostraram que os diferentes ambientes influenciaram o desenvolvimento e a produtividade das cultivares. A área de manobras apresentou os menores resultados para os parâmetros de produção de grãos, enquanto a área previamente cultivada proporcionou as melhores condições para o desenvolvimento das plantas, refletindo-se na maior produtividade. A análise de correlação destacou a importância da densidade do solo e da porosidade total no desempenho das cultivares, evidenciando que solos com melhores condições físicas favorecem o crescimento e a produtividade. Concluiu-se que práticas de manejo que previnam a compactação do solo e promovam sua estrutura ideal são essenciais para otimizar a produtividade do feijoeiro, além de ser crucial escolher cultivares adequadas para diferentes condições de solo.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Compactação do solo. Densidade de partícula. Densidade do solo. Porosidade. Produtividade de grãos.

ABSTRACT

Common beans are essential in the Brazilian diet because they are rich in proteins, carbohydrates, fiber and minerals, in addition to their economic importance, generating income for the entire production chain. In the field, bean productivity is limited by chemical, biological and physical factors in the soil, especially compaction caused by heavy agricultural machinery, which affects root development. This study aimed to evaluate the performance of common bean cultivars in different production environments. The research was conducted at the Santa Paula Experimental Farm (FESP) of the Institute of Agricultural Sciences (ICA) of the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM) in Unaí-MG, during the 2023 winter harvest. Randomized blocks, in a 3x3 factorial design (cultivars x environments), with three replications. The cultivars evaluated were TAA Dama, ANfc9 and BRS Estilo, in three environments: maneuver area, previously cultivated area and area without interference. Morphoagronomic parameters for cultivars and grain productivity were measured, in addition to soil attributes such as density, particle density and total porosity. The results showed that the different environments influenced the development and productivity of the cultivars. The maneuver area presented the lowest results for grain production parameters, while the previously cultivated area provided the best conditions for plant development, reflected in greater productivity. The correlation analysis highlighted the importance of soil density and total porosity in the performance of cultivars, showing that soils with better physical conditions favor growth and productivity. It was concluded that management practices that prevent soil compaction and promote its ideal structure are essential to optimize bean productivity, in addition to being crucial to choose cultivars suitable for different soil conditions.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Soil compaction. Particle density. Soil density. Porosity. Grain productivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de significativa relevância econômica e social no Brasil (BRIDA *et al.*, 2020). O grão apresenta diferentes propriedades nutricionais, funcionais e antioxidantes, desempenhando um papel essencial na dieta cotidiana dos brasileiros como componente fundamental da alimentação (BORÉM; CARNEIRO, 2015). Isso se deve principalmente à sua composição, que inclui uma quantidade significativa de proteínas, carboidratos, fibras e minerais, como ferro e zinco. (UEBERSAX *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Possuindo característica de atuar como alimento funcional, o feijão mantém uma tradição sólida na culinária brasileira, sendo frequentemente associado ao arroz como um alimento típico e patrimônio cultural (FERREIRA; BARRIGOSI, 2021).

Uma notável diversidade genética do feijoeiro se manifesta através de sua ampla gama de características morfológicas, especialmente nos grãos, e esses atributos são empregados como critérios para classificação das cultivares em diferentes grupos comerciais. Dentro das características definidas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) o feijoeiro é categorizado em grupos comerciais que incluem o Carioca, Preto, Roxo, Mulatinho, Vermelho, Rosinha, bem como as variedades de grãos grandes, como as cultivares do grupo Manteigão (MAPA, 2017). O feijão carioca, que possui grãos com cor de fundo creme e rajas marrons é o preferido pela população brasileira e conseqüentemente é o mais cultivado (PEREIRA *et al.*, 2019).

O feijoeiro se desenvolve de maneira satisfatória no território brasileiro devido à sua boa adaptação ao solo e clima que viabilizou sua produção em todas as regiões do país ao longo de todo o ano. Apresenta ciclo curto, com duração média de 95 dias, e devido ao fato de ter suas raízes superficiais, restrições hídricas podem resultar na redução da produtividade (MOURA; BRITO, 2015). Pode ser cultivado em até três safras distintas: 1ª safra (ou a safra das águas), 2ª safra (ou safra da seca) e 3ª safra (ou safra de inverno). A safra das águas, que ocorre de agosto a março, é a maior das três safras, em produção e rendimento. A safra da seca abrange o período de janeiro a junho, enquanto a safra de inverno destaca-se por seu cultivo altamente tecnificado, realizada principalmente em áreas com irrigação e por grandes produtores, com duração entre maio e outubro (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

Considerando dados mundiais de feijão o Brasil é reconhecido por seus elevados índices de produção, posicionando-se como o segundo maior produtor do mundo (WANDER *et al.*, 2021). Conforme o 12º Levantamento da Safra de Grãos publicado pela Conab, para a

safras 2022/23, a produção alcançou um total de 3,04 milhões de toneladas, acréscimo de 1,7% em relação à safra anterior, mesmo em uma área 5,8% inferior à safra passada, sendo cultivado em 2,69 milhões de hectares (CONAB, 2023). Já no país, os principais estados produtores são Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Goiás (CONAB, 2023).

Em Minas Gerais as regiões Noroeste e Alto Paranaíba se destacam por possuírem a maior produção e área colhida do estado (IBGE, 2017). Na safra 2022/23, Minas Gerais foi destaque com uma colheita de 556,7 mil toneladas de feijão (CONAB, 2023).

Embora haja progresso na agricultura, a produtividade do feijoeiro no Brasil é considerada notavelmente baixa em relação ao potencial genético das cultivares recomendadas (BORÉM; CARNEIRO, 2015). Estas podem produzir acima de 5.000 kg ha⁻¹, enquanto a média nacional observando as três safras de feijão encontra-se pouco acima de 1.130 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022; DONATO *et al.*, 2021). Diversos fatores ambientais, especialmente aqueles relacionados às condições do solo, podem limitar o desempenho da cultura. As condições físicas do solo desempenham um papel crucial nesse contexto (GUIMARÃES *et al.*, 2002).

A compactação é uma das principais causas de degradação física dos solos agrícolas em escala mundial, afetando a qualidade do ambiente em que as plantas se desenvolvem ocasionando alterações complexas na estrutura do solo. Sua resistência à penetração é aumentada e a porosidade total é reduzida, ocorrendo redução da aeração, diminuição da taxa de infiltração e armazenamento de água tornando assim os solos menos permeáveis. Quando esses fatores atuam em conjunto ou de forma isolada, eles comprometem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, como resultado, impactam na qualidade e na produtividade de grãos. Um dos principais fatores que contribuem para a compactação do solo é o trânsito de máquinas agrícolas (REICHERT *et al.*, 2007; SILVA, 2021).

O avanço da modernização da agricultura está ocorrendo rapidamente, trazendo continuidade à introdução de novos métodos e técnicas de manejo agrícola. Segundo MENEZES *et al.*, (2020) a vanguarda desses avanços tecnológicos, a indústria de máquinas agrícolas está introduzindo produtos novos e altamente sofisticados. No entanto, é importante notar que esses itens são frequentemente acompanhados pelo aumento no tamanho e no peso das máquinas agrícolas, que em meio ao progresso, também emergiram seus impactos negativos, como é o caso da compactação.

A maioria dos estudos que investigam os efeitos da compactação do solo na produção de grãos do feijoeiro comum são conduzidos em ambientes controlados, como casas de vegetação, em condições restritas de espaço, como tubos de PVC ou vasos. No entanto, em

condições de campo, há uma escassez de estudos que tenham investigado diretamente a influência de características físicas do solo na produtividade de grãos.

Levando em consideração o que foi mencionado anteriormente, este trabalho propõe a hipótese de que os diferentes manejos de cada ambiente influenciam o desenvolvimento e a produtividade das cultivares de feijoeiro.

Caso a hipótese seja confirmada, em ambientes onde a qualidade física do solo é ruim, a abordagem mais eficaz será:

- Implementar medidas de manejo para reduzir a compactação, como o plantio de culturas de cobertura, o uso de sistemas de plantio direto e a adoção de técnicas de rotação de culturas; ou
- Investir em adubação e irrigação para compensar as limitações do solo e garantir uma produção adequada.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de cultivares de feijoeiro comum em diferentes ambientes de produção.

2.2 Objetivo Específico:

- I) Avaliar os atributos físicos do solo que influenciam diretamente a compactação, a saber: densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p) e porosidade total (P_t), em diferentes ambientes.
- II) Avaliar o desempenho das cultivares de feijoeiro em três diferentes ambientes, analisando os parâmetros morfoagronômicos e os componentes de produção (AF, AC, DF, DH, NVP, NGV, M100, PROD).
- III) Identificar a correlação entre os atributos do solo e os parâmetros morfoagronômicos para entender como diferentes características do solo influenciam o desenvolvimento e a produtividade das cultivares de feijoeiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura do feijoeiro

3.1.1 Histórico e morfologia

O gênero *Phaseolus* engloba cerca de 55 espécies, entre elas, destaca-se o feijoeiro comum, (*Phaseolus vulgaris* L.), sendo a mais antiga e amplamente cultivada globalmente. (SANTOS *et al.*, 2015). Originário das Américas, seu cultivo começou há milhares de anos. A sua domesticação não é totalmente clara, mas estima-se que isso tenha ocorrido há cerca de 8.000 anos (CASTRO *et al.*, 2016).

Evidências botânicas, arqueológicas, bioquímicas e moleculares indicam que o feijão teve dois principais centros de domesticação: o Mesoamericano, no norte do México (Chihuahua), e o Andino, na Cordilheira dos Andes (ALMEIDA *et al.*, 2020; ARTEAGA, *et al.*, 2019; BECERRA *et al.*, 2011). O tamanho da semente e o tipo de proteína faseolina estão entre as características que diferem o feijão Mesoamericano e o Andino. Os Mesoamericanos têm grãos pequenos como o carioca e faseolina do tipo S, enquanto os Andinos possuem sementes médias e grandes e faseolina do tipo T (SINGH *et al.*, 1991; GEPTS *et al.*, 1986).

O feijoeiro comum é uma planta C3, pertencente ao reino Vegetal, classe Eudicotyledoneae, ordem Rosales, família Fabaceae e gênero *Phaseolus*. É uma planta que pode ser trepadora ou não, que varia em altura de 20 a 60 centímetros, dependendo das cultivares e das condições de crescimento. Apresenta um ciclo de vida anual, completando seu desenvolvimento e produzindo sementes em um único ano. Cultivado em regiões com temperatura entre 21°C e 29°C, o feijoeiro comum possui um ciclo médio de 95 dias. A espécie demonstra grande adaptação às condições edafoclimáticas do Brasil, sendo produzida em todo o país (SANTOS *et al.*, 2015; CONAB, 2021; MOURA, BRITO, 2015).

O feijoeiro tem um caule herbáceo com eixo principal formado por nós e entrenós. O primeiro nó constitui os cotilédones, o segundo a inserção das folhas primárias, e o terceiro folhas trifolioladas. O crescimento do caule varia de acordo com o hábito de crescimento das cultivares. As folhas primárias são simples e opostas, enquanto as definitivas são compostas, com três folíolos alternados, acuminados e pubescentes. As flores são papilionáceas e hermafroditas, com cores de branco a roxo, cálice verde gamossépalo, cinco pétalas com uma quilha. A morfologia floral favorece a autofecundação, uma vez que anteras e estigmas estão no mesmo nível e são envolvidas pela quilha, permitindo que o pólen caia diretamente sobre o

estigma. Além disso, apresentam cleistogamia, onde a fecundação ocorre antes da flor abrir-se completamente. O fruto é uma vagem seca, estreita e alongada, com várias sementes alinhadas dentro. As sementes tem formato oval e têm hilo elíptico, são os produtos finais da planta. A coloração do fundo do grão varia do branco ao preto e podendo apresentar rajadas, manchas e linhas. O sistema radicular é pivotante, da qual partem raízes basais, raízes adventícias superficiais e várias laterais que se ramificam a partir de todas as classes de raízes explorando camadas de solo não muito profunda (BINOTTI, 2015; SANTOS *et al.*, 2015; SILVA; DUARTE, 2020).

No feijoeiro, há uma ampla diversidade em relação à cor, tamanho, brilho e formato dos grãos, sendo esses critérios utilizados para separar as cultivares em grupos comerciais. Os tipos comerciais incluem: preto, mulatinho, roxo, vermelho, rosinha, jalo, branco e carioca. Os feijões carioca e preto são os tipos comerciais mais consumidos no Brasil, com destaque para o carioca como o mais produzido. Além da diversidade nos grãos, observa-se grande variabilidade fenotípica em vários parâmetros morfológicas e agronômicas como tamanho e cor das flores, formato das folhas, hábitos e tipos de crescimento, entre outros. Esses parâmetros são listadas como descritores mínimos do feijoeiro pelo (MAPA) e são usadas na caracterização morfológica, agronômica e identificação das cultivares (PEREIRA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2018; MAPA, 2020).

3.1.2 Importância socioeconômica

O feijoeiro comum é um alimento amplamente conhecido em todo o mundo, em especial regiões da América Latina, África e Ásia e ocupa uma posição de destaque no cenário da agricultura nacional. É considerado fonte de proteína vegetal, fibras, carboidratos e ainda contêm vitaminas B e sais minerais, como: ferro, cálcio, fosforo, magnésio e zinco (ARTEAGA, *et al.*, 2019; UEBERSAX *et al.*, 2023). Além de sua importância nutricional, o feijoeiro se destaca socioeconomicamente por gerar empregos, incentivar a criação de cooperativas e aumentar a renda rural. O cultivo do feijoeiro movimentam valores significativos no agronegócio, contribuindo para a economia brasileira, especialmente através da agricultura familiar, que representa cerca de 70% da produção de feijão no país (GHINDINI; MACIEL, 2017; CONAB, 2021, CGU, 2020).

O feijão é um pilar econômico crucial na América Latina. O Brasil, como um dos maiores produtores mundiais, concentra sua produção principalmente nos estados do Paraná, Minas Gerais, Goiás e São Paulo. Com uma produção anual de 3,04 milhões de toneladas em

2,69 milhões de hectares, o Brasil é o segundo maior produtor do mundo, com uma produtividade média de 1.130 kg ha⁻¹. Apesar da grande produção, apenas 165 mil toneladas foram exportadas, indicando um foco predominante no consumo interno (CONAB, 2023; CONAB, 2022; DONATO *et al.*, 2021).

O estado de Minas Gerais foi destaque nacional na safra 2022/2023, com colheita de 556,7 mil toneladas de feijão, um aumento de 14,8% em comparação com as 484,9 mil toneladas colhidas na safra 2021/2022. Esses dados refletem a importância do feijão na agricultura brasileira, ressaltando nosso estado como um dos principais produtores (CONAB, 2023).

3.2 Aspectos do solo que influenciam na produção agrícola

O solo é uma importante fonte de produção agrícola, pois é nele que as plantas obtêm os nutrientes necessários para seu crescimento e desenvolvimento (LEPSCH, 2016). No entanto, diferentes características do solo podem influenciar diretamente a produção agrícola e, portanto, é necessário compreender esses aspectos para obter o máximo rendimento na produção (RAMALHO *et al.*, 2023).

Todo e qualquer solo que tenha passado por alterações em sua natureza, seja ela física, química ou biológica devido a ações humanas ou por fatores naturais, é considerado solo degradado (MOREIRA *et al.*, 2020). Uma das principais características de solos degradados em termos agronômicos é a redução da capacidade produtiva agrícola, pois eles já não possuem atributos adequados para a produção. Qualquer nível de degradação de solo impacta diretamente o ecossistema. O desafio é detectar a degradação em estágios iniciais, onde ainda não mostram sinais visíveis, a fim de encontrar alternativas para o uso sustentável e minimizar a degradação (LAL, 1992).

A compactação é uma das principais causas de degradação física dos solos agrícolas em todo o mundo (SILVA, 2021). Ela ocorre quando o volume de solo em um estado não saturado é reduzido quando aplicada uma pressão, seja pelo uso de máquinas e implementos agrícolas ou pelo pisoteio de animais (RICHART *et al.*, 2005). É um processo que está inter-relacionado com a maioria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (BENNIE; KRYNAUW, 1985). A compactação ocasiona alterações complexas no solo como redução na porosidade do solo, descontinuidade de poros, aumento na resistência à penetração e diminuição na difusão de gases e água (SOANE *et al.*, 1981).

Estudos sobre a qualidade física do solo são de extrema importância, uma vez que estão diretamente relacionados com a produtividade agrícola (SILVA *et al.* 2021). Para expressar a intensidade de compactação, são utilizados indicadores físicos do solo que afetam o crescimento das plantas, como densidade, resistência à penetração e porosidade de aeração (GUBIANI, 2008; LEITE *et al.*, 2012).

Práticas inadequadas de manejo do solo frequentemente aumentam o grau de compactação, comprometendo sua estabilidade estrutural. A estrutura do solo está intimamente ligada à distribuição das raízes, à absorção de água, nutrientes e ar necessários, bem como à produtividade das culturas. Em solos compactados, as plantas são afetadas negativamente e apresentam menor desenvolvimento (CHERUBIM *et al.*, 2016; ÇELIC *et al.*, 2019).

Visando alcançar altas produtividades e rentabilidades o uso da mecanização agrícola cresceu, pois facilita o trabalho no campo. A necessidade de otimização do trabalho levou ao aumento da massa das máquinas. O aumento no tamanho e peso dos tratores é necessário para manter a relação adequada entre peso e potência, a fim de atender às demandas de tração de equipamentos cada vez maiores como semeadoras, pulverizadores, distribuidores, colheitadeiras. No entanto, esse processo não foi acompanhado por um aumento proporcional no tamanho e largura dos pneus. Isso resultou no declínio da funcionalidade do solo, oscilações nas taxas de rendimento e produtividade das culturas, além de favorecer o risco de erosão em áreas agrícolas (MCPHEE *et al.*, 2020; KELLER *et al.*, 2019; RICHART *et al.*, 2005).

3.3 Metodologias de avaliação da compactação do solo

3.3.1 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) é uma propriedade variável, que depende da estrutura e compactação do solo, de modo que solos com texturas semelhantes podem exibir densidades diferenciadas no perfil. O material que compõe o solo exerce uma influência significativa sobre sua densidade, juntamente com os sistemas de uso e manejo. Em maiores profundidades, esse parâmetro tende a aumentar, variando em função de diversos fatores, tais como teores de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, redução da porosidade do solo, dentre outros (BICALHO, 2011).

A densidade do solo tem sido empregada em estudos como indicador das alterações da estrutura do solo e de sua qualidade física (CAMPOS, 2021). Esse método visa medir a densidade média de um volume conhecido de solo, estando a densidade relacionada com a porosidade total e com a composição orgânica e mineralógica média do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Quando os valores são elevados indica uma porosidade reduzida e evidências de compactação, o que pode limitar o crescimento das raízes e prejudicar a movimentação de ar e água no solo. Essas condições podem impactar negativamente o vigor das plantas e reduzir a produtividade (FERREIRA, 2010).

3.3.2 Densidade de partículas

A densidade de partículas (D_p) está diretamente relacionada ao volume efetivamente ocupado pela matéria sólida do solo, sem levar em consideração a porosidade. Isso porque a fração dos poros não se encontra efetivamente aberta para a atmosfera, havendo a presença de poros oclusos por minerais e nódulos. Trata-se da relação existente entre massa e volume da fração sólida. É de suma importância observar que a densidade de partículas de um solo, seja ele seco ou molhado, será a mesma, ou seja, a massa da amostra não inclui o peso da água contida (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A densidade das partículas visa medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas no solo. Essa análise é fundamental para calcular a porosidade total do solo. Através dela são fornecidas bases para determinar a quantidade de espaço vazio no solo (espaço poroso) (VIANA, 2017; FERREIRA, 2010).

3.3.3 Porosidade total

A porosidade influencia diretamente a qualidade do solo. A distribuição adequada do sistema poroso é crucial para suas propriedades químicas, físicas e biológicas, afetando o armazenamento e drenagem de água, bem como o desenvolvimento radicular das plantas e a vida microbiana. Essas características podem ser alteradas pelo manejo do solo, por isso torna-se importante a utilização de práticas para preservar e melhorar o solo (CARMO *et al.* 2018).

A porosidade total (P_t) do solo refere-se ao espaço poroso presente na matriz do solo, determinada dividindo o volume de poros pelo volume total do solo. Ranzani (1969) afirma que a porosidade geralmente varia entre 30% e 60%, podendo alcançar até 80% em

solos orgânicos ou turfosos. A porosidade do solo representa o volume não ocupado por partículas sólidas, incluindo o espaço ocupado por ar e/ou água, abrangendo tanto a macroporosidade quanto a microporosidade (YOSHIOKA, 2012).

3.4 Reflexo da compactação na produtividade de grãos

Durante o desenvolvimento das plantas quando a raiz encontra resistência ao seu crescimento, isso restringe o rendimento e produção das culturas, esse impedimento ocorre quando o diâmetro da raiz é superior ao poro no solo. Se a raiz não consegue romper esse impedimento, todo o sistema radicular ficará denso e raso (PESSOA, 2012). Dentro desse aspecto, as raízes das plantas apresentam papel primordial no desenvolvimento e produtividade das culturas. Dessa forma, alterações na conformação das raízes pode comprometer a absorção de elementos minerais pelas plantas (SILVA, 2021).

Beutler (2004) realizou testes e avaliou o efeito da compactação e fertilização do solo na produtividade de soja. O autor observou que o aumento da compactação do solo causou a redução da produtividade da soja, contudo, o uso da fertilização contribuiu para amenizar esse efeito negativo. Para ele, a fertilização aumentou a resistência das plantas à compactação do solo.

A diminuição do rendimento dos cultivos não ocorre devido à ausência de absorção dos nutrientes pelas plantas, mas sim devido a uma redução na taxa de alongamento celular e aumento no número de células, aumentando assim o diâmetro da raiz. Quando água e nutrientes são fornecidos adequadamente para as plantas, a compactação pode reduzir o sistema radicular das culturas, mas a produção ainda não é afetada, pois a raiz reduzida ainda é capaz de absorver água e nutrientes no solo (BEUTLER, 2004).

Em testes realizados por Rivera *et al.* (2019) em diferentes genótipos de feijão comum para avaliar o efeito da compactação sobre parâmetros morfofisiológicas, observou que densidades de solo altas proporcionaram aumento no peso dos nódulos da raiz, peso total e da razão raiz: biomassa de parte aérea. Argumentaram que a restrição severa no crescimento da raiz prolongou contato com o inóculo aplicado sobre a semente, promovendo assim, um aumento na taxa de nodulação (Buttery *et al.*, 1994).

Assim, avaliar os atributos físicos do solo como medida de compactação auxilia no monitoramento para mensurar danos e determinar o *time* ideal para implementar medidas de manejo para reduzir a compactação. Com isso, propomos análise física do solo em

diferentes ambientes a fim de avaliar o reflexo da compactação na produtividade de grãos de cultivares de feijoeiro.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

A área utilizada para a condução do experimento está presente na Fazenda Experimental Santa Paula (FESP) pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Localizada no município de Unai, noroeste de Minas Gerais, a FESP abrange uma área total de 132 hectares, situada entre as coordenadas geográficas 16°26'11.7" de latitude Sul e 46°53'55.2" de longitude Oeste (datum WGS 84). Essa região está no bioma Cerrado, de clima do tipo Aw (KÖPPEN, 1948) que corresponde ao clima tropical chuvoso, clima de savana, com predomínio de invernos secos e temperaturas médias anuais de 27°C (NAIEM *et al.*, 2014). A precipitação média anual está entre 1.400 e 1.500 mm, dividindo-se em um período chuvoso de outubro a março, com o período seco prolongando-se por cinco meses, de maio a setembro e umidade relativa 65% (INMET, 2021). O relevo da área caracteriza-se como plano e suave ondulado, apresentando uma altitude média de 621 metros e declives que variam de 0,08 a 16% (EMBRAPA, 2018).

O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2023 no setor de Grandes Culturas, especificamente na área destinada ao cultivo de feijoeiro comum do Grupo de Pesquisa em Feijoeiro do Noroeste de Minas Gerais (GEFENM – ICA/UFVJM) (Figura 1).

Figura 1 - Setor de Grandes Culturas da Fazenda Experimental Santa Paula (FESP) com destaque para a área destinada ao cultivo de feijoeiro comum do Grupo de Pesquisa em Feijoeiro do Noroeste de Minas Gerais (GEFENM – ICA/UFVJM).



Fonte: GDM Agrícola.

O solo do local é caracterizado com Nitossolo Vermelho e apresenta a seguinte caracterização química com base em análise de solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados da análise química de solo

pH (H ₂ O)	P meh ⁻¹	P rem.	P resina		Na ⁺	K ⁺	S-SO ⁴	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	mg dm ⁻³							Cmolc dm ⁻³				
5,2	4,7	ns	ns	ns	ns	386	9	0,99	2,1	1,3	0,2	2,20
M.O.	C.O.	SB	T	T	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
dag kg ⁻¹						%	mg dm ⁻³					
2,2	1,3	4,40	4,60	6,60	67	4	0,15	7,1	193	22,9	7,90	

H: hidrogênio; SB: soma das bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica; T: capacidade de troca catiônica em pH = 7; m: alumínio permutável; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica.

4.2 Material Genético

Durante a safra de inverno de 2023, três cultivares de feijoeiro comum do tipo grão carioca foram submetidas à avaliação. As cultivares selecionadas para análise compreendem TAA Dama, ANfc9 e BRS Estilo e suas principais características podem ser visualizadas na (Tabela 2).

Tabela 2 - Cultivares de feijoeiro comum grão carioca utilizadas no experimento conduzido na safra de inverno de 2023 na FESP, ICA/UFVJM.

Cultivares	Detentor	Ciclo	Tipo de crescimento
TAA Dama	TAA	89 DIAS	Tipo III
ANfc9	Agro Norte	88-94 DIAS	Tipo II
BRS Estilo	Embrapa	83 DIAS	Tipo II

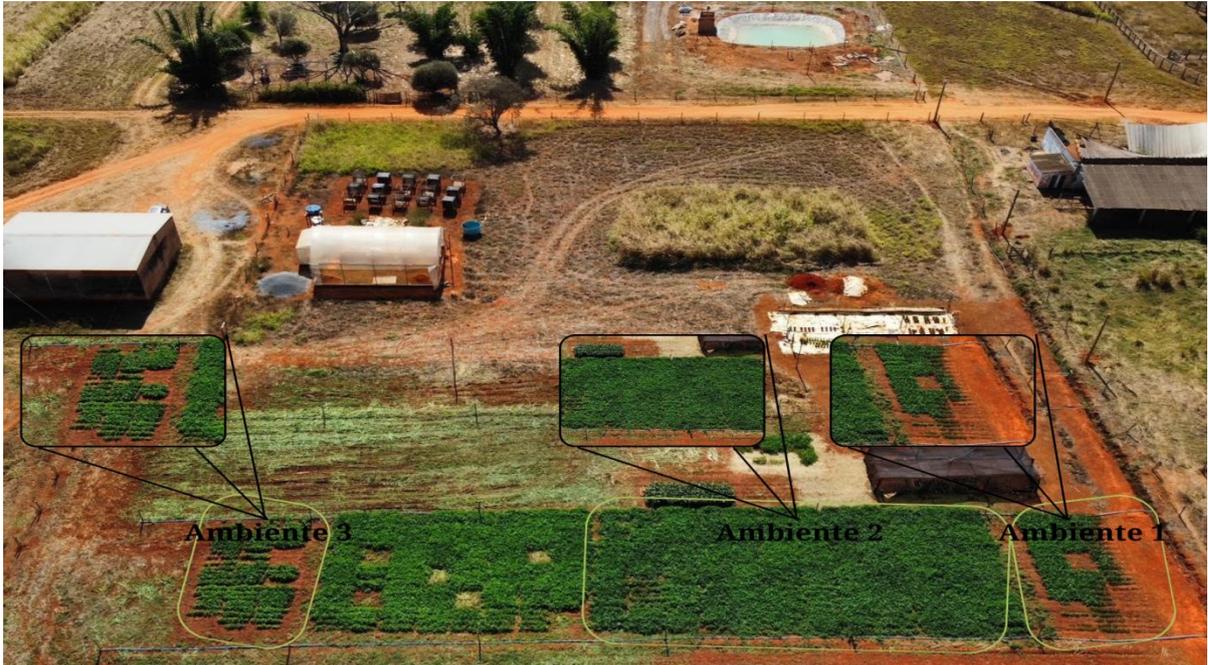
4.3 Implantação do experimento

O preparo do solo da área foi realizado de forma convencional, com uma gradagem com grade aradora intermediária para o rompimento e suavização da superfície do solo. Em seguida, foram realizadas três gradagens com grade niveladora para diminuir o tamanho dos torrões e nivelar a superfície. Por fim, a semeadora com discos foi empregada para realizar a abertura das linhas de plantio, com profundidade entre 3 cm e 5 cm. A adubação de plantio seguiu a recomendação para a cultura do feijoeiro para nível tecnológico 4 (alto), conforme (Ribeiro *et al.* 1999). A quantidade aplicada foi de 400 kg ha⁻¹ do adubo formulado NPK 8-28-16.

O experimento foi implantado em três diferentes ambientes (Figura 2), cada um representando condições distintas:

- **Ambiente 1 – área de manobras (ADM):** Área de manobras de máquinas, caracterizada por uma maior movimentação de maquinário agrícola fazendo a volta para a área de plantio.
- **Ambiente 2 – área previamente cultivada (APC):** Área previamente cultivada com as culturas do feijoeiro e milho.
- **Ambiente 3 – área sem interferência (ASI):** Área de pastagem sem interferência de maquinário.

Figura 2 - Setor de Grandes Culturas da Fazenda Experimental Santa Paula (FESP) com destaque aos três diferentes ambientes.



Fonte: GDM Agrícola.

A semeadura foi realizada de forma manual respeitando a densidade de plantio de 12 plantas por metro linear.

4.4 Manejo da cultura

Onze dias após a emergência (DAE), realizou-se a primeira aplicação de inseticida de contato e ingestão para o controle de vaquinha (*Diabrotica speciosa*), utilizando o produto comercial Decis 25 EC (Deltametrina: Piretroide) na dose de 200 mL ha⁻¹. A aplicação foi realizada por meio de bomba costal.

Aos 16 DAE, foi realizada a primeira capina manual para o controle de plantas infestantes. Para não afetar o desenvolvimento do feijoeiro foram realizadas capinas manuais a cada duas semanas até o fechamento das linhas.

A adubação de cobertura com nitrogênio foi de 100 kg ha⁻¹ de N, usando a ureia como fonte nitrogenada, parcelada em duas vezes, sendo a primeira aos 25 e a segunda aos 40 DAE.

Aos 15 dias após a aplicação do inseticida Decis 25 EC, foi realizada uma nova aplicação para controle de vaquinha com ENGIO PLENO S (Tiametoxam e Lambda-Cialotrina) na dose de 125 mL ha⁻¹, também aplicado via bomba costal.

A irrigação foi realizada pelo método de aspersão convencional aplicada regularmente conforme as necessidades da cultura com o objetivo de garantir condições de umidade ideais para promover o desenvolvimento das plantas.

A colheita foi realizada manualmente de forma escalonada, à medida que cada genótipo atingia o ponto de maturidade fisiológica sendo que a área útil da parcela era composta pelas duas linhas centrais desprezando 0,5 m em cada extremidade. A trilha das plantas foi realizada na trilhadora estacionária da FESP assim que as plantas atingiam aproximadamente 15% de umidade.

4.5 Delineamento experimental

Para o experimento o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC) com três repetições em esquema fatorial simples. Cada unidade experimental, em todos os ambientes foi constituída por 4 linhas de 2 metros, espaçadas por 0,5 m, totalizando a área de 4m² cada.

4.6 Parâmetros avaliadas no feijoeiro

As plantas colhidas na área útil da parcela foram contadas e avaliadas quanto a oito parâmetros morfoagronômicos:

- **Dias até o florescimento (DF)**: número de dias desde a emergência (V1) até que pelo menos 50% das plantas da parcela tenham uma flor completamente aberta (R6);
- **Altura no florescimento (AF)**: altura do dossel em centímetros a partir do nível do solo até o ápice da haste principal, sem esticar, considerando um ponto homogêneo e representativo da parcela no estágio fenológico R6;
- **Altura na colheita (AC)**: altura do dossel em centímetros a partir do nível do solo até o ápice da haste principal, sem esticar, considerando um ponto homogêneo e representativo da parcela no estágio fenológico R9, no momento da colheita;
- **Diâmetro do hipocótilo (DH)**: diâmetro do hipocótilo medido na maturação fisiológica, em milímetros, a 1 cm abaixo do nó cotiledonar de cinco plantas aleatórias usando um paquímetro digital;
- **Número de vagens por planta (NVP)**: número de vagens contado em cinco plantas selecionadas aleatoriamente na parcela no momento da colheita;

- **Número de grãos por vagem (NGV):** contagem de grãos feita em cinco vagens aleatórias escolhidas em cada planta avaliada;
- **Massa de 100 grãos (M100):** massa de 100 grãos em gramas a partir de amostras aleatórias coletadas em cada parcela e pesadas em uma balança de precisão;
- **Produtividade de grãos (PROD):** massa dos grãos colhidos nas linhas centrais de cada parcela convertida em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}) e corrigidos para a umidade de 13%.

4.7 Caracteres avaliados no solo

- Amostragem e análise laboratorial

A fim de representar as diferentes condições físicas do solo presente em cada ambiente, a metodologia adotada consistiu na coleta de uma amostra indeformada de solo em cada parcela. O feijoeiro estava no estágio fenológico R9 no momento da coleta das amostras.

Após coletado, o solo foi utilizado para analisar as características físicas: densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p) e porosidade total (P_t). Todas estas análises foram executadas no laboratório multiusuário AGROPECLAB do ICA/UFVJM, (Campus Unaí, MG).

- Densidade de solo (D_s)

A D_s foi determinada utilizando o método do anel volumétrico conforme descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Uma cavadeira articulada tipo pacetta foi utilizada para retirar o solo até a profundidade de 10 cm. Em seguida, os cilindros foram introduzidos no solo com auxílio de uma marreta a fim de coletar amostras na camada de 0-20 cm. Posteriormente os anéis foram cuidadosamente retirados do solo com uma talhadeira a fim de evitar alterações na amostra. Foi essencial não compactar a amostra e garantir que o anel volumétrico fosse completamente preenchido. Após sua retirada, a amostra foi envolvida por papel filme e identificada com o número da parcela.

No laboratório, o excesso de solo foi retirado conforme toaleta, e os anéis levados para secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão a fim de estimar a massa de solo seco. Com as dimensões de cada anel medidas individualmente, o volume do cilindro foi calculado a fim de determinar a D_s , que consiste na razão entre a massa de solo seco contida no anel volumétrico e o volume do referido recipiente, conforme a seguinte equação 1:

$$D_s = \frac{m_s}{V} \quad (1)$$

Onde:

D_s – densidade do solo, em g cm^{-3} .

m_s – massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante, em g.

V – volume do cilindro, em cm^3 .

- Densidade de partícula (D_p)

A D_p foi determinada pelo método do balão volumétrico conforme descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Para essa variável, utilizou-se o mesmo solo previamente seco em estufa a 105°C por 24 horas para o teste anterior. 20 g desse solo peneirado (peneira 2 mm) foram transferidos para balões volumétricos de 50 mL. Adicionou-se 20 mL de álcool etílico em cada balão agitando vigorosamente por um minuto e posteriormente mantendo repouso por trinta minutos. Em seguida, adicionou-se álcool até completar o volume do balão de 50 mL. A relação entre a massa do solo seco e a diferença entre o volume total do balão e o volume de álcool necessário para completar o recipiente estima a D_p conforme Equação 2:

$$D_p = \frac{m_s}{(V_t - V_u)} \quad (2)$$

Onde:

D_p – densidade da partícula, em g cm^{-3} .

m_s – massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante, em g.

V_t – volume total aferido do recipiente, em mL.

V_u – volume utilizado para completar o recipiente de 50 mL com a amostra de solo, em mL.

- Porosidade total (P_t)

Com a utilização do método indireto a P_t foi estimada através da relação entre a D_s e a D_p conforme a equação 3:

$$P_t = \left[\frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right] \quad (3)$$

Onde:

Pt – porosidade total, em %;

Dp – densidade de partículas sólidas do solo, em g cm⁻³ e

Ds – densidade do solo, em g cm⁻³.

4.8 Análise estatística

Para os dados morfoagronômicos foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) – Fatorial simples pelo teste F, e, por seguinte, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para a análise de variância considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + B_k + G_i + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Em que: m = média geral; B_k = efeito de bloco; G_i = efeito de genótipo; A_j = efeito de ambiente; GA_{ij} = efeito de interação de genótipo com ambiente; E_{ijk} = erro aleatório associado à interação repetição, genótipo e ambiente.

No contexto de solos, onde cada amostra pode ter características únicas, calcular médias com os dados resulta em perda de precisão na comparação desses dados. Para uma análise mais aprofundada, foi realizado coeficientes de correlação de Pearson, objetivando efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre os parâmetros morfoagronômicos e os atributos físicos do solo.

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software GENES (CRUZ, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, pois, segundo Fancelli e Dourado Neto (1997), a extensão do sistema radicular do feijoeiro varia conforme as condições físicas do solo sendo que, aproximadamente 90% das suas raízes concentram-se na profundidade de 20 cm. Corroborando essa informação, VICENTE *et al.*, (2007) verificaram que o sistema radicular do feijoeiro comum é superficial e que durante a fase de floração, mais de 83% da biomassa radicular está concentrada na camada de 0-20 cm do solo.

O estágio R9 é o momento em que se inicia o processo de maturação dos grãos, descoloração das vagens e amarelecimento e queda das folhas (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Optamos por coletar as amostras de solo nesse período pelo fato de que a partir do estágio R7, a planta começa a redirecionar seus recursos para a produção e enchimento de vagens, priorizando então a produção de sementes. Isso faz com que o crescimento radicular não seja mais prioridade, minimizando alterações na física do solo até a colheita.

5.1 Parâmetros morfoagronômicos

Os resultados da ANOVA indicam se houve significância das variáveis analisadas, revelando a influência tanto do genótipo quanto do ambiente no desenvolvimento das plantas (Tabela 3).

Os coeficientes de variação (CV) variaram entre 2,35% e 16,17% (Tabela 3). Para todas as características, os coeficientes de variação, ficaram abaixo de 20%, mostrando precisão experimental e controle do ambiente na condução do ensaio. RESENDE e DUARTE (2007) relatam que para experimentos de feijoeiro é esperado que o CV esteja no máximo até 20%.

A variável AF apresentou significância a 5% de probabilidade para genótipos e para a interação genótipo x ambiente, mas não para o ambiente isoladamente. Collares *et al.* (2008) também observaram influência da compactação adicional em características do feijoeiro. Entretanto, os autores citam que esse comportamento foi observado na área foliar da planta ao longo do seu ciclo vegetativo. Por outro lado, a variável AC não apresentou diferença para nenhuma das fontes de variação. Este resultado pode indicar que a altura final das plantas não é tão afetada pelas diferentes condições dos ambientes e características do solo como ocorre durante o florescimento. Isso pode ser um reflexo de um processo

compensatório das plantas ao longo do seu ciclo de crescimento, onde outras variáveis podem ter maior influência na fase de maturação.

Para a variável DF, observou-se significância tanto para os genótipos quanto para a interação genótipo x ambiente. A variabilidade no tempo de florescimento entre os diferentes genótipos e sua interação com o ambiente sugere que as condições específicas de solo e manejo podem acelerar ou retardar o ciclo de desenvolvimento das plantas. Além disso, temos o fator genético onde as diferentes cultivares utilizadas apresentavam ciclos distintos em que BRS Estilo geralmente apresenta 83 dias de ciclo, seis dias a menos que Dama e cinco dias a menos que ANfc9 (Tabela 2).

A variável DH mostrou significância para o ambiente, mas não para os genótipos e interação entre eles. Isso indica que as condições ambientais têm um impacto direto no desenvolvimento estrutural inicial das plantas.

A análise da variável NVP revelou significância apenas para a interação genótipo x ambiente. Este resultado sugere que a capacidade de produção de vagens pelas cultivares de feijoeiro é altamente dependente da combinação específica de variedade e ambiente de cultivo. Esse comportamento é relevante e justifica a recomendação de empresas e melhoristas de realizar testes locais e preliminares antes de escolher a cultivar que será utilizada em toda a propriedade.

O número de NGV não apresentou significância para nenhuma das fontes de variação, o que pode indicar que esses parâmetros são menos sensíveis às variações ambientais e genóticas. Esse comportamento também é relatado por DOMINGUES *et al.*, (2016) e já é esperado nos trabalhos com a cultura.

A variável produtividade de grãos PROD mostrou significância para os genótipos e para os ambientes, mas não para a interação genótipo x ambiente. Isso significa que as características intrínsecas das cultivares são influenciadas de maneira geral pelas condições dos diferentes ambientes resultando em alterações na produtividade.

Tabela 3 - Análise de variância (quadrados médios) das variáveis analisadas em três cultivares de feijoeiro comum grão carioca sob três ambientes na safra de inverno de 2023. Unaí-MG, 2023

Variável	QM			Média	CV(%)
	QM Genótipo	QM Ambiente	QM Genótipo x Ambiente		
Altura no florescimento	156,13481*	223,86259 ^{ns}	111,85704*	53,72	9,53
Altura na colheita	57,02778 ^{ns}	79,69444 ^{ns}	9,97222 ^{ns}	26,50	14,56
Dias até o florescimento	70,03704**	29,48148 ^{ns}	13,03704**	42,07	2,35
Diâmetro do hipocótilo	0,89068 ^{ns}	13,10354*	0,48501 ^{ns}	7,26	7,31
Número de vagens por planta	0,07259 ^{ns}	543,60704 ^{ns}	57,42123*	29,26	12,10
Número de grãos por vagem	0,21175 ^{ns}	3,54419 ^{ns}	0,15317 ^{ns}	6,00	4,91
Massa de 100 grãos	6,56814 ^{ns}	18,10698 ^{ns}	8,32126 ^{ns}	27,40	6,71
Produtividade	1012899,68374*	8036113,25769**	210048,75708 ^{ns}	3047,23	16,17

* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F; ** Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F respectivamente; ns = não significativa.

Abreviações: Altura no florescimento (AF), Altura na colheita (AC), Dias até o florescimento (DF), Diâmetro do hipocótilo (DH), Número de vagens por planta (NVP), Número de grãos por vagem (NGV), Massa de 100 grãos (M100), Produtividade de grãos (PROD).

Analisando as médias das variáveis, observamos que as cultivares ANfc9 e BRS Estilo mantiveram uma altura no florescimento relativamente constante nos três ambientes, enquanto a cultivar TAA Dama apresentou variações significativas. No ambiente 1 (ADM), a TAA Dama teve uma altura significativamente menor em comparação aos ambientes 2 (APC) e 3 (ASI). Este resultado mostra que áreas onde ocorrem manobras de maquinário podem ter um efeito inibidor no crescimento inicial das plantas, especialmente em cultivares menos adaptadas a essas condições adversas, segundo dados obtidos por COLLARES *et al.*, (2008) a compactação adicional criada por quatro passagens de máquina em um ambiente, resultando em restrição radicular, diminui o acesso à água e nutrientes. Como consequência, as plantas apresentaram menor crescimento da parte aérea.

Considerando que todas as cultivares adotadas são de hábito de crescimento indeterminado, nota-se que ANfc9 obteve maior variação na duração do período vegetativo, apresentando um florescimento mais tardio no ambiente 1 (ADM) e mais precoce no ambiente 3 (ASI). Esse comportamento pode estar relacionado à capacidade adaptativa das cultivares em responder às condições específicas de cada ambiente e características do solo. Cultivares que conseguem ajustar seu ciclo de desenvolvimento podem ter vantagens competitivas em ambientes de cultivo menos favoráveis.

Estudos comprovam que o diâmetro do hipocótilo DH é um indicador importante da robustez das plantas jovens (MOURA *et al.*, 2013; ANJOS *et al.*, 2018). Os resultados indicaram que a cultivar BRS Estilo apresentou um diâmetro maior em todos os ambientes,

especialmente no ambiente 2 (APC), sugerindo uma maior resistência estrutural. A TAA Dama, por outro lado, teve o menor diâmetro no ambiente 1 (ADM), reforçando a hipótese de que o manejo adotado nesse ambiente dificulta o desenvolvimento inicial das plantas. Esses dados são cruciais para a seleção de cultivares mais resistentes a condições adversas de solo e que apresentem menor probabilidade de prostrarem e permitirem que vagens baixas toquem o solo.

Analisando os componentes de produção, observamos que a cultivar ANfc9 apresentou o maior NVP no ambiente 2 (APC), seguido pelo ambiente 3 (ASI), enquanto a TAA Dama teve o menor número de vagens no ambiente 1 (ADM). Esses resultados mostram que as condições específicas do manejo e a disponibilidade de nutrientes no ambiente 2 (APC) favoreceram a produção de vagens. A interação genótipo x ambiente desempenha um papel crucial na determinação da produtividade das cultivares, destacando a importância de selecionar cultivares específicas para ambientes específicos.

Tabela 4 - Médias dos parâmetros morfoagronômicos altura no florescimento (AF), dias até o florescimento (DF), diâmetro de hipocótilo (DH), número de vagens por planta (NVP) analisadas em três cultivares de feijoeiro comum grão carioca em três ambientes: Ambiente 1 (ADM) – área de manobras: Área de manobras de máquinas; Ambiente 2 (APC) – área previamente cultivada: área previamente cultivada com as culturas do feijoeiro e milho; Ambiente 3 (ASI) – área sem interferência: Área de pastagem sem interferência de maquinário. Unaí-MG, inverno de 2023

Genótipos	AF (cm)			DF (dias)			DH (mm)			NVP (n°)		
	ADM	APC	ASI	ADM	APC	ASI	ADM	APC	ASI	ADM	APC	ASI
TAA Dama	36,0 Bb	58,5 Aa	53,6 Aa	41,0 Ac	37,6 Bc	38,3 Bc	5,7 Ba	8,6 Aa	6,3 Ba	21,0 Cb	36,5 Aa	30,0 Ba
ANfc9	53,3 Aa	55,8 Aa	53,0 Aa	46,0 Aa	40,0 Bb	47,3 Aa	6,6 Ba	8,2 Aa	7,0 Ba	25,6 Ba	35,7 Aa	26,6 Ba
BRS Estilo	55,0 Aa	58,5 Aa	59,6 Aa	43,0 Ab	42,3 Aa	43,0 Ab	6,3 Ca	8,9 Aa	7,4 Ba	17,1 Cb	38,1 Aa	32,6 Ba

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na HORIZONTAL não diferem significativamente pelo teste Scott e Knott. Medias seguidas pela mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem significativamente pelo teste Scott e Knott.

A análise da PROD revela que todas as cultivares apresentaram maior produtividade no ambiente 2 (APC) (Tabela 5). A cultivar BRS Estilo destacou-se com a maior produtividade, especialmente no ambiente 2 (APC), enquanto a TAA Dama teve a menor produtividade no ambiente 1 (ADM). Esses resultados são consistentes com os dados de NVP e DH, mostrando que as condições específicas do manejo realizado em cada ambiente foi um fator determinante para a produtividade. Para COLLARES *et al.*, (2008), a compactação criada por quatro passadas de máquina reduziu a produtividade do feijoeiro em 17% em comparação ao plantio direto contínuo sem compactação adicional. A maior produtividade no ambiente 2 (APC) pode ser atribuída à uma boa condições de solo e maiores disponibilidade de nutrientes proporcionando um desenvolvimento radicular mais eficiente resultando em maior absorção de nutrientes.

Segundo MUNIZ *et al.*, (2018) é necessário verificar a fertilidade do solo e seus componentes para atender às necessidades básicas das plantas e alcançar boas produtividades. Os dados de PROD indicam que, embora a Ds seja um fator crítico, a química do solo também desempenha um papel significativo. No ambiente 2 (APC), previamente cultivado com milho e feijão, a produtividade foi maior, devido a uma boa estrutura do solo e maior disponibilidade de nutrientes. Este ambiente oferece uma combinação ideal de condições físicas e químicas do solo para o desenvolvimento das cultivares de feijoeiro, resultando em uma produtividade superior, principalmente comparado ao ambiente 3 (ASI).

A cultivar ANfc9 mostrou uma boa adaptação a diferentes ambientes, apresentando uma produtividade relativamente alta em todos os ambientes, embora menor no ambiente 1 (ADM). A BRS Estilo, apesar de apresentar uma alta produtividade no ambiente 2 (APC), mostrou uma queda significativa no ambiente 1 (ADM), indicando uma sensibilidade maior à compactação do solo. Já a TAA Dama teve um desempenho inferior em termos de produtividade, especialmente no ambiente 1 (ADM), mas melhorou significativamente nos ambientes 2 (APC) e 3 (ASI), evidenciando a influência das condições de solo e manejo.

Os testes de médias dos parâmetros morfoagronômicos destacam a importância de considerar as características específicas de cada ambiente de cultivo ao selecionar cultivares de feijoeiro. A adaptação das cultivares às condições de solo é fundamental para maximizar a produtividade e garantir a sustentabilidade da produção. Os resultados deste estudo podem orientar agricultores e profissionais do setor agrícola da região na escolha das melhores práticas de manejo e seleção de cultivares mais adequadas para diferentes condições de cultivo.

Tabela 5 - Médias do parâmetro morfoagronômico: produtividade de grãos (PROD) analisada em três diferentes cultivares de feijoeiro comum grão carioca sob três ambientes Ambiente 1 (ADM); Ambiente 2 (APC); Ambiente 3 (ASI). Unaí-MG, inverno de 2023

Genótipos	PROD (kg ha ⁻¹)					
	ADM		APC		ASI	
TAA Dama	2151,7	Ba	4013,2	Aa	2813,6	Ba
ANfc9	2232,0	Ba	3560,1	Aa	2434,5	Ba
BRS Estilo	2323,2	Ca	4680,4	Aa	3215,9	Ba

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na HORIZONTAL não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Medias seguidas pela mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem significativamente pelo teste Scott- Knott a 5% de significância.

5.3 Características físicas do solo em diferentes ambientes

No estudo da relação entre as características físicas de cada solo nos três diferentes ambientes, observou-se que o ambiente 1 (ADM) apresentou níveis variáveis e geralmente mais altos de Ds com média de 1,49 g cm⁻³. Os níveis de Pt também foram variáveis e, no geral, mais baixos com média de 40,27%.

Em contraste, o ambiente 2 (APC), mostrou densidade moderada e relativamente consistente com média de 1,43 g cm⁻³ e uma Pt variável com média de 42%, indicando que o preparo do solo ajudou a manter uma boa estrutura.

Já o ambiente 3 (ASI) também exibiu Ds e Pt intermediárias de médias 1,42 g cm⁻³ e 42,17%, respectivamente, indicando um solo naturalmente estruturado mas sem otimização para o cultivo.

Estes resultados eram esperados uma vez que estudos apontam que o tráfego das máquinas agrícolas aumenta a Ds e diminui a Pt o que causa a degradação cumulativa da qualidade física do solo (ROQUE *et al.*, 2010; GIRARDELLO *et al.*, 2014).

5.4 Coeficientes de correlação de Pearson entre Atributos Físicos do Solo e Parâmetros Morfoagronômicos

O coeficiente de correlação de Pearson (r) varia entre -1 e 1. O sinal indica se a direção do relacionamento é positiva ou negativa, enquanto o valor obtido sugere qual é a força da relação entre as variáveis a fim de identificar e quantificar a interação entre os diferentes atributos.

A correlação entre os parâmetros morfoagronômicos e os atributos físicos do solo é fundamental para entender como diferentes características do solo influenciam o desenvolvimento e a produtividade das cultivares de feijoeiro. A Tabela 6 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis como densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP) e porosidade total (PT) com parâmetros morfoagronômicos como altura no florescimento (AF), altura na colheita (AC), dias até o florescimento (DF), diâmetro do hipocótilo (DH), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD).

A correlação significativa deixou clara a interferência dos atributos físicos do solo nos parâmetros morfoagronômicos (Tabela 6). A AF mostrou uma correlação negativa com a Ds (-0,5248) indicando que solos com maiores Ds tendem a reduzir a altura das plantas até o florescimento. Isso é consistente com a literatura que aponta a qualidade física do solo como um fator limitante para o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, o que, por sua vez, afeta o desenvolvimento inicial das plantas (PESSOA *et al.* 2015). A correlação positiva entre AF e Pt (0,4520) reforça essa observação, sugerindo que solos com maior porosidade permitem um melhor crescimento das plantas.

O DH mostrou uma correlação negativa com a Ds (-0,5016) e uma correlação positiva com a Pt (0,4190). Esses resultados indicam que a qualidade física do solo tem um impacto negativo direto no desenvolvimento estrutural das plantas, enquanto solos mais porosos favorecem um melhor crescimento do hipocótilo.

O NVP apresentou correlação negativa com a Ds (-0,4938), sugerindo que solos com qualidade física ruim reduzem a capacidade das plantas em produzir vagens. Esses resultados são importantes para o manejo agrícola, pois destacam a necessidade de práticas que mantenham ou melhorem a estrutura do solo para maximizar a produção.

O NGV teve uma correlação negativa com a Ds (-0,5542), indicando que solos com qualidade física ruim afetam negativamente a quantidade de grãos produzidos por vagem. A ausência de correlação significativa com a Pt pode sugerir que, embora a estrutura do solo seja importante, outros fatores como a disponibilidade de nutrientes também desempenham um papel crucial na determinação deste parâmetro.

A M100 não apresentou correlações significativas com os atributos físicos do solo, indicando que a qualidade dos grãos, em termos de peso, é menos influenciada pelas condições físicas do solo e mais por fatores genéticos e de manejo. No entanto, a correlação positiva, embora não significativa, com a Pt sugere que solos bem estruturados podem ainda favorecer uma melhor formação dos grãos.

A produtividade de grãos PROD mostrou correlação negativa significativa com a Ds (-0,4206) e uma correlação positiva com a Pt (0,3015), contudo, apesar de positiva, não foi significativa. Esses resultados indicam claramente que a qualidade física do solo é um fator limitante para a produtividade, enquanto solos com melhor porosidade proporcionam condições que favorecem maior produção de grãos. Estes achados são consistentes com a literatura existente e reforçam a importância de práticas de manejo que mantenham ou melhorem a estrutura do solo para maximizar a produtividade (MONTANARI *et al.*, 2013; MONTANARI *et al.*, 2010).

Os resultados das correlações destacam a importância de considerar a estrutura do solo no manejo agrícola. Solos compactados podem limitar o crescimento e a produtividade das plantas, enquanto solos com boa qualidade física favorecem um melhor desenvolvimento e produção. Esses resultados são cruciais para orientar práticas de manejo que busquem otimizar a estrutura do solo, garantindo uma produção mais sustentável e eficiente.

A análise de correlação entre os parâmetros morfoagronômicos e os atributos físicos do solo fornece uma compreensão detalhada de como a estrutura do solo influencia o desempenho das cultivares de feijoeiro. Solos compactados têm um impacto negativo significativo em vários parâmetros, destacando a necessidade de práticas de manejo que minimizem a compactação e melhorem a porosidade do solo para maximizar a produtividade e a qualidade dos grãos.

Tabela 6 – Matriz de correlação entre atributos de características físicas do solo de três diferentes ambientes e parâmetros morfoagronômicos de três cultivares de feijoeiro comum grão carioca. Inverno 2023

	<i>AF</i>	<i>AC</i>	<i>DF</i>	<i>DH</i>	<i>NVP</i>	<i>NGV</i>	<i>M100</i>	<i>PROD</i>	<i>DS</i>	<i>DP</i>	<i>PT</i>
AF	1										
AC	0,2459 ^{ns}	1									
DF	-0,0462 ^{ns}	0,4637*	1								
DH	0,5713**	-0,1181 ^{ns}	-0,2467 ^{ns}	1							
NVP	0,5151**	-0,0876 ^{ns}	-0,3660 ^{ns}	0,7417**	1						
NGV	0,3425 ^{ns}	-0,0330 ^{ns}	-0,4732*	0,6400**	0,6161**	1					
M100	0,2267 ^{ns}	0,3405 ^{ns}	0,1515 ^{ns}	0,3900*	0,3533 ^{ns}	0,1832 ^{ns}	1				
PROD	0,4782*	-0,1104 ^{ns}	-0,4381*	0,8165**	0,8753**	0,6831**	0,4119*	1			
DS	-0,5247**	-0,1262 ^{ns}	0,2531 ^{ns}	-0,5015**	-0,4937**	-0,5541**	-0,0472 ^{ns}	-0,4205*	1		
DP	0,1814 ^{ns}	0,2936 ^{ns}	0,1374 ^{ns}	0,1634 ^{ns}	0,0075 ^{ns}	0,0459 ^{ns}	0,3443 ^{ns}	0,0590 ^{ns}	-0,2265 ^{ns}	1	
PT	0,4519*	0,2647 ^{ns}	-0,0618 ^{ns}	0,4189*	0,3040 ^{ns}	0,3646 ^{ns}	0,2658 ^{ns}	0,3015 ^{ns}	-0,7572**	0,8058**	1

** = Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; * = Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns = não significativo

Abreviações: Altura no florescimento (AF), Altura na colheita (AC), Dias até o florescimento (DF), Diâmetro do hipocótilo (DH), Número de vagens por planta (NVP), Número de grãos por vagem (NGV), Massa de 100 grãos (M100), Produtividade de grãos (PROD), Densidade do solo (DS), Densidade de Partículas (DP), Porosidade Total (PT).

A análise integrada dos resultados obtidos nos diferentes ambientes de cultivo destaca como as variáveis ambientais influenciam o desempenho das cultivares de feijoeiro. A avaliação dos: área de manobras Ambiente 1 (ADM), área previamente cultivada Ambiente 2 (APC) e área sem interferência Ambiente 3 (ASI), revela diferenças que impactam diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas. Essas diferenças são cruciais para definir estratégias de manejo que aperfeiçoem a produção agrícola.

A análise integrada também sugere que a escolha de cultivares deve ser adaptada às condições específicas de cada ambiente. Cultivares como ANfc9, que mostraram uma boa adaptação em diferentes condições, podem ser preferidas em áreas com maior variabilidade ambiental. Já cultivares como TAA Dama, que apresentaram maior sensibilidade à compactação do solo, podem exigir um manejo mais cuidadoso para alcançar seu potencial produtivo.

A discussão integrada dos resultados destaca a importância de um manejo de solo adequado e a seleção criteriosa de cultivares para otimizar a produtividade do feijoeiro. Solos bem estruturados, com baixa densidade e alta porosidade, são fundamentais para o desenvolvimento vigoroso das plantas e a maximização da produtividade. Estes resultados fornecem diretrizes valiosas para agricultores e técnicos agrônômicos, orientando práticas que promovam a sustentabilidade e a eficiência da produção agrícola.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado integrado das análises de variância, testes de médias e correlações destacou a importância de um manejo de solo adequado para maximizar a produtividade e o vigor das plantas. Solos com alta densidade, decorrente de um maior tráfego agrícola, demonstraram um impacto negativo significativo em vários parâmetros de crescimento e produtividade, enquanto solos com maior porosidade total favoreceram um desenvolvimento mais eficiente e um maior rendimento de grãos.

A cultivar ANfc9 apresentou uma boa adaptação em diferentes condições, podem ser preferidas em áreas com maior variabilidade ambiental.

A cultivar TAA Dama apresentou maior sensibilidade ao ambiente com níveis elevados de densidade do solo, mas também apresentou uma boa produtividade em um ambiente de condições ideais. Podem exigir um manejo mais cuidadoso para alcançar seu potencial produtivo.

Em ambientes onde a qualidade física do solo é ruim, a melhor abordagem é, se possível, implementar medidas de manejo para reduzir a compactação, como o plantio de culturas de cobertura, o uso de sistemas de plantio direto e a adoção de técnicas de rotação de culturas. Caso isso não seja viável, a melhor solução é selecionar cultivares mais adaptadas às condições do ambiente, o que pode reduzir a necessidade de investimentos em adubação e irrigação para compensar as limitações do solo e garantir uma produção adequada.

Recomenda-se que o experimento seja repetido, incluindo uma maior variedade de testes físicos do solo além dos realizados neste estudo. Além disso, é interessante levar em consideração diferentes doses de adubação, a fim de avaliar como as cultivares reagem aos diferentes ambientes quando submetidas a diferentes adubações.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. P.; CARVALHO PAULINO, J. F.; CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; SONG, Q.; DI VITTORI, V.; RODRIGUEZ, M.; PAPA, R.; BENCHIMOL-REIS, L. L. Genetic diversity, population structure, and andean introgression in Brazilian common bean cultivars after half a century of genetic breeding. **Genes**. 11. 2020.
- ALVES, G. M. S.; FIGUEIREDO, Z. N.; de OLIVEIRA, T. C.; GREGO, C. R.; SILVA, P. C. L. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração de um solo cultivado com cana de-açúcar. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 59-66, 2018.
- ARTEAGA, S.; YABOR, L.; TORRES, J.; SOLBES, E.; MUÑOZ, E.; DÍEZ, M. J.; VICENTE, O.; BOSCAIU, M. Morphological and agronomic characterization of Spanish landraces of *Phaseolus vulgaris* L. **Agriculture (Switzerland)**. 2019.
- BECERRA, V. V.; PAREDES, M. C.; DEBOUCK, D. Genetic relationships of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) race Chile with wild Andean and Mesoamerican germplasm. **Chilean journal of agricultural research**. 71: 1-15, 2011.
- BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, 61(6): 626-631, 2004.
- BENNIE, A.T.P. & KRYNAUW, G.N. (1985). Causes, adverse effects and control of soil compaction. **South African Journal of Plant and Soil**, 2(3): 109-114, 1985.
- BICALHO, I. M.. UM ESTUDO DA DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 7, n. 12, 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4537>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- BINOTTI, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: Orivaldo Arf *et al.* 2015. **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** – Botucatu: FEPAF, p. 433, 2015.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV p. 9-66, 2015.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV p. 9-15, 2015.
- BRIDA, A. L. *et al.* Reação de genótipos de feijoeiro a *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne enterolobii*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 1, p. 91-97, 2020.
- BUTTERY, B.R., TAN, C.S. & PARK, S.J. The effects of soil compaction on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, 74(1): p. 287-292, 1994.
- CAMPOS, B. H. **Estudo de caso de atributos físicos de solo no bioma cerrado, em diferentes sistemas de uso e manejo**. 35 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2021.

CARBAS, B.; MACHADO, N.; OPPOLZER, D.; FERREIRA, L.; QUEIROZ, M.; BRITES, C.; ROSA, E. A. S.; BARROS, A. I. R. N. A. Nutrients, antinutrients, phenolic composition, and antioxidant activity of common bean cultivars and their potential for food applications. **Antioxidants**. 2020.

CARMO, M. C. do *et al.* Densidade e Porosidade do Solo em Pastagem Recuperada e Degradada, na Amazônia Ocidental. **AGRARIAN ACADEMY**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.5, n.9; p. 2018.

CASTRO-GUERRERO, N. A.; ISIDRA-ARELLANO, M. C.; MENDOZA-COZATL, D. G.; VALDÉS-LÓPEZ, O. Common bean: A legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. **Frontiers in plant Science**, v. 7, p. 1-7, 2016.

ÇELİK İ., GUNAL H., ACAR M., ACIR N., BEREKET B.Z. & BUDAK M. Evaluating the long term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. **Soil Use Manage**, v. 36, p. 223-239, 2020.

CGU, Controladoria Geral da União. **Relatório de avaliação - Crédito Rural no âmbito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar** – Pronaf, 17 de janeiro de 2020

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade do feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 933-942, 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira** – Grãos, Safra 2020/2021. Brasília: CONAB, fev. 2021b (5º Levantamento). CONAB. Feijão total (1ª, 2ª e 3ª safra) – Brasil.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v. 10 – Safra 2022/23, n.12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 111, 2023.

CONAB – **Superintendência Regional de Minas Gerais, Conjuntas da agropecuária. FEIJÃO. Safra 21/22. 2022**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analise-regional-do-mercado-agropecuario/analise-regional-mg-feijao/item/download/41492_03f7ed83ef45c1b1006439fb38a6403c. Acesso em 25 mar. 2024.

DOMINGUES, RAFAEL *et al.* **ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, REGIME HÍDRICO E RESPOSTA BIOLÓGICA DO FEJJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) SOB AMBIENTE PROTEGIDO**. 2016.

DONATO, F.; ALMEIDA, F. S.; SANTANA, M. J.; XAVIER, A. G. Desempenho agrônomo de cultivares de feijão comum em função da população de plantas. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, Uberaba, v. 7, 2021.

DUARTE, J. B.; RESENDE, M. D. V. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2018. 306 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 158, 1997.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar. **Livro técnico-científico (INFOTECA-E)**, p. 31-46, 2021.

FERREIRA, M. M. **Caracterização Física do Solo**. In: VAN LIER, Q.J. (Ed.). Física do Solo. Viçosa: SBCS, chap. I, p. 1-27, 2010.

GEPTS, P.; BLISS, F. A. Phaseolin variability among wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*) from Colombia. **Economia Botany**, v. 40, p. 469-478, 1986.

GHINDINI, T.; MACIEL, M. C. A importância do Cooperativismo para a Produção Familiar dos Assentamentos Rurais da Região de Fraiburgo – SC. **Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar**. Campo Aberlado Luz-SC, 2017

GIRARDELLO, VITOR *et al.* Benefícios do tráfego controlado de máquinas. **Revista A Granja**, v. 785, p. 34-37, 2014.

GUBIANI, P. I. *et al.* Ksat 2008 - Programa computacional auxiliar na determinação da condutividade hidráulica de solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente. **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, v. 17, 2008.

GUIMARÃES, Cleber M.; STONE, Luís F.; MOREIRA, José A. A.. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 213-218, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 22 mar. 2024.

KELLER, T., SANDIN, M., COLOMBI, T., HORN, R., & OR, D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil and Tillage Research**, 194, 2019.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un studio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Economica: México. 479 p. 1948.

LAL, R.; STEWART, B. A. Need for land restoration. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil Restoration**. New York, Advances in Soil Science, v. 17, p. 1-11, 1992.

LEITE, D.M.; VIEIRA, L.B.; FERNANDES, H.C.; CARNEIRO, J.E.S.; FERNANDES FILHO, E.I.; NERILSON TERRA SANTOS, N.T. Use of digital images for evaluating soil compaction in the culture of beans **Ciênc. agrotec. Lavras**, v. 36, n. 2, p. 217- 223, 2012.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. **Oficina de Textos**, 2016.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.217-223, 2006.

SOANE, B. D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In Lal, R., Sanchez, P.A. & Cummings, R.W (Eds.). **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publisher, p. 265-297, 1986.

MAPA. **Descritores mínimos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/agricolas>. 2015. Acesso em 22 abr. 2024.

MAPA- **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Importação e exportação de feijão no Brasil**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>. Acesso em: 20 mai. 2024.

MCPHEE, J.E., ANTILLE, D.L., TULLBERG, J.N., DOYLE, R.B. & BOERSMA, M. Managing soil compaction – A choice of low-mass autonomous vehicle or controlled traffic? **Biosystem Engineering**, 195(1): v. 195, p. 227-241, 2020.

MENEZES, K. C.; PUIA, J. D.; MACHADO, A. H. R. A importância da elasticidade da matéria orgânica e de sua atuação na estabilidade dos agregados para o controle da compactação do solo / The importance of the elasticity of organic matter and its performance in the stability of aggregates for the control of soil compaction. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1349–1356, 2020.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumosagricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares>. Acesso em: 22 mar. 2024.

MONTANARI, Rafael *et al.* Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, Rafael *et al.* Correlação entre produção de feijão e atributos físicos de um Latossolo em Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**, v. 60, p. 772-784, 2013.

MOREIRA, S. F.; SANTOS, S. D. O.; JÚNIOR, A. P. Análise quantitativa e qualitativa de um solo degradado pela pecuária. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47698-47715, 2020.

MOURA, A. D; BRITO L. M. Aspectos Socioeconômicos In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa, Ed. UFV, p. 16-36. 2015.

MUNIZ, Y. S. *et al.* Análise da fertilidade do solo em área experimental da Universidade Estadual do Maranhão. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2018.

NAIEM, U.J.; MOTTA, P.E.F.; SILVA, D.C.; SIMÃO, M.L.R.; SANTOS, A.J.R. **Solos e avaliação do potencial agrossilvipastoril das microrregiões Paracatu e Unaí – Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, p. 106, 2014.

OLIVEIRA, M.G.C. *et al.* **Conhecendo a fenologia do feijão e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília-DF, 2018.

PEREIRA, H. S. *et al.* Genetic diversity among common bean cultivars based on agronomic traits and molecular markers and application to recommendation of parent lines. **Euphytica**, v. 215, n. 2, p. 1-16, 2019.

PESSOA, A. .; OLIVEIRA, L. .; FERREIRA, R. .; SILVA, R. .; ALVES, S. .
DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO DECORRENTE DE DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 8, n. 15, 2012.

PESSOA, U. C. M.; TERCEIRO, E. N. S.; SOUZA, A. S.; FILHO, A. A. S.; PIMENTA, T. A. Interferência de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e da compactação do solo no crescimento do feijão-caupi. **Revista Verde**, Pombal, v.10, n.5, p.61-69, 2015.

RAMALHO, N. T. C.; CAVICHIOLI, F. A. TECNICAS DE PREPARO DE SOLO E SUA IMPORTANCIA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. **Revista Interface Tecnológica**, v. 20, n. 2, p. 762-774, 2023.

RANZANI, G. **Manual de Levantamento de Solos**. Livro, ed. Edgard Blucher, 1969.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações**. Brasília. MEC/ESAL/POTAFOS, p. 84, 1988.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. C.; ALVAREZ, V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação. **Viçosa**, p. 306, 1999. SANTOS, J.B *et al.*, Botânica In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão do Plantio a Colheita**. Viçosa, Ed. UFV, p. 37-66. 2015.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Soil compacting: Causes and effects. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 321-344, 2005.

RIVERA, M., POLANÍA, J., RICAURTE, J., BORRERO, G., BEEBE, S., & RAO, I. Soil Compaction Induced Changes in Morpho-physiological Characteristics of Common Bean. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 217-227, 2019.

ROQUE, A., A., O. *et al.*, Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 744-750, 2010.

SANTOS, J.B. *et al.*, Botânica In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão do Plantio a Colheita**. Viçosa, Ed. UFV, p. 37-66. 2015.

SILVA, A. R.; DUARTE, A. R. **EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL A BASE DE BENZILADENINA SOB ENGALHAMENTO E FLORAÇÃO DA CULTURA DO FEJÓEIRO (PHASEOLUS VULGARIS L.)**: Um artigo original. Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsona. 2020; 30-39.

SILVA, J. H. B. da.; SILVA, D. M. de A. .; SILVA, K. M.; CUSTÓDIO , B. A. .; BARBOSA, J. M. da S.; SILVA, J. S. L. da.; FERRO , F. C. .; MARTINS, A. H. P. da C. .; FRANÇA, K. C. de B.; SILVA, E. M. da.; SILVA, O. D. V. da.; DA MATA, D. A. . Técnicas agrônômicas visando o aumento da produção e qualidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): Uma revisão integrativa. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 16, n. 12, 2023.

SILVA, L. L.; RIBON, A. A.; BACKES, C.; LOPES, L. C. A.; MAGALHÃES, Â. F. Atributos físicos do solo e produtividade da pastagem em sistema de manejo de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 14, n. 11, 2021.

SILVA, P. L. F. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n. 2, 2021.

SINGH, S. P.; NODARI R, GEPTS. P. Genetic diversity in cultivated common beans. I. Allozymes. **Crop Science**v. 31, p. 19-23, 1991.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p. 229 - 235, 1991.

STOLF, R.; THURLER, A.M.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 447 - 449, 2011.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. Ed. Brasília: Embrapa Solos; 2017.

UEBERSAX, M. A.; CICHY, K. A.; GOMEZ, F. E.; PORCH, T. G.; HEITHOLT, J.; OSORNO, J. M.; KAMFWA, K.; SNAPP, S. S.; BALES, S. Dry beans (*Phaseolus vulgaris*L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security -A review.**Legume Science**,v.5, n.1, p.e155, 2023.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from Southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.92, p. 104 - 113, 2007.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K.. Capítulo 8: Densidade de partículas. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa – Brasília, DF, 2017.

VICENTE, M. R. *et al.* Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade e no sistema radicular do feijoeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 238-249, 2007.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F. da; FERREIRA, C. M. O arroz e o feijão no Brasil e no mundo. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed). **Arroz e feijão**. Embrapa, Brasília, DF. P. 164, 2021.

YOSHIOKA, M. H.; LIMA, M. R. de Experimentoteca De Solos: Porosidade Do Solo. Experimentoteca de Solos – **Projeto Solo na Escola** – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, 2012.