

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PLANTAS DE COBERTURA E TRÁFEGO CONTROLADO SOBRE ATRIBUTOS
FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO E PRODUTIVIDADE DO
SORGO**

GEOVANE BARBOSA SILVEIRA

CASSILÂNDIA – MS
JULHO/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PLANTAS DE COBERTURA E TRÁFEGO CONTROLADO SOBRE ATRIBUTOS
FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO E PRODUTIVIDADE DO
SORGO**

GEOVANE BARBOSA SILVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Guimarães Júnnyor

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS

JULHO/2026

S588p Silveira, Geovane Barbosa

Plantas de cobertura e tráfego controlado sobre atributos físicos de um neossolo quartzarênico e produtividade do sorgo / Geovane Barbosa Silveira. – Cassilândia, MS: UEMS, 2026.

35 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Guimarães Júnnyor.

1. Solo - Compactação 2. Manejo do solo 3. Sustentabilidade. 4. Sorgo – produtividade.
I. Guimarães Júnnyor, Wellington da Silva. II. Título

CDD 23. ed. - 631.3

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
(UEMS)

Susy dos Santos Pereira CRB1°1783

Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PLANTAS DE COBERTURA E TRÁFEGO CONTROLADO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO E PRODUTIVIDADE DO SORGO

AUTOR: GEOVANE BARBOSA SILVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. WELLINGTON DA SILVA GUIMARÃES JÚNNYOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. Wellington da Silva Guimarães Júnnyor – UEMS
Orientador


Prof. Dr. Diógenes Martins Bardivieso – INTEGRA


Profª. Drª. Josiane Souza Salles – UEMS

Participação via web conferência

Profª. Drª. Camila Jorge Bernabé Ferreira – UniRV

Data da realização: 29 de julho de 2026.

EPÍGRAFE

“Cuidar do solo é cultivar o futuro, pois dele nasce não apenas o alimento, mas a esperança de novas gerações.”

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho, fortalecer minha fé e permitir que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, pelo amor, pelos ensinamentos e por serem minha base em todos os momentos da minha vida. Dedico a vocês esta conquista, pois cada esforço, incentivo e palavra de apoio foram fundamentais para minha trajetória.

À minha família, pelo carinho, compreensão e por sempre acreditarem em meus sonhos.

Dedico também a todos aqueles que acreditam na ciência e na agricultura como ferramentas capazes de transformar vidas e construir um futuro mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, saúde, força e sabedoria concedidas durante toda essa caminhada. Nos momentos de dificuldades, foi a fé que me proporcionou perseverança para continuar buscando meus objetivos.

Aos meus pais e familiares, pelo amor, incentivo, apoio e compreensão durante essa etapa. Obrigado por acreditarem em meus sonhos e por sempre me motivarem a seguir em frente, mesmo diante dos desafios encontrados ao longo dessa trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wellington da Silva Guimarães Júnnyor, pela orientação, confiança, ensinamentos e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela disponibilidade, pelos conhecimentos compartilhados e pela oportunidade de crescimento profissional e científico.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado e por proporcionar condições para minha formação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos, experiências compartilhadas e contribuições para minha formação.

Aos colegas, amigos e colaboradores que participaram direta ou indiretamente da condução dos experimentos, análises e desenvolvimento deste trabalho, meu sincero agradecimento pela parceria, auxílio e momentos compartilhados.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas aos Alunos de Pós-Graduação (PIBAP) pela concessão da bolsa durante a condução desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PGAC, pela oportunidade de realizar o mestrado, pelo suporte acadêmico e pela contribuição para minha formação profissional e científica.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, pela estrutura, pelos recursos disponibilizados e pelo ambiente acadêmico que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

À Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, pelo apoio financeiro e pelo investimento em infraestrutura e pesquisa, contribuindo para a realização deste estudo.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa fosse concluída. Cada contribuição, incentivo e palavra de apoio fizeram parte desta conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	10
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 Localização da área experimental	16
2.2 Aspectos climáticos.....	16
2.3 Delineamento experimental.....	17
2.4 Amostragem do solo.....	18
2.5 Análises físicas do solo	19
2.5.1 Densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade.....	19
2.5.2 Resistência à penetração.....	19
2.6 Análises fisiológicas e produtivas do sorgo.....	20
2.6.1 Análises fisiológicas.....	20
2.6.2 Produtividade do sorgo.....	20
2.7 Análise estatística	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1 Resultados	22
3.2 Discussão	28
4. CONCLUSÕES	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização granulométrica da área experimental.....	16
--	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) mensal durante o ciclo da cultura do gergelim, no município de Cassilândia, MS.....	17
Figura 2. Amostragem do solo. A) anéis volumétricos; B) Castelinho para a amostragem; C) Armazenamento das amostras em papel filme. UEMS/UUC, Cassilândia, MS, 2025.....	19
Figura 3. Penetrômetro para a análise de resistência à penetração, Cassilândia, MS, 2025.....	20
Figura 4. Cachos para a avaliação de produtividade. UEMS/UUC, Cassilândia, MS, 2025.....	21
Figura 5. Mapa de resistência a penetração. (a) - T1; (b) - T2; (c) T3; (d) T4; (e) T5; (f) T6; (g) T7; (h) T8. Cassilândia, MS.....	22
Figura 6. Rede de correlações entre as propriedades do solo e a produtividade do sorgo cultivado sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura.....	25
Figura 7. Análise canônica entre variáveis fisiológicas e produtivas do sorgo cultivado sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura	27
Figura 8. Análise canônica entre variáveis da propriedade do solo e produtivas do sorgo cultivado sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura	28

LISTA DE ABREVIATÖES E SÍMBOLOS

A - taxa de assimilação de CO₂
Ci - Concentração de CO₂
D_0 - Densidade de 0-5 cm
D_5 - Densidade de 5-10 cm
D_10 - Densidade de 10-20 cm
E - Taxa de transpiração
EICI - Eficiência da carboxilação
gs - Condutância estomática
Kg ha⁻¹ - Quilogramas por hectare
Macro_0 - Macroporosidade de 0-5 cm
Macro_5 - Macroporosidade de 5-10 cm
Macro_10 - Macroporosidade de 10-20 cm
Micro_0 - Microporosidade de 0-5 cm
Micro_5 - Microporosidade de 5-10 cm
Micro_10 - Microporosidade de 10-20 cm
PROD - Produtividade
PT_0 - Porosidade total de 0-5 cm
PT_5 - Porosidade total de 5-10 cm
PT_10 Porosidade total de 10-20 cm
TC - Tráfego controlado
TNC - Tráfego não controlado
W - Eficiência do uso da água

PLANTAS DE COBERTURA E TRÁFEGO CONTROLADO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO E PRODUTIVIDADE DO SORGO

RESUMO: O solo é um dos principais recursos para a produção agrícola, porém o tráfego inadequado de máquinas pode favorecer a compactação e comprometer sua qualidade física e o desempenho das culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tráfego controlado e não controlado, associado a diferentes plantas de cobertura, sobre os atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e a produtividade do sorgo. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Cassilândia, MS, em delineamento de blocos casualizados, com oito tratamentos e três repetições, envolvendo tráfego controlado e não controlado, associados à vegetação espontânea, braquiária de um ano, braquiária de dois anos e ao consórcio de milho + braquiária. Foram avaliados a resistência à penetração, densidade, porosidade do solo, trocas gasosas e produtividade do sorgo. Os resultados demonstraram que o tráfego controlado concentrou a compactação nas faixas de rodagem, reduzindo a resistência do solo na área total. Nesse sistema, a braquiária de dois anos apresentou efeito favorável na redução da resistência do solo na camada superficial. Sob tráfego não controlado, a braquiária de dois anos e o consórcio milho + braquiária foram mais eficientes na redução da compactação entre 0 e 30 cm, enquanto a braquiária de um ano contribuiu para a manutenção da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, além de favorecer a eficiência de carboxilação do sorgo. A produtividade apresentou tendência de maiores valores sob tráfego controlado associado ao consórcio de cobertura e à braquiária de dois anos. Conclui-se que o tráfego controlado é uma estratégia eficiente para limitar a compactação do solo em área total, enquanto o uso de plantas de cobertura, especialmente a braquiária de dois anos e o consórcio milho + braquiária, contribui para a melhoria dos atributos físicos do solo e do desempenho fisiológico e produtivo do sorgo.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, Manejo do Solo, Sustentabilidade.

COVER CROPS AND CONTROLLED TRAFFIC ON PHYSICAL ATTRIBUTES OF A QUARTZARENIC NEOSOL AND SORGHUM PRODUCTIVITY

ABSTRACT: Soil is one of the main resources for agricultural production; however, inadequate machinery traffic can promote soil compaction and compromise soil physical quality and crop performance. This study aimed to evaluate the influence of controlled and uncontrolled traffic associated with different cover crops on the physical attributes of a Quartzarenic Neosol and sorghum productivity. The experiment was conducted at the Mato Grosso do Sul State University, Cassilândia Unit, MS, Brazil, using a randomized block design with eight treatments and three replications, involving controlled and uncontrolled traffic associated with spontaneous vegetation, one-year-old brachiaria, two-year-old brachiaria, and a millet + brachiaria mixture. Soil penetration resistance, bulk density, soil porosity, gas exchange, and sorghum productivity were evaluated. The results showed that controlled traffic restricted soil compaction to the traffic lanes, preserving a greater portion of the total area from compaction. Under this system, two-year-old brachiaria had a favorable effect on reducing soil resistance in the surface layer. Under uncontrolled traffic, two-year-old brachiaria and the millet + brachiaria mixture were more effective in reducing soil compaction from 0 to 30 m, whereas one-year-old brachiaria contributed to maintaining total porosity, macroporosity, and microporosity, in addition to improving sorghum carboxylation efficiency. Productivity tended to be higher under controlled traffic associated with the cover crop mixture and two-year-old brachiaria. It is concluded that controlled traffic is an effective strategy to limit soil compaction over the total area, while the use of cover crops, particularly two-year-old brachiaria and the millet + brachiaria mixture, contributes to improving soil physical attributes and the physiological and productive performance of sorghum.

KEY WORDS: Soil Compaction, Soil Management, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea que vêm se expandindo gradualmente para o cerrado brasileiro, sendo utilizada principalmente o granífero (Silva *et al.*, 2020). A cultura é tolerante ao déficit hídrico, às temperaturas elevadas e levemente tolerante a solos ácidos comuns do bioma, esses atributos fazem da cultura uma excelente alternativa para a segunda safra, período no qual as condições edafoclimáticas são mais extremas (Hossain *et al.*, 2022). No entanto, apesar da cultura ser rústica e tolerar condições adversas, fatores como a fertilidade e compactação do solo limitam o seu desenvolvimento e produtividade, o que estabelece a necessidade do conhecimento prévio dos atributos do solo e do manejo adequado da área de cultivo (Rodrigues Filho *et al.*, 2006).

A compactação do solo representa um dos principais fatores de degradação física das áreas agrícolas contemporânea, atuando como uma barreira invisível à produtividade (Miguel *et al.*, 2022). Esse fenômeno, é decorrente da redução da macroporosidade que altera drasticamente a dinâmica da água, e reduzindo os estoques de água disponível no perfil explorável pelas culturas (Tormena; Roloff, Sa, 1998; Gubiani *et al.*, 2024). Esse cenário restringe drasticamente a eficiência no aproveitamento de nutrientes e exacerba a vulnerabilidade das plantas aos episódios recorrentes de déficit hídrico (Cortez *et al.*, 2021). Diante disso, o diagnóstico preciso de camadas compactadas torna-se indispensável para justificar e planejar intervenções de descompactação mecânica ou biológica eficazes (Abreu *et al.* 2004).

Na agricultura, a compactação é um dos principais problemas enfrentados nos sistemas produtivos, e muitas vezes o próprio manejo realizado na propriedade contribui para o seu agravamento, como o uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas (Bertollo *et al.*, 2019). Nesse sentido, a adoção do tráfego controlado pode minimizar os impactos das máquinas sobre o solo. Esse método consiste na organização do tráfego de máquinas em locais específicos da lavoura, nos quais linhas pré-definidas (*tramlines*) são estabelecidas para que o impacto das máquinas e implementos ocorra em áreas restritas (Girardello *et al.*, 2017). O tráfego controlado proporciona a redução do risco e da área compactada, maior eficiência logística do tráfego de máquinas, o que reflete no menor custo com combustíveis, além de reduzir perdas de solo e de água por erosão e elevar a eficiência do uso da água armazenada (Girardello *et al.*, 2017).

Embora práticas mecânicas como a escarificação e a subsolagem promovam descompactação, seus efeitos são temporários e o custo-benefício é questionável (Seki *et al.*, 2015), motivando a busca por alternativas biológicas como o uso de plantas de cobertura do solo, amplamente relatados na literatura. Essas plantas podem ser manejadas como

descompactadoras do solo, de forma que protegem o solo, e, proporcionam melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos (Pott *et al.*, 2023).

As plantas de cobertura são espécies que na maioria das vezes apresentam um sistema radicular bem desenvolvido, sendo utilizadas principalmente para a melhorar as condições físicas do solo, a partir do rompimento de camadas compactadas, e por consequência promover um aumento da porosidade do solo (Koudahe; Allen; Djaman, 2022).

A escolha da espécie utilizada como planta de cobertura pode variar de acordo com as condições do ambiente, as espécies do gênero *Brachiaria* sp., (Marasca *et al.*, 2021), tem sido adotado como uma alternativa eficiente de descompactação biológica (Pott *et al.*, 2023). Escolher mais de uma espécie podem apresentar resultados ainda mais satisfatórios, a utilização de mix de plantas de coberturas pode, inclusive, potencializar esses benefícios por meio da liberação gradual de nutrientes e de uma descompactação mais uniforme (Dal Bello *et al.*, 2023).

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) destaca-se como uma importante planta de cobertura do solo, devido ao seu rápido crescimento e estabelecimento, elevada produção de fitomassa e capacidade de acumular e disponibilizar nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio. Além disso, apresenta boa adaptação às condições tropicais, ao déficit hídrico, às altas temperaturas e aos solos de baixa fertilidade natural, contribuindo para a sustentabilidade do sistema agrícola e a melhoria da qualidade do solo (Silva *et al.*, 2021).

O Neossolo Quartzarênico é caracterizado pela textura arenosa, com baixos teores de argila e matéria orgânica, além de reduzida capacidade de retenção de água e nutrientes (Paiva *et al.*, 2025). Esses atributos conferem a essa classe de solo elevada fragilidade estrutural, especialmente quando submetida ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas, uma vez que a fraca cimentação entre partículas e a reduzida floculação de argilas limitam a resistência mecânica da matriz do solo (Shaheb *et al.*, 2021). Nesse contexto, a adoção combinada do tráfego controlado e de plantas de cobertura configura-se como uma estratégia de manejo especialmente pertinente para a melhoria e a manutenção das propriedades físicas do solo. As plantas de cobertura atuam na estruturação da matriz porosa por meio do aporte contínuo de raízes e da deposição de fitomassa na superfície, promovendo incrementos no teor de matéria orgânica, na estabilidade de agregados e na macroporosidade (Madrid *et al.*, 2026), enquanto o tráfego controlado restringe a área compactada às faixas de rolagem, preservando as entrelinhas dos cultivos (Antille *et al.*, 2019).

Entretanto, a eficácia da integração entre o tráfego controlado e o cultivo de plantas de cobertura em Neossolos Quartzarênicos, conferindo maior estabilidade estrutural, sendo ainda

pouco documentada, especialmente no que tange à viabilidade produtiva do sorgo em sucessão e ao desenvolvimento de medidas de manejo mais sustentáveis a longo prazo.

Diante disto, a hipótese deste estudo caracteriza que o uso de plantas de cobertura associado ao tráfego controlado promove a melhoria estrutural do solo e, conseqüentemente, promove incrementos na produtividade do sorgo, em comparação ao manejo sem tráfego controlado e/ou sem cobertura vegetal. Sob essa premissa, o presente estudo objetivou avaliar a influência das plantas de cobertura, em sistema de tráfego controlado, nos atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e na produtividade do sorgo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia (UEMS/UUC), localizada no município de Cassilândia, MS, (19°05'30,50" S, 51°05'55,64" W e altitude de 549 metros). O solo da região é classificado como Neossolo Quartzarênico (Santos *et al.*, 2025). A caracterização granulométrica da área experimental encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização granulométrica da área experimental.

Prof. (m)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Dp (g.dm ⁻³)	Classe textural
0,00 – 0,10	6,0	3,0	91,0	2,60	Areia
0,10 – 0,20	6,0	4,0	90,0	2,62	Areia
0,20 – 0,30	6,5	3,5	90,0	2,62	Areia

Todas as análises foram determinadas conforme a metodologia descrita por Teixeira *et. al.* (2017). Classificação de acordo com Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), Dp: Densidade de partículas.

2.2 Aspectos climáticos

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região apresenta clima tropical com estação seca de inverno (Aw) (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual é de 24,1 °C, e a precipitação média anual é de 1521 mm.

Durante a condução do experimento, no ano agrícola 2024/2025, segunda safra (safrinha de 2025), foram monitoradas a temperatura e a precipitação pluviométrica, cujos resultados são mostrados na Figura 1.

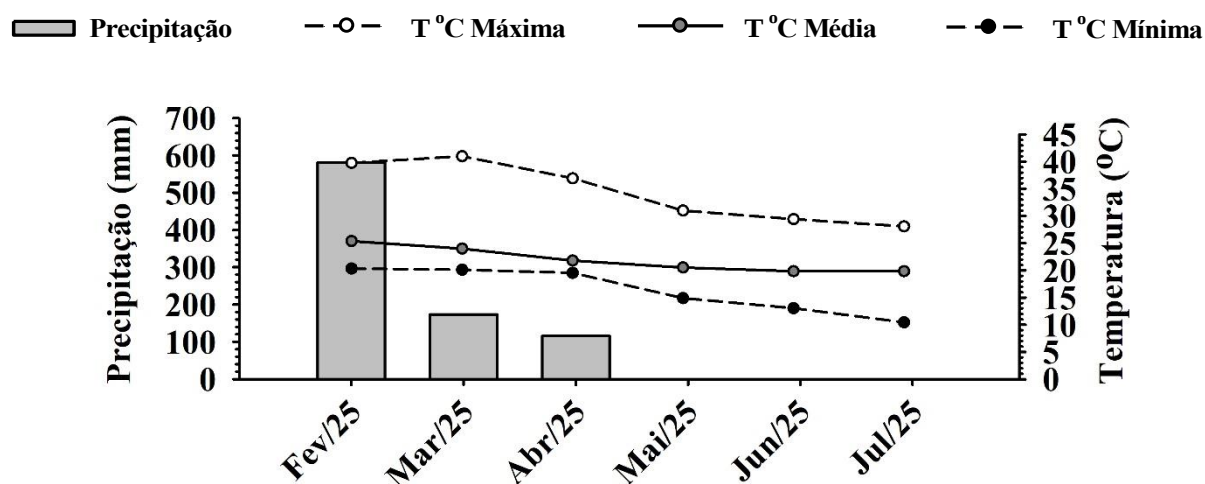


Figura 1 - Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) mensal durante o ciclo da cultura do sorgo, no município de Cassilândia-MS.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados (DBC), com 8 tratamentos e 3 repetições. Sendo os tratamentos formados por tráfego controlado (TC), e tráfego não controlado (TNC), e as plantas de cobertura utilizadas foram: braquiária (*Brachiaria marandu*) de um e dois anos de cultivo, e mix de braquiária (*Brachiaria marandu*) e milheto cv. ADR 300 (*Pennisetum glaucum* L.).

Assim, os tratamentos foram distribuídos em 24 parcelas (unidades experimentais) da seguinte forma: T1: TC + Vegetação espontânea; T2: TC + braquiária de um ano; T3: TC + braquiária de dois anos; T4: TC + mix de milheto e braquiária; T5: TNC + mix de milheto e braquiária; T6: TNC + braquiária de dois anos; T7: TNC + braquiária de um ano; T8: TNC + vegetação espontânea. Cada parcela foi delimitada por uma área de 35 m² (7m x 5m).

O tráfego controlado foi realizado em uma área experimental submetida a ensaios conduzidos ao longo dos anos. Para a implementação desse sistema, foram estabelecidos e demarcados trajetos fixos para a circulação dos maquinários, utilizando estacas como pontos de referência no solo, de modo a restringir o tráfego às mesmas linhas de passagem e minimizar a compactação das áreas de cultivo. Em contrapartida, o tratamento com tráfego não controlado, foi realizada a passagem de um trator em diferentes locais da área experimental. No tratamento com tráfego controlado, as operações mecanizadas, incluindo as aplicações realizadas durante o ciclo da cultura, foram executadas exclusivamente sobre os trajetos previamente demarcados.

A adubação de plantio foi realizada seguindo as recomendações propostas por Sousa e Lobato (2004), com 20 kg/ha⁻¹ de N, 60 kg/ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg/ha⁻¹ de K₂O.

No dia 24/01/2025, foi realizada a semeadura da cultura de sorgo de forma mecanizada através de uma semeadora montada com 5 linhas e espaçadas em 0,50 m entre as linhas, com uma população de 200.000 plantas/ha. A cultivar de sorgo granífero utilizada foi de ciclo superprecoce B1G233 com densidade de semeadura estimada de 10 sementes por metro, conforme a recomendação da cultivar utilizada.

De acordo com a análise química do solo, os valores apresentados foram de P_{resina} (7 mg/dm³), K (0,8 mmol_c/dm³), Ca (33 mmol_c/dm³), Mg (8 mmol_c/dm³), com pH de 5,9 CaCl₂, teor de M.O de 25 g/dm³, e H+Al de 14 mmol_c/dm³ CTC de 57 mmol_c/dm³ e SB de 43 mmol_c/dm³, com V% de 75%.

Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais seguiram os procedimentos adotados em lavoura comercial exigidos pela cultura, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas e fungicidas.

2.4 Amostragem do solo

As amostras do solo foram coletadas durante a floração da cultura do sorgo, sendo obtidas com o amostrador tipo castelinho e com anéis volumétricos de 0,06 m de diâmetro e 0,04 m de altura (Figura 2A), na posição do rodado (tráfego) nas camadas 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m (Figura 2B), totalizando 144 amostras. Essas amostras foram embaladas em papel filme e posteriormente transportadas para laboratório (Figura 2 C).

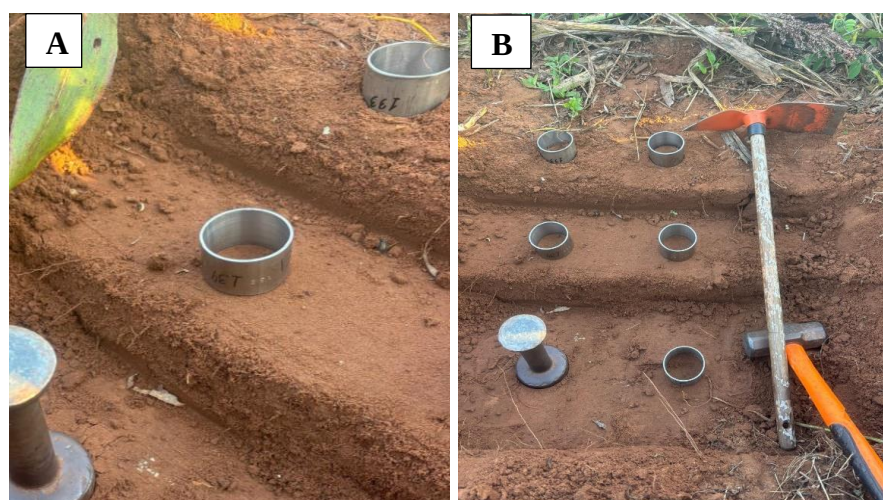




Figura 2. Amostragem do solo. A) Anéis volumétricos; B) Castelinho para a amostragem; C) Armazenamentos das amostras em papel filme. UEMS/UUC, Cassilândia, MS, 2025.

2.5 Análises física do solo

2.5.1 Densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade

A densidade de solo (DS), Volume total de poros (VTP, $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), macro e microporosidade foram determinadas conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

2.5.2 Resistência à penetração do solo

Para o diagnóstico resistência à penetração do solo, foram realizados testes de penetrometria durante o ciclo da cultura, utilizando um penetrômetro semiautomatizado da marca DLG, modelo 2000, cujo haste apresenta 0,0128 m de diâmetro basal do cone e ângulo de penetração de 30°, conforme norma ASAE S.313.3 (Figura 3). Dessa forma tornou-se possível a obtenção de valores de resistência mecânica do solo à penetração (RP) a cada milímetro do solo.

Para tanto, foi delimitada uma malha de amostragem (pontos de transecto) de avaliação da resistência mecânica do solo à penetração, contendo 13 pontos na superfície do solo em intervalos iguais, desde o ponto inicial (Pi) até o ponto final (Pf). Foram realizados testes de penetrometria até 0,40 metros de profundidade dos perfis, perfazendo uma grade de amostragem contendo 520 células por perfil em cada parcela (13 pontos superficiais x 40 pontos de avaliação em profundidade). A análise de resistência à penetração foi realizada quando a umidade do solo se apresentava próximo a capacidade de campo ($0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).



Figura 3. Penetrômetro para a análise de resistência à penetração, Cassilândia, MS, 2025.

2.6 Análises fisiológicas e produtivas do sorgo

2.6.1 Análises fisiológicas

Foi realizada análise de trocas gasosas no terço superior da planta através da folha bandeira, no início florescimento da cultura, utilizando-se um medidor de troca gasosa infravermelho portátil (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, Reino Unido) na qual foi avaliada a taxa de assimilação de gás carbônico (CO_2) (A), a condutância estomática (g_s), a concentração de CO_2 intracelular (C_i) e a taxa de transpiração (E), e, a partir desses dados, foram calculadas a eficiência do uso da água (WUE), utilizando-se a razão entre taxa de assimilação de gás carbônico e transpiração (A/E) e a eficiência de carboxilação ($EICI$), utilizando-se a razão entre taxa de assimilação de gás carbônico e concentração de CO_2 intracelular (A/C_i).

2.6.2 Produtividade do Sorgo

Para a produtividade do sorgo (estádio fenológico E9) foram coletadas as panículas de 10 plantas por parcela (Figura 4) e em laboratório os grãos foram retirados das panículas e acondicionados em estufa de secagem a $65\text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Após este período as amostras foram retiradas e pesadas em gramas, em balança semi-analítica e posteriormente extrapolado a produtividade em kg ha^{-1} .



Figura 4. Cachos para a avaliação de produtividade. UEMS/UUC, Cassilândia, MS, 2025.

2.7 Análise estatística

Os dados de resistência do solo à penetração (RP), foram submetidos à interpolação espacial no software SigmaPlot (versão 11.0, Systat Software Inc., San Jose, CA, USA). A partir dos dados estruturados em coordenadas tridimensionais (X, Y, Z), gerou-se uma malha regular (grid) de 40×40 nós para a modelagem da superfície. Para o mapeamento da RP, aplicaram-se e compararam-se dois métodos determinísticos: o Vizinho Mais Próximo (*Nearest Neighbor*), empregado na delimitação de zonas de manejo sem suavização matemática ao atribuir a cada nó o valor do ponto amostral topologicamente mais próximo; e o Inverso do Quadrado da Distância (*Inverse Distance Weighting - IDW*), com expoente de potência igual a dois ($p = 2$), fundamentado na premissa de que a influência do atributo decresce inversamente com o quadrado da distância entre os nós estimados e os pontos medidos. As matrizes geradas originaram mapas bidimensionais de contorno (2D Contour Plot) e tridimensionais de superfície (3D Surface Plot), cujas isolinhas e gradientes cromáticos foram padronizados de acordo com as classes de compactação do solo da área experimental.

Para os demais atributos físicos do solo e as variáveis fisiológicas e de produtividade da cultura do sorgo foram realizadas as correlações de Pearson através da rede de correlações entre as variáveis de estudo, por meio dos pacotes Corrplot para correlação com o software R. Correlações positivas foram destacadas pela cor verde, e negativas com vermelha. A determinação da espessura das linhas seguiu o valor de corte de 0,7, correspondendo a 70% de

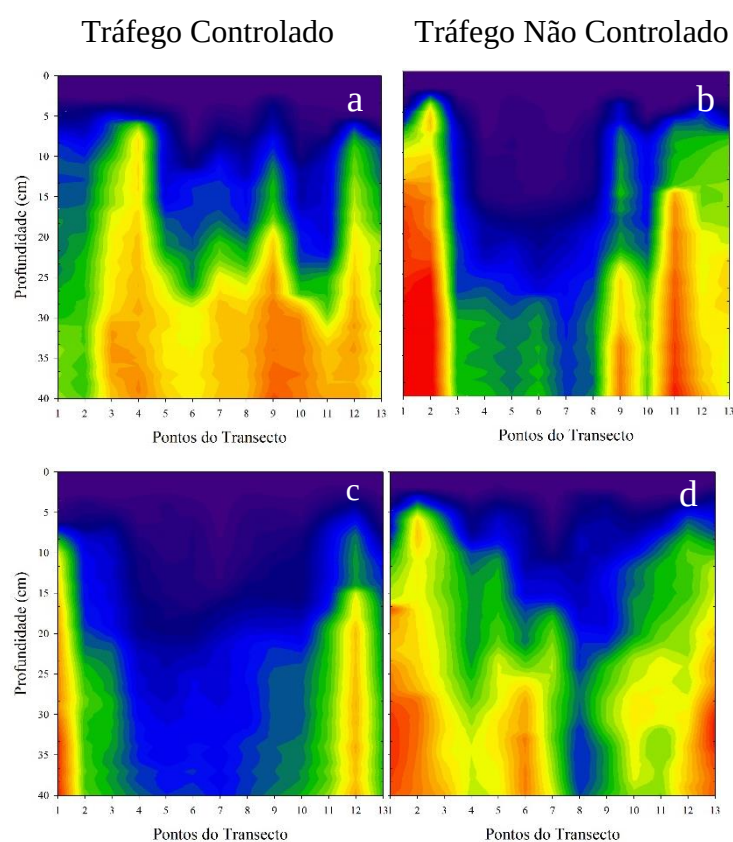
confiabilidade, assim, apenas correlações com médias acima do valor considerado foram destacadas.

A análise multivariada de variáveis canônicas, também foi realizada para avaliar os resultados obtidos, com o propósito de melhor ilustrar e verificar a concordância dos resultados obtidos. Todas as análises foram realizadas com o software R versão (v. 4.3.2) (R core team, 2024), por meio dos pacotes qgraph para rede de correlações e candisc para variáveis canônicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

No tratamento de tráfego controlado (T1) a resistência à penetração iniciou-se nos pontos de transecto entre 2 e 5, a partir de 5 cm de profundidade (3 MPa) (Figura 5A). Após os 15 cm de profundidade a resistência destes pontos torna-se de 3.5 MPa. Neste tratamento, com vegetação espontânea e tráfego controlado, foi observada uma resistência de 3.5 MPa a partir de 20 cm de profundidade nos pontos de transecto de 8 a 11. Neste mesmo tratamento, nos pontos 12 foi observada uma resistência acima de 3.5 MPa a partir de 20 cm de profundidade.



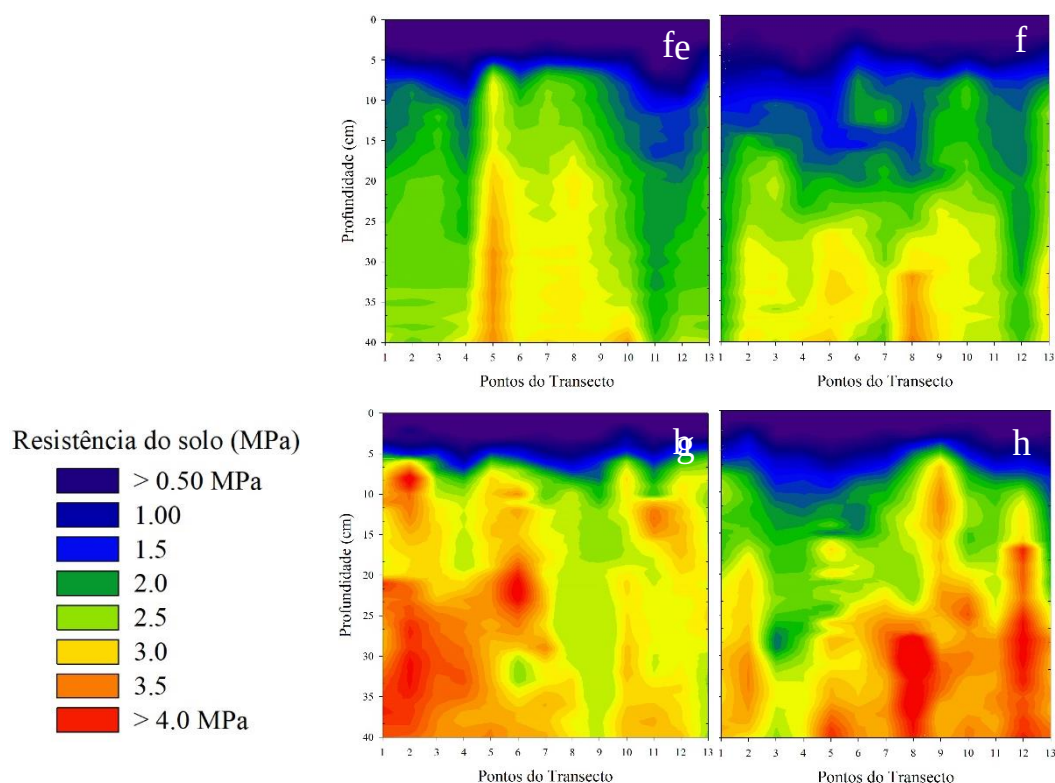


Figura 5. Mapa de resistência à penetração. (a) T1 – tráfego controlado + vegetação espontânea; (b) T2 – tráfego controlado + braquiária de 1 ano; (c) T3 – tráfego controlado + braquiária de 2 anos; (d) T4 – tráfego controlado + mix (braquiária + milho); (e) T5 – tráfego não controlado + mix (braquiária + milho); (f) T6 – tráfego não controlado + braquiária de 2 anos; (g) T7 – tráfego não controlado + braquiária de 1 ano; (h) T8 – tráfego não controlado + vegetação espontânea do Neossolo Quartzarênico em Cassilândia, MS, 2025.

Esses resultados mudam com a braquiária de um ano com tráfego controlado (T2), a maior resistência à penetração (>4.0 MPa) inicia-se após 10 cm de profundidade nos pontos de transecto de 1 a 2. Na sequência alguns picos de resistência (3.5 MPa) são observados no ponto 9, a resistência inicia-se com 30 cm de profundidade, e no ponto de transecto 11 em 15 cm de profundidade é observada uma resistência à penetração acima de 4 MPa (Figura 5B).

Ao analisar a Figura 5C, observa-se que o tratamento T3 (braquiária de dois anos com tráfego controlado) apresenta maior resistência à penetração no ponto de transecto 1, no qual inicia-se em 15 cm com resistência de 3.5 MPa, e conforme a profundidade aumenta há um incremento nos valores de resistência à penetração, atingindo valores superiores a 4 MPa a partir de 30 cm de profundidade. No ponto de transecto 12 também foi observada uma resistência à penetração a partir de 15 cm, com valores superiores a 3.5 MPa a partir desta profundidade.

Para o tratamento mix (braquiária + milho) com tráfego controlado (T4) são observados picos de resistência à penetração entre 1 e 2 a partir de 16 cm de profundidade a resistência com valores de 3.5 MPa à >4 MPa. Entre os pontos 2 e 3 foi observada uma resistência de 3 MPa entre 5 e 10 cm de profundidade. No ponto de transecto 3 foi observada

uma resistência de 3 MPa. No ponto transecto 6, com 28 cm de profundidade foi relacionada uma resistência de 3.5 MPa. Por fim, entre os pontos 12 e 13, o início da resistência de 3.5 MPa foi verificado a partir de 20 cm de profundidade, e da resistência > 4 MPa foi averiguado a partir de 27 cm (Figura 5D).

Ao analisar a Figura 5 A, B, C e D, é possível observar que o modelo definido de controle de tráfego é eficientemente mantido observado pelas zonas estabelecida de compactação e não em área total e assim contribui na criação de um ambiente mais favorável ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da cultura, pois a cultura tem maior área de solo para explorar.

Em T5 (braquiária + milho com tráfego não controlado) a resistência à penetração de 2 MPa ocorreu em todos os pontos de transecto. Contudo, o ponto 5 apresentou uma resistência de 3.5 MPa a partir de 15 cm de profundidade, nos pontos 6, 8 e 9 houve uma resistência de 3 MPa a partir de 18 cm de profundidade, no ponto de transecto 7, essa mesma resistência ed 3 MPa inicia-se a partir de 23 cm de profundidade. No ponto de transecto 10 uma resistência de 3.5 MPa foi observada a 40 cm de profundidade (Figura 5E).

Em T6, braquiária de 2 anos em tráfego não controlado, entre os pontos de transecto 2 e 6 houve uma resistência à penetração de 3 MPa a partir de 25 cm de profundidade. No ponto de transecto 8 abaixo de 30 cm de profundidade foi possível visualizar uma resistência de 3.5 MPa. Na profundidade de 23 cm, entre os pontos 9 e 10, foi obtida uma resistência de 3 MPa, e no ponto 13 a partir de 25 cm de profundidade também foi verificada uma resistência de 3 MPa (Figura 5F).

Na área coberta por braquiária de 1 ano com tráfego não controlado (T7), uma resistência >4 MPa à penetração foi observada entre 5 e 10 cm de profundidade. Entre os pontos 1 e 3 uma resistência > 4 MPa foi visualizada a partir de 20 cm de profundidade. No entanto, no ponto de transecto 4 essa resistência superior a 4 MPa foi obtida entre 28 e 17 cm de profundidade. Entre os pontos 5 e 7 na profundidade de 17 a 25 cm, foi verificada uma resistência > 4 MPa. Entre os pontos de transecto de 11 a 12, ocorre uma resistência >4 MPa na profundidade de 10 e 15 cm. Nos pontos de 10 a 13 a partir de 18 cm de profundidade ocorre uma resistência de 3 MPa (Figura 5G).

Em T8, tráfego não controlado, entre os pontos de transecto 1 e 2 há uma resistência de 3 e 3.5 MPa que se inicia na profundidade de 17 cm. Entre os pontos 4 e 5 a maior resistência (>4 MPa) é ilustrada a partir de 37 cm de profundidade. Entre os pontos de transecto 7 e 9 a resistência a penetração >4 MPa foi averiguada a partir de 25 cm de profundidade. Entre os pontos 9 e 10 também é observada uma resistência a penetração >4 MPa de 5 a 15 cm de

profundidade. No ponto de transecto 10 ocorre uma resistência a penetração $> 4\text{MPa}$ entre 23 e 25 cm de profundidade. Entre o ponto 11 e 13 a resistência à penetração $> 4\text{MPa}$ ocorre a partir de 16 cm de profundidade (Figura 5H).

Assim, a partir destes resultados, torna-se possível afirmar que o tráfego controlado promoveu uma distribuição mais homogênea resistência à penetração, reduzindo as camadas compactadas ao longo do perfil.

Verificou-se correlações positivas (verdes) entre a porosidade total de 5-10 e a porosidade total de 10-20, entre a macroporosidade de 0-5 e de 10-20 e entre a microporosidade de 5-10 e de 10-20, e, entre a porosidade total₀ e a produtividade. Correlações negativas (vermelhas) foram obtidas entre a densidade de 0-5, a produtividade e a porosidade total 0-5. Entre a porosidade total de 5-10 e as variáveis de densidade de 5-10 e de 10-20. Entre a porosidade de 10-20 e as variáveis de densidade 5-10 e densidade de 10-20. Entre a microporosidade de 10-20 e as variáveis de macroporosidade de 0-5 e de 10-20. Entre a microporosidade 5-10 e as variáveis de macroporidade de 0-5, de 5-10, e a microporosidade de 10-20.

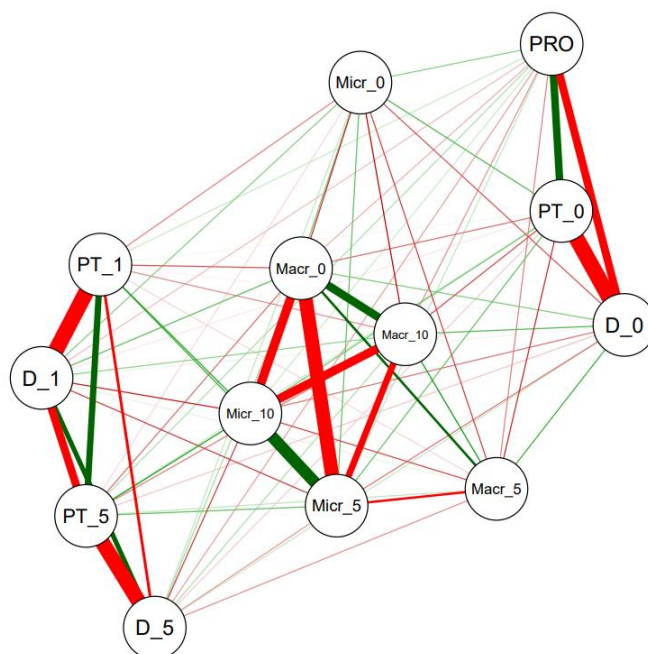


Figura 6. Rede de correlações entre os atributos físicos do solo e a produtividade do sorgo granífero sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura. Macro_0 (macroporosidade 0-5 cm), Macro_5 (macroporosidade 5-10 cm), Macro_10 (macroporosidade de 10-20 cm), Micro_0 (microporosidade 0-5 cm), Micro_5 (microporosidade 5-10), Micro_10 (microporosidade 10-20), D_0 (densidade 0-5 cm), D_5 (densidade 5-10 cm), D_10 (densidade 10-20 cm), PT_0 (porosidade total 0-5 cm), PT_5 (porosidade total 5-10 cm), PT_1 (porosidade 10-20 cm) e PROD (produtividade).

Os resultados da rede de correlação demonstram que a profundidade de 0-5 cm teve influência direta na produtividade da cultura o sorgo granífero. Na qual os atributos DS e PT afetaram diretamente a produtividade da cultura, a porosidade total (PT_0) possui uma correlação positiva de 83% com a produtividade, entretanto, a Densidade do solo (D_0) apresenta uma correlação negativa de 83%. Ou seja, à medida que há incrementos nos valores de DS do solo, há um decréscimo em produtividade. Ainda de acordo com a Figura 6, verificou-se uma correlação negativa (96%), entre a macroporosidade 0-5 cm (Macr_0) e a microporosidade 5-10 cm (Micr_5), ou seja, à medida o tráfego agrícola promoveu uma redução dos macroporos na camada superficial, houve um incremento da microporosidade na camada adjacente. Quando a macroporosidade superficial é destruída, o impacto físico e a transferência de cargas degradam a camada de baixo, forçando o aumento da microporosidade.

Na análise das variáveis canônica entre as variáveis fisiológicas e de produção (Figura 7) verificou-se que a concentração interna de CO₂ do sorgo foi fortemente influenciada pelos tratamentos com o tráfego controlado (C_M, C_VE, C_BRA1 e C_BRA2). A variável W (eficiência do uso da água) foi influenciada pelo tratamento TNC_BRA1.

Os tratamentos de tráfego controlado + mix de cobertura (C_M) e tráfego controlado + braquiária de dois anos (C_BRA2) foram os tratamentos que tiveram uma maior tendência a influenciar variável produtividade. A eficiência da carboxilação é fortemente influenciada pelo tráfego não controlado + braquiária de dois anos (TNC_BRA2). A taxa de transpiração (E) é influenciada pelo tráfego não controlado + vegetação espontânea (TNC_VE). A sobreposição entre tráfego controlado + braquiária de um ano (C_BRA) e tráfego controlado + mix de cobertura (C_M) sugere que esses tratamentos não diferem significativamente nas variáveis fisiológicas avaliadas.

O tratamento de tráfego não controlado + braquiária de dois anos foi caracterizado por maiores valores de eficiência da carboxilação (EICI), com tendência de associação também à assimilação líquida de CO₂ (A) e à condutância estomática (gs), indicando um comportamento fisiológico de maior eficiência nas trocas gasosas.

Ao comparar o tráfego não controlado + vegetação espontânea, com o tráfego não controlado + braquiária de dois anos, observa-se que na ausência da braquiária tem maior transpiração devido a compactação, e no caso a cobertura favoreceu maior eficiência na carboxilação, para conversão de energia em condição estressante.

As plantas de cobertura braquiária com dois anos e o mix de cobertura utilizando braquiária e milheto, associado ao tráfego controlado foram capazes de influenciar a produção

do sorgo granífero. Por outro lado, a vegetação espontânea promoveu os menores valores em relação a produção.

Outro fator extremamente importante analisado foi a eficiência do uso da água (W), onde é possível verificar que os tratamentos tráfego não controlado + braquiária de um ano (TNC_BRA1) e tráfego não controlado + mix de cobertura, apresentaram uma alta relação com essa variável, entretanto, isto não refletiu em uma elevada produção. Já os tratamentos tráfego controlado com vegetação espontânea (C_VE) e tráfego controlado com braquiária de dois anos (C_BRA2), apresentaram alta ci, possivelmente por limitações na carboxilação (baixa EICI e baixa W), o que sugere que a alta ci não se traduz em eficiência na produção. Isto é possível verificar na Figura 7, que a variável ci está em direção oposta à produtividade, isto ocorre pois, quando a planta é eficiente em carboxilação, o CO_2 interno é rapidamente consumido, mantendo ci baixa.

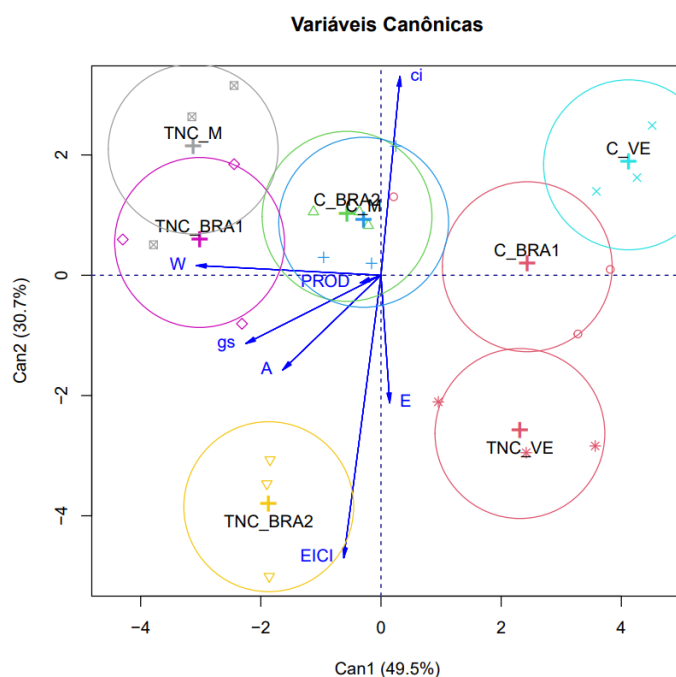


Figura 7. Análise canônica entre concentração interna de CO_2 (Ci), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A), taxa de transpiração (E), eficiência da carboxilação (EICI) e eficiência do uso da água (W) do sorgo cultivado sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura. Tráfego não controlado + mix de cobertura - braquiária e milheto (TNC_M), tráfego controlado + vegetação espontânea (TNC_VE), tráfego não controlado + braquiária de um ano (TNC_BRA1), tráfego não controlado + braquiária de 2 anos (TNC_BRA2), tráfego controlado + mix de cobertura - braquiária e milheto (C_M), tráfego controlado + vegetação espontânea (C_VE), tráfego controlado + braquiária de 1 ano (C_BRA1) e C_BRA2 (tráfego controlado + braquiária de 2 anos).

Na figura 8, encontra-se a análise canônica com a variável de produção e as análises estruturais do solo. Observa-se que o tratamento com tráfego controlado e vegetação espontânea (C_VE), possui forte influência na macroporosidade de 0-5, 5-10 e de 10-20 (Macro_0, Macro_5 e Macro_10-20), na densidade de 10-20 (D_10) e na porosidade total de 0-5 (PT_0). A porosidade total de 5-10 (PT_5) é fortemente influenciada pelo tráfego controlado e braquiária de um ano (C_BRA1). Os vetores da densidade de 0-5, 5-10 (D_0 e D_5), da microporosidade 5-10, 10-20 (Micro_5 e Micro_10), da porosidade total de 10-20 (PT_10) e a produtividade (PROD), concentram-se no mesmo quadrante de similaridade dos tratamentos, tráfego não controlado com vegetação espontânea, tráfego não controlado, com braquiária de um e dois anos, demonstrando a influência desses tratamentos nestas variáveis. A variável de porosidade total (PT_5) é influenciada pelo tratamento tráfego controlado com braquiária de um ano, e a variável de microporosidade de 0-5 é fortemente influenciada pelos tratamentos do tráfego não controlado + mix de cobertura (TNC_M) e e tráfego controlado com braquiária de dois anos (C_BRA2).

Tráfego Controlado preservou a macroporosidade nas camadas superficiais. A densidade (D_10) e Porosidade Total em profundidade (PT_10) formam vetores opostos aos macroporos superficiais, ou seja, houve compactação, e aumento de micropro sem trafego controlado.

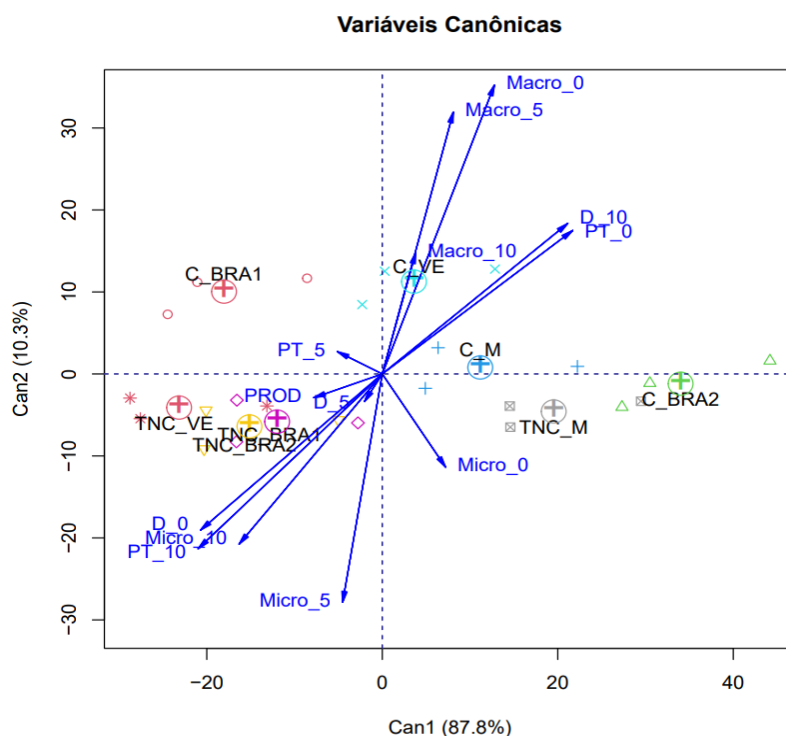


Figura 8. Análise canônica entre Macro_0 (macroporosidade 0-5 cm), Macro_5 (macroporosidade 5-10 cm), Macro_10 (macroporosidade de 10-20 cm), Micro_0

(microporosidade 0-5 cm), Micro_5 (microporosidade 5-10), Micro_10 (microporosidade 10-20), D_0 (densidade 0-5 cm), D_5 (densidade 5-10 cm), D_10 (densidade 10-20 cm), PT_0 (porosidade total 0-5 cm), PT_5 (porosidade total 5-10 cm), PT_10 (porosidade 10-20 cm) e PROD (produtividade) do sorgo cultivado sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura. Tráfego não controlado + mix de cobertura - braquiária e milheto (TNC_M), tráfego controlado + vegetação espontânea (TCN_VE), tráfego não controlado + braquiária de um ano (TNC_BRA1), tráfego não controlado + braquiária de 2 anos (TNC_BRA2), tráfego controlado + mix de cobertura - braquiária e milheto (C_M), tráfego controlado + vegetação espontânea (C_VE), tráfego controlado + braquiária de 1 ano (C_BRA1) e C_BRA2 (tráfego controlado + braquiária de 2 anos).

3.2 Discussão

O tráfego controlado é um método de manejo que reduz a capacidade de compactação em área total nas lavouras (Gasso *et al.*, 2013). O tráfego controlado restringe a movimentação das máquinas agrícolas em locais específicos, o que reduz o risco de compactação (Bawatharani *et al.*, 2026). No presente estudo, o tráfego controlado reduziu parcialmente a compactação em superfície, o mesmo foi descrito por Mchugh *et al.* (2009), que afirmam que no TC a compactação se restringe apenas as faixas de rodagem, reduzindo a compactação em área total.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que com o tráfego não controlado, a resistência à penetração >4 MPa ocorre em diversas camadas do solo, assim como descrito no estudo de Nawaz *et al.* (2023) na cultura do milho, em que o tráfego aleatório elevou a densidade do solo, reduziu a porosidade e reduziu a produtividade da cultura.

Considerando os resultados apresentados na Figura 8, de modo geral, no tráfego não controlado, a maior densidade e microporosidade geradas correlacionaram-se positivamente com a produtividade (PROD), evidenciando que uma modesta alteração na estrutura do Neossolo que pode ter favorecido a retenção hídrica na zona radicular. Isto pode ser relacionado as variáveis canônicas da Figura 7, em que alguns parâmetros de trocas gasosas, permaneceram no mesmo quadrante de similaridade que os tratamentos com tráfego não controlado, como gs, A, EICI e E, juntamente com a produtividade (PROD). Essas associações ocorrem principalmente, no tráfego não controlado com braquiária de dois anos (TNC_BRA2).

O 2 MPa é considerado crítico para o crescimento das plantas (Moura *et al.*, 2021), esse sistema de manejo de uso de máquinas é menos favorável ao desenvolvimento das plantas do que a área tráfego controlado, na qual os valores mais elevados de RP estão contidos em faixas específicas e não distribuídos em área total. Neste cenário, a braquiária exerceu um papel fundamental, pois sua presença minimizou os efeitos do tráfego não controlado nos parâmetros de trocas gasosas do sorgo (Figura 6).

Na camada do solo entre 0 e 10 cm a densidade é influenciada pelos, tratamento TNC_BRA1 e TNC_BRA2, contudo, a microporosidade é maior nestes tratamentos. Nas

camadas de solo de 10-20 cm a macroporosidade e a porosidade total foram fortemente influenciadas por esses tratamentos. Esses resultados podem estar associados as características morfológicas da braquiária.

Além disto, essa associação sugere que, nas condições deste experimento, solos com maior microporosidade apresentaram maior capacidade de retenção de água, o que proporcionou melhor status hídrico às plantas. A microporosidade está diretamente relacionada à retenção de água no solo, sendo determinante para a disponibilidade hídrica em períodos de déficit (Reichert et al., 2007). Em sorgo, cultura conhecida por sua tolerância moderada ao déficit hídrico, a manutenção de água disponível no perfil do solo durante estádios fenológicos críticos, como o florescimento e o enchimento de grãos, está positivamente correlacionada com a eficiência do uso da água (Assefa et al., 2010; Schoppach & Sadok, 2012).

Solos com estrutura superficial frágil, como os Neossolos Quartzarênicos ou aqueles submetidos a manejo inadequado, são particularmente suscetíveis à perda de macroporos. O tráfego de máquinas e implementos agrícolas exerce pressão que reduzem os macroporos da camada superficial, e essa tensão é transmitida às camadas subsuperficiais, resultando em compactação em profundidade (Hamza; Anderson, 2005; Reichert; Suzuki; Reinert, 2007). A redução da macroporosidade superficial compromete a infiltração de água e a aeração do solo, enquanto a compactação subsuperficial restringe o desenvolvimento radicular e a dinâmica de água e nutrientes no perfil (Dexter, 2004).

A braquiária é uma gramínea popularmente conhecida por sua capacidade de descompactar o solo (Fonseca *et al.*, 2023). Isto ocorre devido ao seu desenvolvimento radicular, segundo Serafim et al. (2015) as raízes da braquiária são fasciculadas, com ampla área de crescimento e com alta capacidade de penetração e descompactação do solo. No presente estudo a braquiária melhorou a condutância estomática do sorgo produzido sob tráfego não controlado. Esse parâmetro está associado ao fluxo de massa na planta e, em paralelo ao transporte de nutrientes (Holz *et al.*, 2024) e o fornecimento de CO₂ fundamental para a fotossíntese (Lemonnier; Lawson, 2024). Assim, alterar a condutância estomática pode modificar o crescimento da planta, e consequentemente sua produção (Lawson; Vialet-Chabrand, 2019).

Além disto, braquiária de dois anos reduziu a resistência à penetração do solo sob tráfego não controlado nas camadas acima de 20 cm de profundidade, além de ser os tratamentos com maior influência na EICI do sorgo, variável que espelha a eficiência da fotossíntese da planta (Faba; Ordonez, 2024), o que também pode ser associado ao crescimento e produção.

O milho também apresenta um intenso desenvolvimento radicular, por conta desta característica a cultura é uma das mais indicadas para descompactação biológica do solo em diferentes camadas (Silva; Rosolem, 2001). Neste aspecto, a pesquisa destes autores corrobora com os resultados obtidos no presente estudo, ilustrados na Figura 6 para a produtividade em tráfego controlado.

Por outro lado, o mix com as plantas de cobertura combina as características da braquiária e do milho, o que pode potencializar a capacidade de descompactação desta junção. Os resultados averiguados no presente estudo, colaboram com os resultados obtidos por Fonseca et al. (2023), no qual o mix de cobertura com braquiária e milho reduziu drasticamente a compactação em camada superficial, e aumento da resistência em função do aumento da profundidade.

O uso de tráfego controlado já é realidade em algumas culturas agrícolas brasileira, como a cana-de-açúcar (Luz *et al.*, 2023). Esse método mostrou-se eficiente para a preservação das propriedades do solo. No cultivo com tráfego não controlado a adição de plantas de cobertura, especialmente da braquiária, auxiliaram na redução dos riscos de compactação, a partir da preservação das propriedades físicas do solo, refletindo nos parâmetros fisiológico e na produtividade do sorgo.

4. CONCLUSÃO

O tráfego controlado ameniza a compactação do solo em camadas superficiais no Neossolo Quartzarênico.

A adição da braquiária como planta descompactadora eleva a produtividade do sorgo cultivado em Neossolo quartzarênico sob tráfego não controlado.

No tráfego não controlado, o mix de braquiária e milho, e a braquiária de dois anos são demonstraram potencial para descompactação e preservação do solo, tanto na camada superficial quanto em subsuperfície.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Manejo e conservação do solo e da água**, v. 28, p. 519-531, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>
- ALVARES, C.A., J.L. STAPE, P.C. SENTELHAS, J.L.M. GONC, ALVES, 2013: Modeling monthly mean air temperature for Brazil. – Theor. Appl. Climatol. 113, 407–427.
- ANTILLE, D. L.; PEETS, S.; et al. Review: Soil compaction and controlled traffic farming in arable and grass cropping systems. **Agronomy Research**, v. 17, n. 3, p. 653–682, 2019. Disponível em: <https://hau.repository.guildhe.ac.uk/id/eprint/17412/1/Sven%20Peets%20Soil%20compaction%20publishers.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2026.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASADA, V. P. V. Necessidade hídrica do sorgo granífero e respostas ao estresse hídrico: uma revisão. **Manejo de Culturas**, v. 9, p. 1-11, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
- BAWATHARANI, R.; GRAFTON, M.; JEYAKUMAR, P.; BISPO, P.; DAVIES, C. An Investigation of the Impacts of Controlled Traffic Farming on Soil Properties. **AgriEngineering**, v. 8, n. 2, p. 54, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering8020054>
- BERTOLLO, G. M.; SCHLOSSER, J. F.; BERTINATTO, R.; FARIAS, M. S. de.; MARTINI, A. T.; SANTOS, G. O. dos. Tráfego controlado de máquinas em comparação ao aleatório no desempenho de trator em semeadura. **Agrarian**, Dourados, v. 12, n. 46, p. 479-486, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i46.9961>
- CORTEZ, J. W. et al. Compactação do solo e seus efeitos sobre o funcionamento e a absorção de elementos minerais. **Revista Meio Ambiente Brasil**, v. 13, n. 4, p. 12-25, 2021. DOI:
- DAL BELLO, N. F.; COLASSO, M.; GABRIEL, Y.; SILVA, A. B. P. de.; FAEZ, R. Y. R.; ROSSATO, O. B. Mix de plantas de cobertura. In: IV SEMANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. 1, 2023, Concórdia. **Anais [...]** Concórdia: Instituto Federal de Concórdia, 2023. p. 45.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>.
- FABA, L.; ORDÓÑEZ, S. Carboxylation reactions for the sustainable manufacture of chemicals and monomers. **RSC Sustainability**, v. 2, n. 11, p. 3167–3182, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/d4su00482e>
- FONSECA, W. dos S.; CARVALHO, G. L.; TAVARES, R. L. M. Avaliação da resistência do solo à penetração sob cultivo de plantas de cobertura no Cerrado. In: XVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE RIO VERDE, 17, Rio Verde. **Anais [...]**, Rio verde, GO: UniRV, 2023. p. 1 – 6.

GASSO, V.; SORENSEN, C. A. G.; OUDSHOON, F. W.; VERDE, V. Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts. **European Journal of Agronomy**, v. 48, p. 66-73, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S11610301130002082.100300>. Acesso em: 16 jun. 2026.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 86–96, 2017. DOI: 10.5380/rsa.v18i2.50693.

GUBIANI, P. I.; Dos SANTOS, V. P.; MULAZZANI, R. P.; SUZUKI, L. E. A. S.; DRESCHER, M. S.; ZWIRTES, A. L.; KOPPE, E.; PEREIRA, C. A.; MENTGES, L. R.; GALARZA, R. DE M.; BOENO, D.; EURICH, K.; BITENCOURT JÚNIOR, D.; MARCOLIN, C. D.; MÜLLER, E. A. Relationship between Plant-Available Water and Soil Compaction in Brazilian Soils. *Sustainability*, v. 16, p. 6951, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16166951>

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>

HOLZ, M.; ZAREBANADKOUKI, M.; BENARD, P.; HOFFMANN, M.; DUBBERT, M. Root and rhizosphere traits for enhanced water and nutrients uptake efficiency in dynamic environments. **Frontiers Plant Nutrition**, v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1383373>

HOSSAIN, M.; ISLAM, M.; RAHMAN, M.; MOSTOFA, M.; KHAN, M. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>

KOUDAHE, K.; ALLEN, S. C.; DJAMAN, Koffi. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, p. 343-354, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>

LAWSON, T.; VIALET-CHABRAND, S. Speedy stomata, photosynthesis and plant water use efficiency. **New Phytol**, v. 221, n. 1, p. 93-98, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15330>

LUZ, F. B.; GONZAGA, L. C.; CASTIONI, G. A. F.; LIMA, R. P.; CARVALHO, J. L. N.; CHERUBIN, M. R. Controlled traffic farming maintains soil physical functionality in sugarcane fields. **Geoderma**, Amsterdam, v. 432, n. 116327, p. 1-10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116427>

MADRID, L. B.; SEHGAL, A.; YE, R.; et al. Cover crop root attributes and their contribution to soil processes and agroecosystem sustainability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 389, 110468, 2026. DOI: 10.1016/j.agee.2026.110468

MARASCA, I.; JESUS, E. da S. de; PAIVA FILHO, S. V. de; TAVARES, R. L. M. Eficiência das plantas de cobertura na densidade de plantas daninhas e como descompactadoras de

solo. **Agrarian**, v. 14, n. 53, p. 295–303, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i53.15143>

MCHUGH, A. D.; TULLBERG, J. N.; FREEBAIRN, D. M. Controlled traffic farming restores soil structure. **Soil and Tillage Research**, v.104, n. 1, p. 164-172, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.010>

MIGUEL, P. et al. Alterações nos atributos físicos e degradação estrutural do solo sob manejo intensivo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 44-53, 2022. DOI:

NAWAZ, M. M.; NOOR, M. A.; LATIFMANESH, H.; WANG, X.; MA, W.; ZHANG, W. Field traffic-induced soil compaction under moderate machine-field conditions affects soil properties and maize yield on sandy loam soil. **Front. Plant Sci.**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1002943>

PAIVA, L. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SOUZA, T. L.; et al. Caracterização de neossolo quartzarênico em área de expansão agrícola no Oeste da Bahia. **Revista Macambira**, v. 9, n. 1, 2025. DOI: 10.35642/rm.v9i1.1571

POTT, C. A.; CONRADO, P. M.; RAMPIM, L.; UMBURRANAS, R. C.; CONRADO, A. M. C.; OUTEIRO, V. H.; MULLER, M. M. L. Mixture of winter cover crops improves soil physical Properties under no-tillage system in a subtropical environment. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 1-7, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198723002210>. Acesso em: 16 jun. 2026.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Versão 4.4.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: [r-project.org](https://www.R-project.org/). Acesso em: 17 mar. 2025.

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. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 37-48. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/389>. Acesso em: 16 jun. 2026.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; RIBEIRO, M. R.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 460–468, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150027>

SERAFIM, M. E.; BARBOSA, S. M.; ZEVIANI, W. M.; SEVERIANO, E. da C.; COST, K. A. de P.; ROMANO, L. R.; SILVA, B. M. Biopores, soil decompacting potential, and biomass of *Brachiaria* cultivars. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 49, p. e 0240079, 2025. DOI: 10.36783/18069657rbcs20240079

SHAHEB, M. R.; VENKATESH, R.; SHEBA, R. N. A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, 2021. DOI: 10.1007/s42853-021-00117-7

SCHOPPACH, R.; SADOK, W. Differential sensitivities of transpiration to evaporative demand and soil water deficit among grain sorghum genotypes. **Journal of Experimental Botany**, 63(18), 6397-6406 (2012). DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.04.016

SILVA, M. F. da; ALBUQUERQUE, C. J. B.; ALVES, D. D.; ASPIUZÚ, I.; OLIVEIRA, R. M. de; SILVA, K. M. de J.; SILVA, J. F. da; MONÇÃO, F. P.; PIRES, D. A. de A.; RIGUEIRA, J. P. S. Consórcio do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) e capim-braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) sob diferentes doses de atrazina / Consórcio de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) e capim braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) sob diferentes doses de atrazina. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 5, pág. 31647–31659, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-571.

SILVA, M. A. et al. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, e11101220008, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20008

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253–260, 2001. DOI: 10.1590/S0100-06832001000200001

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301–309, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000200016.