IMPACTO DA COMPACTAÇÃO EM PROPRIEDADES DO SOLO SOB TRÁFEGO CONTROLADO

Palavras-Chave: Compactação do Solo, Curva de Retenção, Modelagem Numérica, Porosidade, COMSOL

Autores(as):

Aluno(a): João Victor de Souza Pereira, FEAGRI - UNICAMP

Orientador(a): Prof. Dr. Renato Paiva de Lima FEAGRI - UNICAMP

Coorientador(a): Dr. Diego Alexander Aguilera Esteban FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A intensificação da mecanização agrícola tem provocado alterações significativas na estrutura do solo, especialmente em áreas com cultivo intensivo como a cana-de-açúcar. O tráfego repetido de máquinas pesadas nas entrelinhas compacta o solo, aumentando sua densidade e reduzindo a condutividade hidráulica do solo saturado, o que compromete a infiltração de água e a disponibilidade hídrica para as plantas. Esses efeitos afetam diretamente o desenvolvimento do sistema radicular e o desempenho das culturas.

Nesse contexto, a adoção do tráfego controlado surge como uma estratégia promissora para mitigar os efeitos negativos da compactação, ao restringir o deslocamento das máquinas a faixas previamente definidas. Com isso, preserva-se a estrutura do solo nas faixas de cultivo, mantendo níveis mais adequados de densidade e condutividade hidráulica, estudos como o de Esteban et al. (2019) demonstram que o tráfego controlado pode melhorar o desenvolvimento radicular e o rendimento da cultura da cana-de-açúcar. Avaliar a influência do tráfego controlado sobre esses atributos físicos é essencial para o manejo sustentável do solo e para a produtividade agrícola em sistemas mecanizados. O objetivo desse estudo foi avaliar o impacto do tráfego mecanizado nas propriedades físicas do solo, com ênfase na densidade do solo e na condutividade hidráulica saturada, comparando linhas trafegadas e entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar.

METODOLOGIA:

A área experimental localiza-se na Usina Cerradão, no município de Frutal-MG (19º56’41” de latitude Sul e 49º07’30” de longitude Oeste), sob cultivo de cana-de-açúcar em sistema convencional.

Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 10 cm, tanto na linha de plantio (menos compactada) quanto na entrelinha (área de tráfego de máquinas). Foram utilizadas amostras deformadas para caracterização granulométrica e curvas de retenção de água, e amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, porosidade total e condutividade hidráulica saturada.

Foram obtidas 6 repetições para cada condição (linha e entrelinha), das quais 3 foram destinadas à caracterização da curva de retenção de água e 3 à medição da condutividade hidráulica. As análises seguiram metodologias consolidadas: granulometria pelo método da pipeta, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Gee & Or, 2002), e determinação da curva de retenção de água com uso de placas de pressão em tensões de 10 a 15.000 hPa. A condutividade hidráulica foi obtida pelo método da carga variável com o sistema KSAT.

As curvas de retenção de água foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o pacote **soilphysics** no software **R** para ajuste dos parâmetros α e n, além dos valores de umidade na saturação (θs) e no ponto de murcha permanente (θr), seguindo abordagens similares às adotadas em estudos com o software HYDRUS-1D (Simunek et al., 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

1. Caracterização Física do Solo

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise granulométrica, densidade do solo (DS) e densidade de partículas (Dp). Observa-se que a textura é arenosa, com 63% de areia, 7% de silte e 30% de argila, tanto na linha quanto na entrelinha, indicando uniformidade textural entre os pontos amostrados.

Tabela 1. Caracterização granulométrica, densidade do solo e densidade de partículas em área de cana-de-açúcar na usina Cerradão.

	DS (Mg m^{-3})	Dp (Mg m^{-3})	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Linha	1,22	2,56	63	7	30
Entrelinha	1,42	2,56	63	7	30

A densidade do solo na entrelinha foi significativamente maior (1,42 Mg/m³), o que implica em menor porosidade total e, consequentemente, menor fração de poros de aeração. Este resultado evidencia o efeito do tráfego de máquinas na compactação superficial.

2. Curvas de Retenção de Água e Ks

A Tabela 2 mostra os parâmetros da curva de retenção e condutividade hidráulica saturada ajustados. Os dados indicam menor teor de umidade na saturação (θs) e Ks na entrelinha, valores esses que estão dentro da faixa relatada para solos similares em bancos de dados nacionais (Ottoni et al., 2025).

Tabela 2. Parâmetros da curva de retenção e condutividade hidráulica do solo saturado em área de cana-de-açúcar na usina Cerradão.

	θ_s (m^3 m^{-3})	θ_r (m^3 m^{-3})	α (hPa^{-1})	n (-)	K_s (cm/d)
Linha	0,527	0,041	0,079	1,246	201
Entrelinha	0,450	0,000	0,032	1,161	7

Esses resultados demonstram uma restrição significativa ao movimento da água no solo compactado. A redução do parâmetro α e do valor de Ks na entrelinha é indicativa de menor macroporosidade e menor conectividade dos poros, conforme também observado por Soracco et al. (2015) em estudos com tráfego de máquinas agrícolas.

CONCLUSÕES:

Os resultados evidenciam o impacto do tráfego mecanizado na estrutura física e hidráulica do solo cultivado com cana-de-açúcar. A maior densidade do solo e a expressiva redução da condutividade hidráulica saturada indicam compactação superficial e limitação ao fluxo de água, em comparação à linha de plantio. Esses efeitos reforçam a importância de estratégias de manejo, como o tráfego controlado, para mitigar a degradação estrutural do solo e preservar sua funcionalidade hidráulica em áreas agrícolas intensivamente mecanizadas, conforme avaliado por Esteban et al. (2024), que apontam riscos elevados de compactação em áreas de colheita mecanizada.

BIBLIOGRAFIA:

Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle‐size analysis. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods, 5, 255-293.

Simunek, J., M.Th. van Genuchten, and M. Sejna. 2005. HYDRUS-1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, version 3.0, HYDRUS software series 1. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA.

Van Genuchten, M. T. (1980). A closed‐form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44(5), 892-898.

Soracco, C. G., Lozano, L. A., Villarreal, R., Palancar, T. C., Collazo, D. J., Sarli, G. O., & Filgueira, R. R. (2015). Efeito da compactação do solo pelo tráfego de máquinas na configuração dos poros do solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 39, 408-415.

Esteban, D. A. A., de Souza, Z. M., Tormena, C. A., Lovera, L. H., de Souza Lima, E., de Oliveira, I. N., & de Paula Ribeiro, N. (2019). Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. Soil and Tillage Research, 187, 60-71.

Esteban, D. A. A., de Souza, Z. M., Tormena, C. A., dos Santos Gomes, M. G., Parra, J. A. S., Júnnyor, W. D. S. G., & de Moraes, M. T. (2024). Risk assessment of soil compaction due to machinery traffic used in infield transportation of sugarcane during mechanized harvesting. Soil and Tillage Research, 244, 106206.

Ottoni, M. V., Teixeira, W. G., Reis, A. M. H. D., Pimentel, L. G., Souza, L. R., Albuquerque, J. A., ... & Curi, N. (2025). Saturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate database for Brazilian soils. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 49, e0240003.