

COMPACTAÇÃO DO SOLO NA CAFEICULTURA: COBERTURA VEGETAL OU SUBSOLAGEM NAS ENTRELINHAS?

**ALDIR CARPES MARQUES FILHO¹, ANA FLÁVIA PEREIRA REGUIM², LUCAS
SANTOS SANTANA³, RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA⁴, GABRIEL ARAÚJO E
SILVA FERRAZ⁵,**

¹ Prof. Dr. Mecanização Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, DEA/UFLA, Lavras-MG. aldir@ufla.br

² Graduanda em Engenharia Agrícola, Depto. De Engenharia Agrícola, DEA/UFLA, Lavras-MG.

³ Prof. Dr. Máquinas Agrícolas, Depto. Engenharia Agrícola, UFVJM, Unai-MG.

⁴ Prof. Dr. Mecanização Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, DEA/UFLA, Lavras-MG.

⁵ Prof. Dr. Mecanização Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, DEA/UFLA, Lavras-MG.

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: A compactação dos solos pode prejudicar a produção cafeeira. Portanto, este estudo avaliou o efeito da subsolagem e da cobertura vegetal nas entrelinhas do cafeeiro em função da resistência à penetração do solo. O delineamento foi em blocos casualizados com os tratamentos: t1 - solo coberto com braquiária; t2 - solo com braquiária + subsolagem; t3 - solo descoberto (entrelinha com controle químico total); t4 - solo descoberto (controle químico total) + subsolagem. Os resultados foram interpolados para a região de trânsito das máquinas e zona de crescimento radicular. As médias das resistências à penetração do solo foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. A cobertura vegetal e a subsolagem apresentaram efeito positivo na redução da compactação do solo. A redução média na resistência à penetração do solo com o subsolador foi de 28,1%, e da braquiária 29,3%, desta forma, a braquiária apresentou maior eficiência de descompactação do solo nas entrelinhas do café. As maiores resistências à penetração do solo foram encontradas nas áreas de solo descoberto, na zona de tráfego de máquinas, seguidas pelo centro das entrelinhas. A manutenção da braquiária nas entrelinhas mostra-se como alternativa viável para atenuar a compactação dos solos e reduzir custos operacionais, dispensando a operação mecanizada de subsolagem.

PALAVRAS-CHAVE: cafeeicultura de precisão, índice de cone, braquiária.

SOIL COMPACTION IN COFFEE FARMING: VEGETATION COVER OR SUBSOILING BETWEEN ROWS?

ABSTRACT: Soil compaction can harm coffee production. Therefore, this study evaluated the effect of subsoiling and vegetation cover between coffee tree rows to soil resistance penetration. The design was in randomized blocks with the treatments: t1 - soil covered with brachiaria; t2 - soil with brachiaria + subsoiling; t3 - bare soil (between the rows with total chemical control); t4- bare soil (total chemical control) + subsoiling. The results were interpolated for the machine transit region and root growth zone. The average resistance to soil penetration was compared using the Tukey test at 5% probability. Vegetation coverage and subsoiling had a positive effect on reducing soil compaction. The average reduction in resistance to soil penetration with the subsoiler was 28.1%, and in brachiaria 29.3%, thus, brachiaria showed greater efficiency in decompacting the soil between the coffee rows. The greatest resistance to soil penetration was found in bare soil areas, to machine traffic zone and center lines. Maintaining brachiaria between rows appears to be a viable alternative to mitigate soil compaction and reduce operational costs, eliminating the need for mechanized subsoiling operations.

KEYWORDS: precision coffee farming, cone index, brachiaria.

INTRODUÇÃO: A mecanização possibilita a aceleração dos processos agrícolas e promove benefícios para o desenvolvimento da sociedade. Entretanto, as máquinas podem causar sérios problemas nos solos se implementadas inadequadamente (KELLER et al., 2019; SCHJØNNING et al., 2023; HUSSEIN et al., 2023). Desta forma, compreender o efeito das máquinas nas modificações do solo torna-se fundamental para a sustentabilidade dos modelos agrícolas. A cafeicultura é uma das principais atividades econômicas do Brasil e do estado de Minas Gerais, no entanto, em função da recente mecanização da cultura, a compreensão do efeito dessas máquinas na estrutura dos solos ainda carecem novas investigações (BENTO et al., 2024; AZEVEDO et al., 2022; VOLTOLINI et al., 2023). A pressão exercida pelas máquinas nas entrelinhas dos cafeeiros, principalmente em condições de alta umidade, deforma o solo e causa a compactação (LACERDA et al., 2022). Para mitigar essa alta resistência no solo e aprimorar o processo produtivo na cafeicultura, o cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas tem sido uma alternativa viável (FRANCO JÚNIOR et al., 2023; PULIDO-MONCADA et al., 2020; MINHAS, et al., 2023; SILVA et al., 2021; BRESCIANI et al., 2024). A realização de novas pesquisas na área de compactação do solo na cafeicultura torna-se necessária para possibilitar a adoção de práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da subsolagem e da cobertura vegetal do solo na atenuação da compactação nas entrelinhas do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado em uma unidade de produção comercial de café, no município de Varginha, região sul do estado de Minas Gerais sob as coordenadas de 21°32'52" de latitude sul e 45°20'00" de longitude oeste a 1098 metros de altitude. O solo foi classificado como Latossolo vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018). A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 144 e o delineamento experimental em blocos casualizados, formado pelas entrelinhas de café com 20 metros de comprimento e 3.5m de largura. Aplicou-se 4 tratamentos, compostos por diferentes formas de manejo das entrelinhas do café, sendo: t1 - solo coberto com braquiária; t2 - solo com braquiária + subsolagem; t3 - solo descoberto (entrelinha com controle químico total); t4- solo descoberto (controle químico total) + subsolagem (Figura 1).

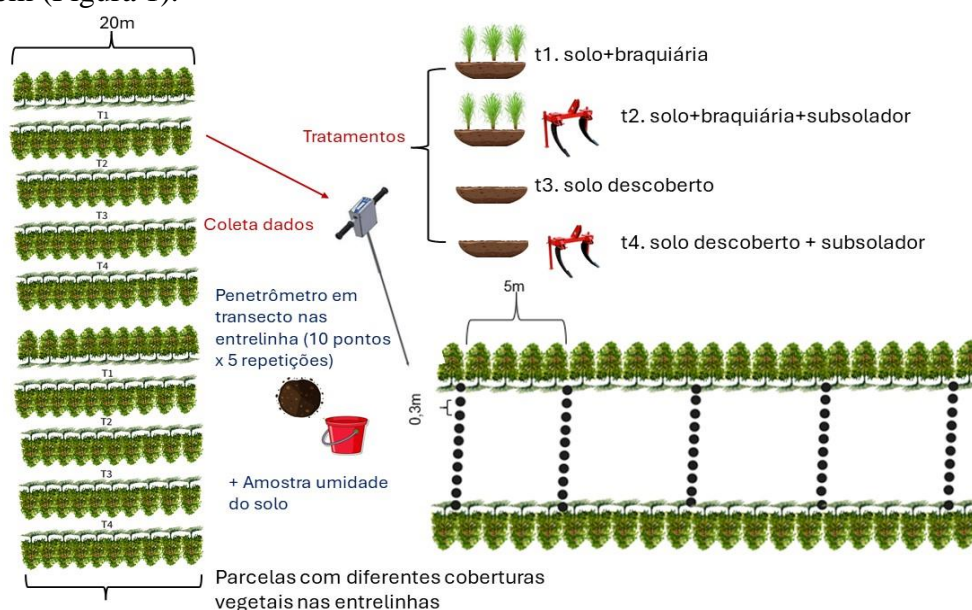


FIGURA 1. Diagrama experimental e procedimentos para avaliação da resistência à penetração do solo em função de diferentes manejos nas entrelinhas do cafeeiro.

O manejo fitossanitário das parcelas experimentais foi realizado sem variação para todos os manejos nas entrelinhas. Para estimar a compactação do solo, utilizou-se um penetrômetro eletrônico manual da marca Falker, modelo Penetrolog1020. A resistência à penetração do solo foi avaliada em transectos, com 10 pontos distanciados da linha de cultivo a cada 0,3m com 5 repetições, totalizando 50 pontos por tratamento aos 50 e 180 dias após estabelecimento dos tratamentos. O subsolador utilizado continha três hastes espaçadas em 55cm, equipado com ponteira em aço carbono do tipo reta com 9cm de largura, regulado para atingir a profundidade de 55cm. Os pontos foram interpolados e agrupados (duas coletas, 50-180 dias) em função das distâncias de coleta no transecto. Os teores de água do solo foram obtidos pelo método de secagem em estufa e padronizados para geração do índice de cone. No momento da coleta 1 a umidade média do solo, de 0 a 50cm de profundidade era de 22% e na coleta 2 estava em 21%. As resistências à penetração do solo foram inicialmente unificadas para criação do índice de cone médio em cada tratamento e as resistências à penetração do solo em cada profundidade foram comparadas por estatística descritiva. Os resultados foram submetidos à *Krigagem* para gerar distribuição de cargas no solo em cada tratamento ao longo do perfil de solo. As médias de resistência à penetração passaram por teste de normalidade Anderson Darling, análise de variância (ANOVA) e, quando aplicável, teste de Tukey à 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram feitas no software *Minitab v.16* e a interpolação dos dados e *Krigagem* em transecto no *Surfer Golden Software v.18*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A subsolagem e a cobertura vegetal apresentaram efeito significativo na redução da resistência à penetração do solo (Figura 2). As maiores resistências à penetração do solo (RPS) foram obtidas no tratamento t3 em solo descoberto e sem subsolagem. Na sequência, até a profundidade de 35cm o tratamento t1 com cobertura vegetal e sem subsolagem apresenta resistências à penetração intermediárias no solo. No entanto, verifica-se redução nos valores de índice de cone até 25cm, mantendo os níveis abaixo da zona restritiva de desenvolvimento radicular (ZRDR). Os sistemas de manejo conservacionista do solo como o cultivo mínimo e o plantio direto contribuem para a proteção dos solos (MINHAS et al., 2023). Verificou-se efeito da subsolagem e redução percentual das resistências à penetração do solo em todas as camadas de solo, excetuando-se a camada de 0,45cm, onde a subsolagem não apresentou efeito entre as condições iniciais verificadas em t4, inclusive com acréscimo de 2,5% na RPS (Figura 2A). A subsolagem foi eficaz em controlar a compactação até 40cm de profundidade, abaixo desta camada o subsolador não teve efeito significativo em mobilização do solo. Silva et al., (2021) inferiram que o consórcio do café com braquiária e o preparo profundo nas lavouras promovem maior desenvolvimento radicular das plantas e acesso a água e nutrientes. A maior redução percentual da resistência à penetração do solo com o subsolador ocorreu nas camadas superficiais 5cm (67%). A redução média na resistência à penetração do solo entre t3 e t4 pelo efeito do subsolador foi de 28,1%. A Figura 2B. descreve as reduções em percentual na RPS descoberto t3 em função da presença de braquiária nas entrelinhas t1 em cada profundidade. Os maiores valores percentuais foram obtidos à 15cm de profundidade, demonstrando que o efeito das raízes da braquiária é intenso na camada superficial do solo. Porém, verifica-se que esse efeito se mantém em profundidade, com médias percentuais elevadas. As raízes da gramínea alcançam maiores profundidades e apresentam efeito de descompactação em todo o perfil do solo. A braquiária nas entrelinhas cria redes complexas de poros e facilita a dinâmica de água e nutrientes para as plantas (GALDOS et al., 2020) e promove maior atividade biológica nas entrelinhas do cafeeiro (BRESCIANI et al., 2024; SOUZA et al., 2024). A redução média em todo o perfil de solo para a aplicação da braquiária (t1) em relação à situação de referência (t3) solo descoberto foi de 29,3%, dessa forma, é possível inferir que a braquiária possui maior eficiência do que a aplicação de subsolador para atenuação da compactação do solo nas entrelinhas do café. Menores custos

operacionais podem ser alcançados com a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo, evitando operações onerosas como a subsolagem. No entanto, a descompactação biológica com uso de culturas de cobertura, exige maior tempo para implantação e oferece desafios ao manejo das lavouras, visto que o controle de daninhas e a colheita de café de chão podem ser prejudicados em função da presença da braquiária nas entrelinhas. Além disso, Franco Júnior et al. (2023) inferiram que o manejo correto da Braquiária nas entrelinhas do cafeeiro deve ocorrer a partir de 50cm de distância da projeção dos ramos produtivos até o solo, para evitar competição com as plantas de café.

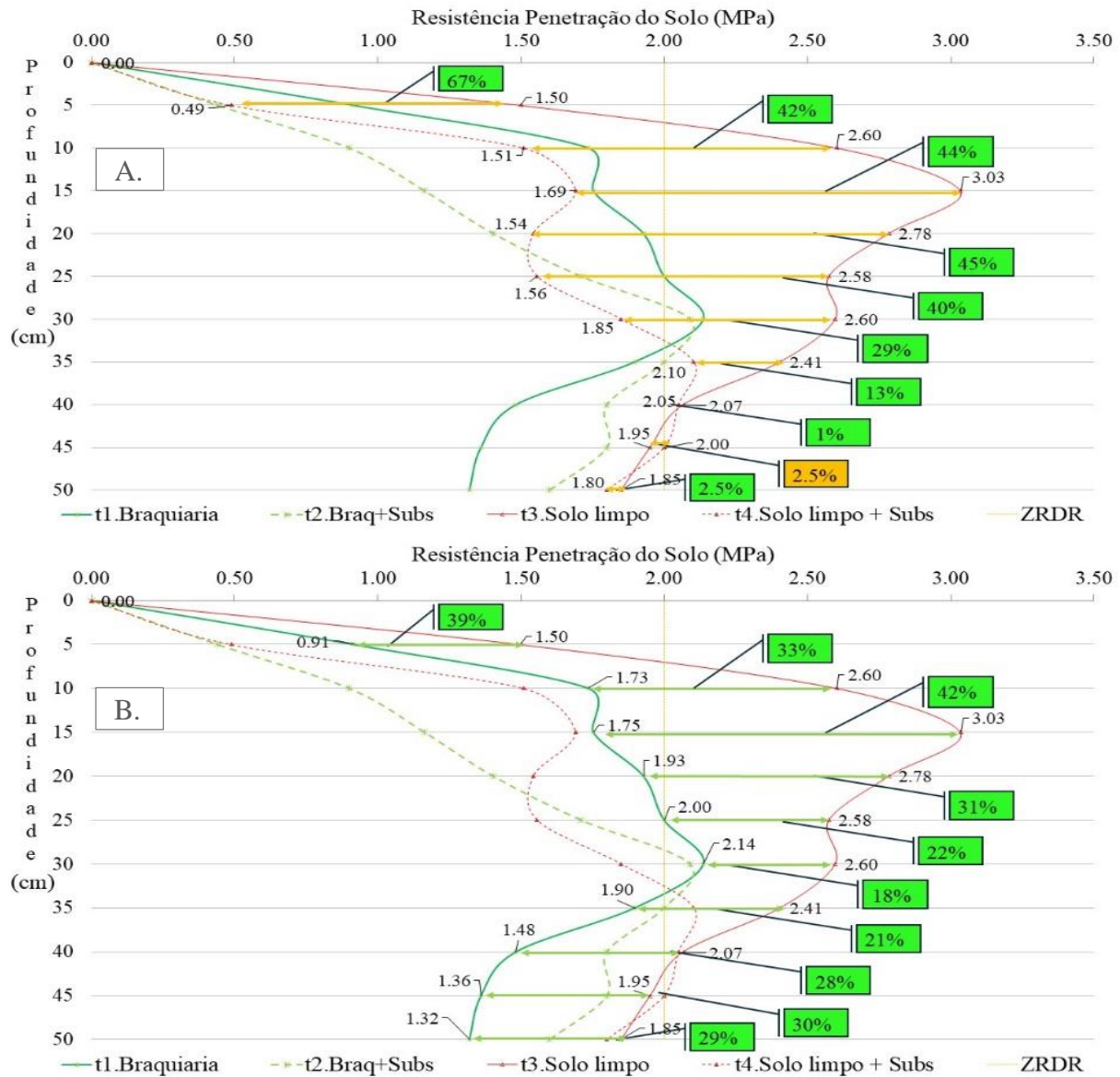


FIGURA 2. Índice de Cone unificado para os modelos de manejo do solo na cafeicultura. A. Comparativo percentual entre valores de resistência à penetração médio em cada profundidade entre o tratamento t3 solo limpo (referência) e t4 solo limpo + subsolador; B. Comparativo percentual entre valores de resistência à penetração médio em cada profundidade entre o tratamento t3 solo limpo (referência) e t1 solo coberto com Braquiária. ZRDR-Zona de Restrição ao Desenvolvimento Radicular.

Para descrever a distribuição da compactação dos solos nas lavouras, os mapas de isolinhas servem para descrever a distribuição espacial de cargas em profundidade nas entrelinhas do

cafeeiro. Os resultados indicaram que a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo apresentou efeito positivo na redução da resistência à penetração do solo. O comportamento da resistência à penetração do solo e as médias em cada local de trânsito estão descritos na Figura 3.

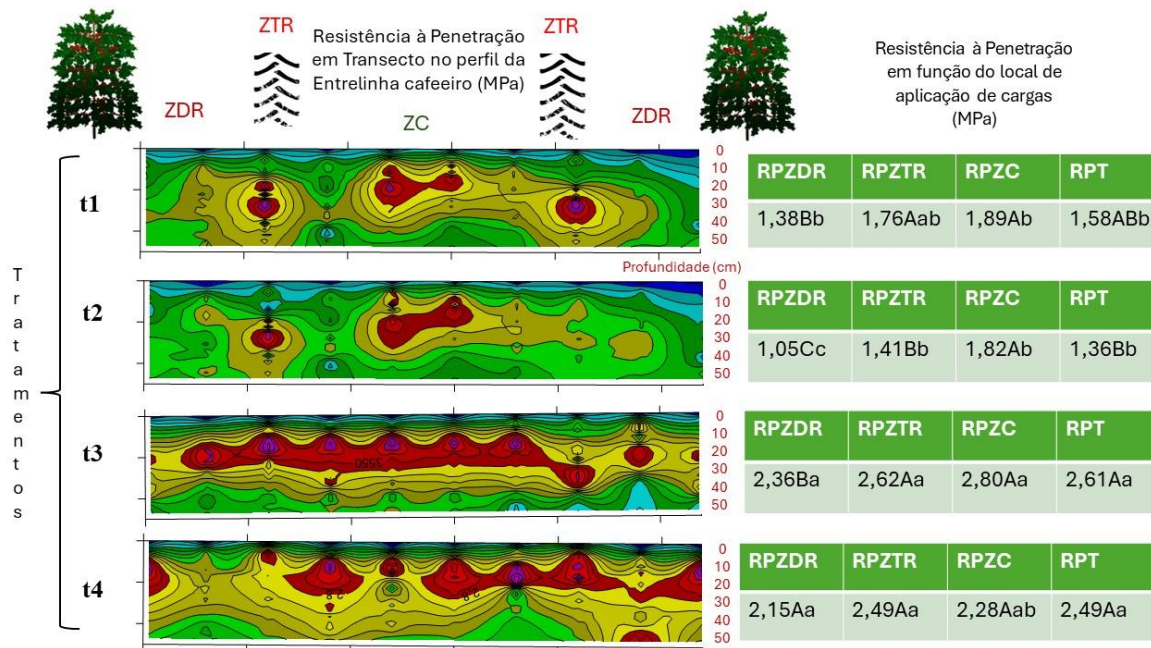


FIGURA 3. Resistência à penetração do solo (RPS) em transecto na entrelinha do cafeeiro com interpolação média via processo de Krigagem. Zona de Trânsito dos Rodados (ZTR); Zona central entrelinha (ZC); Zona desenvolvimento Radicular (ZDR); RPS nas zonas de desenvolvimento radicular (RPZDR); tráfego de rodados (RPZTR); centro da entrelinha (RPZC) e resistência à penetração total (RPT). *médias com letras iguais - maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas - indicam diferença significativa pelo Tukey test ($p < 0,05$).

A presença de braquiária nas entrelinhas afeta a dinâmica de dissipação de cargas, possivelmente pela rede de poros e dinâmica de água em profundidade, além de atenuar a resistência à penetração do solo (GALDOS et al., 2020), isso tem sido reportado como bio-subsolagem (PULIDO-MONCADA et al., 2020). Verifica-se em t1, que as maiores resistências à penetração estão localizadas na zona de trânsito de rodados e na zona central da entrelinha do cafeeiro. Lacerda et al. (2022) inferiram que as máquinas aplicam severas cargas nas entrelinhas do cafeeiro, principalmente em condições de umidade elevadas. As zonas em vermelho indicam os pontos com maiores resistências à penetração do solo e sua localização em profundidade. É possível observar uma atenuação da compactação do solo nas camadas superficiais nos tratamentos t1 e t2, isso ocorre em função da presença de braquiária, que modifica a dinâmica de crescimento radicular e melhora as condições de absorção do cafeeiro (SILVA et al., 2021). Além disso, a cobertura vegetal atua como agente atenuante da compactação, aumentando as áreas de contato com os rodados, reduzindo a pressão aplicada no solo (MARQUES FILHO et al., 2022), promove maior diversidade enzimática e biológica em subsuperfície (SOUZA et al., 2024) e pode incrementar a produtividade (VOLTOLINI et al., 2023). Em t2, observa-se que o processo de subsolagem foi capaz de atenuar a compactação em subsuperfície, quebrando bulbos formados logo abaixo da zona de trânsito dos rodados. As menores resistências à penetração do solo foram obtidas em t2 e t1 com 1.36 e 1.58 MPa, respectivamente, isso indica que a manutenção da cobertura do solo e a subsolagem são eficientes em reduzir a compactação crítica do solo para valores abaixo de 2MPa. Os tratamentos t3 e t4 apresentaram as maiores

resistências à penetração com 2.61 e 2.49 MPa respectivamente. Nossos resultados indicam que a supressão de vegetação do solo pode causar um processo de desagregação de sua estrutura superficial, isso fica evidente em t3, onde uma camada adensada é formada logo abaixo da camada superficial, se estendendo, desde o centro da entrelinha até a zona de desenvolvimento radicular do cafeeiro. As maiores compactações foram obtidas no centro das entrelinhas de solo descoberto. Verificou-se que, mesmo com a subsolagem, as médias de resistência à penetração do solo permaneceram estatisticamente iguais no solo descoberto. Quando comparamos o solo descoberto subsolado (t4) com o solo com cobertura vegetal sem subsolagem (t1), verificamos uma redução na compactação total. Importante destacar que em t1, não ocorreu nenhuma operação mecanizada, e o efeito de descompactação do solo pode ser atribuído ao sistema radicular agressivo da braquiária. Novos modelos de investigação da compactação do solo e sua distribuição espacial na cafeicultura têm sido estudados (BENTO et al., 2024), com a possibilidade de mapear a compactação do solo através de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's) e técnicas de geoestatística avançadas, isso evidencia a importância em reconhecer, avaliar e adotar métodos para mitigar a compactação do solo na cafeicultura moderna.

CONCLUSÕES: A cobertura vegetal com braquiária nas entrelinhas do cafeeiro teve efeito positivo na redução da compactação do solo. A subsolagem foi eficaz em controlar a compactação até 40cm de profundidade, abaixo desta camada o subsolador não teve efeito significativo em mobilização do solo. A redução média na resistência à penetração do solo com o subsolador foi de 28,1%, essa redução, na área com braquiária em cobertura foi de 29,3%, dessa forma, a braquiária apresentou maior eficiência de descompactação do solo nas entrelinhas do café. As maiores resistências à penetração do solo foram encontradas nas áreas de solo descoberto, na zona de tráfego de máquinas, seguidas pelo centro das entrelinhas. A manutenção da braquiária nas entrelinhas mostra-se como alternativa viável para atenuar a compactação dos solos e reduzir custos operacionais, dispensando a operação mecanizada de subsolagem.

AGRADECIMENTOS: Agradecimentos para Embrapa Café - Consórcio Pesquisa Café (projeto 10.18.20.041.00.00) pelo apoio recebido para execução do projeto.

REFERÊNCIAS: AZEVEDO, R. P., CORINTO, L. M., PEIXOTO, D. S., DE FIGUEIREDO, T., SILVEIRA, G. C. D., PECHE, P. M., SILVA, B. M. Deep tillage strategies in perennial crop installation: Structural changes in contrasting soil classes. *Plants*, 11(17), 2255, 2022.
BENTO, N. L., SILVA FERRAZ, G. A. E., SANTANA, L. S., DE OLIVEIRA FARIA, R., DA SILVA AMORIM, J., DE LOURDES OLIVEIRA E SILVA, M., ALONSO, D. J. C. Soil compaction mapping by plant height and spectral responses of coffee in multispectral images obtained by remotely piloted aircraft system. *Precision Agriculture*, 25(2), 729-750, 2024.
BRESCIANI, L., FREITAS, C. C. G., DO RÊGO BARROS, F. M., ANDREOTE, F. D., & DINI-ANDREOTE, F. Partitioning the effects of coffee-Urochloa intercropping on soil microbial properties at a centimeter-scale. *Applied Soil Ecology*, 195, 105264, 2024.
FRANCO JUNIOR, K. S., CALEGARI, A., DE SOUZA DIAS, M., & BRIGANTE, G. P. Distance of brachiaria management in between the rows of coffee trees. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 17(1), 2023.
GALDOS, M. V., BROWN, E., ROSOLEM, C. A., PIRES, L. F., HALLETT, P. D., MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. *Scientific Reports*, 10(1), 5072, 2020.
HUSSEIN, Shahab A.; HUSSEIN, Mahmood A.; AL-RIJABO, Saad A. Mechanization Assessment of Soil Compaction Induced by Traffic of Farm Machinery. In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2023. p. 012051

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**, v.194, 104293, 2019.

LACERDA, K. S., VARGAS, R. C., RIBEIRO, K. M., DIAS, M. D. S., RIBEIRO, K. D., & ABREU, D. D. Load-bearing capacity and critical water content of the coffee plantation soil with management in full sun and shaded. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46, e0220051, 2022.

MARQUES FILHO, A. C., DE MEDEIROS, S. D. S., MARTINS, M. B., DOS SANTOS MOURA, M., LANÇAS, K. P. Can the straw remaining on the ground reduce the wheelsets impact on sugarcane crop? **Sugar Tech**, 24(6), 1814-1820, 2022.

MINHAS, W. et al. Weed infestation and productivity of wheat crop sown in various cropping systems under conventional and conservation tillage. **Frontiers in plant science**, v. 14, p. 1176738, 2023

PULIDO-MONCADA, M., KATUWAL, S., REN, L., CORNELIS, W., MUNKHOLM, L. Impact of bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. **Geoderma**, 363, 114154, 2020.

SANTOS et al. **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos**, EMBRAPA, 5ed., Brasília, 2018.

SCHJØNNING, Per et al. The challenge in estimating soil compressive strength for use in risk assessment of soil compaction in field traffic. **Advances in Agronomy**, v. 178, p. 61-105, 2023.

SILVA, R. F.; SEVERIANO, E.; OLIVEIRA, G. C.; BARBOSA, S. M.; PEIXOTO, D. S.; TASSINARI, D.; FIGUEIREDO, T. D. A. F. R. Changes in soil profile hydraulic properties and porosity as affected by deep tillage soil preparation and Brachiaria grass intercropping in a recent coffee plantation on a naturally dense Inceptisol. **Soil and Tillage Research**, v.213, n.1, p.105127, 2021.

SOUSA, T. R., DE CARVALHO, A. M., RAMOS, M. L. G., DE OLIVEIRA, A. D., DE JESUS, D. R., DA FONSECA, A. C. P., MARCHÃO, R. L. Dynamics of Carbon and Soil Enzyme Activities under Arabica Coffee Intercropped with Brachiaria decumbens in the Brazilian Cerrado. **Plants**, 13(6), 835, 2024.

VOLTOLINI, G. B., VILELA, M. S., ALECRIM, A. D. O., SILVA, L. C. D., JOSÉ GUIMARÃES, R., NETTO, P. M., REZENDE, T. T. Techniques for sustainable coffee crop management: impacts on growth and yield. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 69(12), 2413-2429, 2023.