

COMPACTAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DO TRÁFEGO DE MÁQUINAS FLORESTAIS

Haroldo Carlos Fernandes¹, Sebastião Eudes Lopes²,
Daniel Mariano Leite³, Raquel Santana Milagres⁴, Larissa Nunes dos Santos⁵

Resumo: Objetivou-se com este trabalho determinar os valores da resistência do solo à penetração e da densidade do solo, devido às cargas aplicadas pelo arraste de madeira e dos rodados de duas máquinas florestais em áreas com plantio de eucalipto. O experimento foi conduzido com as máquinas trafegando vazia, uma e duas vezes carregadas. Os valores de umidade do solo não apresentaram diferenças significativas para as faixas de profundidade estudadas (0 – 0,15, 0,15 – 0,30 e 0,30 – 0,50 m). Na faixa de 0 a 0,15 m de profundidade, apenas o Track Skidder, vazio (TS.V), não registrou efeito nos valores de densidade do solo. Os tratamentos que apresentaram valores dentro da faixa de inibição de crescimento do sistema radicular do eucalipto foram o Track Skidder trafegando duas vezes carregado (TS.C2), com 1.27 Kg dm⁻³ com 1.32 Kg dm⁻³ para o Clambunk trafegando uma vez carregado (CL.C1) e 1.37 Kg dm⁻³, para o Clambunk carregado, trafegando duas vezes (CL.C2). Para 0,15 – 0,30 m de profundidade, somente o Clambunk carregado duas vezes (CL.C2) registrou alterações nos valores de densidade do solo prejudicial ao crescimento do eucalipto. Nenhum dos tratamentos registrou valores prejudiciais ao desenvolvimento radicular do eucalipto na profundidade de 0,30 a 0,50 m.

PALAVRAS CHAVES: Track Skidder; Clambunk; densidade do solo; penetrógrafo

¹Professor Associado. Departamento de Engenharia Agrícola / UFV – Viçosa, MG – CEP: 36570-000. E-mail: haroldo@ufv.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Mecânico. D. Sc. em Engenharia Agrícola. Indústria Jatiboca – Ponte Nova, MG.

³Doutorando em Engenharia Agrícola, Laboratório de Mecanização Agrícola – UFV, Viçosa, MG.

⁴Graduanda em Agronomia, Laboratório de Mecanização Agrícola – UFV, Viçosa, MG.

⁵Mestranda em Engenharia Agrícola, Laboratório de Mecanização Agrícola – UFV, Viçosa, MG.

SOIL COMPACTION IN FUNCTION OF TRAFFIC FOREST MACHINES

Abstrat: It was objectified with this work to determine the values of the resistance of the ground to the penetration and the density of the ground, had to loads applied it drags for it wooden and of the twirled ones of two forest machines in areas with plantation of eucalyptus. The experiment was lead with the machines passing through empty, one and two loaded times. The values of humidity of the ground had not presented significant differences for the depth bands study (0 – 0.15, 0.15 – 0.30 and 0.30 – 0.50 m). In the band of 0 the 0.15 m, only the Track Skidder, emptiness (TS.V), did not register effect in the values of density of the ground. The treatments that had inside presented values of the band of inhibition of growth of the system to root of eucalyptus had been: the Track Skidder passing through two times loaded (TS.C2), with 1.27 Kg dm^{-3} , 1.32 Kg dm^{-3} for the Clambunk passing through a loaded time (CL.C1) and $1. \text{ Kg dm}^{-3}$, for the loaded Clambunk, passing through two times (CL.C2). For 0.15 – 0.30 depth m, the loaded Clambunk two times (CL.C2) only registered alterations in the values of density of the ground harmful to the growth of eucalyptus. None of the treatments registered harmful values to the development to root of eucalyptus in the depth of 0.30 the 0.50 m.

KEY WORDS: Track Skidder; Clambunk, soil density; penetrometer

INTRODUÇÃO

O uso sistemático de práticas inadequadas, como o desmatamento indiscriminado, as queimadas e a excessiva mobilização do solo contribuíram para que as áreas agricultáveis fossem se degradando, pouco a pouco. O aumento significativo do uso de máquinas na produção agrícola e florestal trouxe vários problemas de ordem ambiental aos recursos hídricos e edáficos.

As normas sobre a preservação dos recursos naturais estão obrigando as empresas do setor a manifestarem interesses na identificação, quantificação e minimização dos efeitos de suas atividades sobre o meio ambiente, ou seja, as empresas terão que conduzir suas atividades de maneira condizente com o desenvolvimento florestal sustentável.

A compactação do solo pode ser definida como sendo a ação mecânica por meio da qual se impõe a esse uma redução de seu índice de porosidade, que pode ser definido com a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (SEIXAS, 2000). Os poros perdidos com o efeito da compactação são na maioria macroporos, que são importantes na movimentação de água e ar.

Estando o solo compactado, a resistência mecânica aumenta devido a redução a porosidade total, em função da perda dos espaços vazios. A resistência do solo à penetração é um parâmetro dinâmico, que depende da densidade do solo, do teor de água e do tipo de solo. A textura do solo tem influência nos valores da resistência do solo à penetração; o teor de água existente no solo é fator crucial para a determinação dos valores de resistência.

De acordo com ALMEIDA (2008), os valores de resistência à penetração ao longo do perfil do solo, antes e depois do preparo, constituem um meio para verificar o grau de mobilização do solo, identificar camadas adensadas, determinar a eficiência de equipamentos e avaliar o potencial para o desenvolvimento de raízes. A resistência do solo à penetração é um parâmetro muito utilizado, por ser um método bastante prático

e pela facilidade de coleta no campo, possibilitando grande número de pontos de amostragem. Como desvantagens podem ser citadas a falta do controle de umidade e a presença de raízes e pedras, que podem afetar as leituras.

A resistência média é denominada índice de cone e determinada até à profundidade de interesse. Para avaliar a resistência mecânica do solo à penetração, são utilizados os penetrógrafos, que podem ser de dois tipos: estático, que é pressionado à velocidade constante no solo; e de impacto, que é introduzido no solo pelas batidas de um peso (VIERA, 1992).

O penetrógrafo estático tem sido o mais usado e registra, continuamente, em gráfico, a resistência à penetração em relação à profundidade. Tais leituras é o resultado de vários processos em conjunto, como corte do solo, cisalhamento, fluxo plástico, compressão e fricção metal-solo (HILLEL, 1980).

LIMA et al. (2001) avaliaram o comportamento da resistência do solo à penetração, em trilhas, nas entre linhas de plantio de eucalipto, em função da profundidade e do teor de água no solo. O sistema de colheita avaliado foi composto de um trator florestal derrubador-amontoador (Feller Buncher), de pneus diagonais, e de

um trator florestal arrastador (Skidder), com pneus de baixa pressão. Segundo esses autores, a resistência do solo à penetração variou após o tráfego dos equipamentos e a variação mais acentuada ocorreu na profundidade de 0-10 cm, sendo crescente com o aumento da profundidade.

O contato rodado/solo é extremamente complexo e depende de uma grande quantidade de parâmetros. As características dos rodados e da superfície do solo é que determinam a pressão a ser exercida e sua distribuição no solo (GOERING et al., 2006).

Segundo FERNANDES (1997), o trator de pneu aplica pressões maiores na superfície e em profundidade do que a exercida por uma máquina de esteira com mesmo peso total. De acordo com SEIXAS (2000), a duplicação dos pneus reduz significativamente a compactação do solo para diferentes profundidades.

Uma das maneiras de reduzir os problemas de compactação pelos rodados de um trator é o uso de pneus duplos, mas esse procedimento não elimina totalmente o efeito da compactação, porque há efeitos de compactação de um pneu sobre o outro. A compactação sob rodados duplos será menor em profundidade, porém será maior em

extensão superficial, já que a área afetada será maior (GOERING et al., 2006).

Analisando a compactação de solos florestais, SILVERSIDES e SUNDBERG (1989) concluíram que a área de contato do pneu com o solo sofre acréscimo quando se aumenta a carga sobre o rodado. No entanto, afirmam que a pressão sobre o solo não sofre alteração, pois o aumento na área de contato é proporcional ao acréscimo da carga.

De acordo com SILVERSIDES e SUNDBERG (1989), independentemente das características do solo, 90% da carga dinâmica sobre o pneu é aplicada verticalmente sobre a superfície do solo; os outros 10% deslocam-se para as laterais. A pressão aplicada ao solo é igual a 1,1 vez a pressão interna de inflagem do pneu, em solos florestais.

BLACKWELL e SOANE (1981) concluíram que a forma mais efetiva de se reduzir a compactação, necessita não somente do emprego mínimo de carga, mas de uma área máxima de contato dos rodados com o solo.

Estudos de compactação do solo realizados por GREACEN e SANDS (1980), em operações florestais mecanizadas, na Austrália, detectaram pressão entre 85 e 100 kPa, para o Skidder. As medições foram realizadas dividindo-se a massa total da

máquina pela área de contato com o solo; as interferências, como as causadas pelo movimento da máquina e as geradas pelo peso da madeira, foram desprezadas.

RAGHAVEN et al. (1977) constataram que o deslizamento dos pneus, tanto em tratores agrícolas quanto florestais, contribui para a compactação do solo. A pressão gerada no solo no deslizamento pode ser considerada maior do que a pressão dos rodados. As pressões dos rodados estão concentradas no solo sob a banda de rodagem. Segundo GABRIEL FILHO et al. (2010), o deslizamento do pneu influencia mais a compactação do solo do que o tamanho do pneu ou a pressão interna de inflagem.

GREACEN e SANDS (1980) determinaram a compactação do solo sob cargas de 16 toneladas, a 50-60 cm de profundidade. O movimento do solo foi detectado a 1,20 m de profundidade. Eles concluíram que, para profundidades maiores ou iguais a 40 cm, o tráfego de máquinas com cargas elevadas é decisivo para a magnitude da compactação. Em profundidades menores, a redução da compactação pode ser obtida usando-se equipamentos com pneus de baixa pressão superficial.

O efeito do tráfego dos tratores florestais sobre o solo é maior nas primeiras passadas, e o aumento da densidade do solo, nas trilhas de tráfego, está relacionado com o número de passadas, os tipos de rodado, o tipo de máquina utilizada no sistema de colheita e o teor de matéria orgânica do solo (SEIXAS, 2000). A carga dinâmica, a pressão interna dos pneus e as múltiplas passadas afetam a densidade do solo, variando-a significativamente de acordo com o tipo de solo.

A influência do número de passadas dos rodados de um Forwarder no nível de compactação de um solo, analisado segundo a sua densidade, ocorreu, conforme FERNANDES et al. (1997), depois da primeira passada, voltando a ocorrer novamente após a nona. Também observaram que o número de passadas não influenciou significativamente os valores de resistência do solo à penetração.

LIMA (2001) avaliando os efeitos do tráfego de máquinas florestais no nível de compactação do solo, na colheita de madeira, observou que antes do tráfego dos tratores na área de corte, o solo apresentava-se com maior densidade, menor porosidade e menor condutividade hidráulica saturada do solo, no nível de 20-30 cm de profundidade. Em relação aos demais níveis estudados, o

autor concluiu que o efeito do tráfego dos tratores no solo é maior nas primeiras passadas, estando relacionado com a operação de corte realizada pelo Feller Buncher, fato este detectado devido à sua movimentação, com o cabeçote carregado, várias vezes em um mesmo local.

As características físicas e químicas do solo são diretamente afetadas pelo tipo de manejo a que este é submetido. GUIMARÃES et al., (2002) consideram que o sistema de manejo do solo altera as suas propriedades físicas e mecânicas com diferentes níveis de compactação, em função da umidade, dos diferentes tipos de solos e época de realização das operações mecanizadas. O tráfego intenso de veículos pesados modifica a sua estrutura, causando rompimento das resistências naturais que se encontram interligadas por forças de atração e repulsão, alterando o fluxo de água, reduzindo a produtividade da floresta e aumentando os níveis de erosão, já que geralmente reduz a taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial, uma vez que a velocidade da água depende do tamanho dos poros (SEIXAS, 2000).

Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho determinar a variação dos valores da resistência do solo à penetração e densidade do solo causado pelo tráfego do

Clambunk e do Trak-Skidder no arraste de madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em áreas de operação de colheita florestal, em povoamento de eucaliptos, pertencentes a uma empresa de celulose, localizada no município de Belo Oriente M.G., com altitude variando entre 600 e 800 m, latitude de 19° 22' 17'' sul e longitude de 42° 28' 18'' WGr. O solo da região foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa.

A análise granulométrica foi determinada segundo NBR-7181 da ABNT (1982).

O experimento foi conduzido utilizando-se: um Trator Arrastador (Clambunk), com esteiras nos rodados pneumáticos, modelo 1710, potência de 210hp (156,7 kW), massa de 20,8 t, equipado com lâmina frontal (Bulldozer), e um Trator Arrastador com esteiras de metal (Track-Skidder), modelo 527, potência de 150 hp (112 kW), massa de 21,5 t, equipado com lâmina frontal (Bulldozer), arco acumulador da marca ESCO, com área útil de 0,93 m², montado em braço articulado (Swing Boom).

Os tratamentos foram definidos (conforme a Tabela 1), relacionado o número de passadas (vazia, tráfego 1 vez

carregada e tráfego 2 vezes carregada) com o tipo de máquina.

Tabela1 - Diferentes condições avaliadas no arraste de madeira em campo.

Tratamento	Descrição
TS.V	TRACK SKIDDER VAZIO
TS.C1	TRACK SKIDDER CARREGADO 1 VEZ
TS.C2	TRACK SKIDDER CARREGADO 2 VEZES
CL.V	CLAMBUNK VAZIO
CL.C1	CLAMBUNK CARREGADO 1 VEZ
CL.C2	CLAMBUNK CARREGADO 2 VEZES
TEST	LINHA SEM TRÁFEGO

Para determinação da umidade do solo foram coletadas amostras indeformadas por meio do método do anel volumétrico (Ulland), em três profundidades do perfil do solo (0 – 0,15 m; 0,15 – 0,30 m e 0,30 – 0,50 m), em 4 pontos igualmente espaçados de 10 m entre si e distribuídos ao longo da trilha. As coletas foram feitas em uma trilha por onde a máquina não passou (testemunha) e nas trilhas após a passada dos rodados da máquina. Após a coleta, as amostras foram colocadas em estufas durante 24 horas, a 105° C.

A densidade do solo foi calculada utilizando a seguinte expressão:

$$DS = \frac{MS}{VA} \quad (1)$$

em que,

DS - Densidade do solo (Kg dm⁻³);

MS - Massa do solo seco em estufa, a 105 °C (Kg); e

VA - Volume do anel (dm³)

Para a determinação da variação das propriedades físicas do solo, utilizou-se o delineamento experimental, em blocos casualizados, no esquema fatorial 2x3, sendo duas máquinas e três condições de tráfego. Cada bloco foi demarcado em uma área de 0,25 ha, sendo 50 m de comprimento e 50 m de largura. O estudo foi realizado em 3

faixas de profundidade, de 0 – 0,15 m, 0,15 – 0,30 m e 0,30 – 0,50 m. Utilizando-se o programa estatístico SAEG, versão 8.0, os dados foram submetidos às análises de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Os dados foram submetidos ao teste de DUNNETT, a de 5 % de probabilidade para comparar os tratamentos com a testemunha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi conduzido com os valores de umidade do solo para a faixa de profundidade de 0 – 0,15 m com 31,0 %, de 0,15 – 0,30 m com 29,5% e de 0,30 – 0,50 m com 29,0%, os valores não apresentaram efeito significativo nas diferentes profundidades estudadas.

Os valores médios de pressão de contato do Clambunk e Track Skidder estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores da pressão aplicada ao solo pelo rodado das máquinas e volume de madeira arrastado.

	Máquinas utilizadas	
	Track Skidder	Clambunk
Área de contato por esteira (m ²)	1,74 (x2)	1,95 (x4)
Pressão de contato (kPa)	61,86	26,67
Massa da máquina (t)	21,50	20,80
Área da pinça (m ³)	0,93	2,20
Volume médio arrastado (m ³)	8,80	21,0

Os valores encontrados demonstram que uso de esteiras nos pneus do Clambunk facilitou seu deslocamento e contribuiu na distribuição da carga no solo. Constatou-se que o volume transportado pelo Clambunk foi em média 2,5 vezes à carga do Track Skidder, com uma pressão de contato menor, devido ao número e às dimensões de seus pneus.

O perfil penetrométrico do solo na faixa de 0 – 0,15 m de profundidade evidenciou a diferença entre os valores de

resistência do solo à penetração dos rodados das máquinas em relação ao local de arraste de madeira (Figuras 3 e 4). Não houve interação significativa entre os pontos de arraste e rodados com a condição de tráfego, uma e duas vezes carregado, para essa profundidade.

Na Figura 5 é representado o comportamento das máquinas para o perfil de 0,30 – 0,50 m. Neste perfil o tráfego do Clambunk apresentou efeitos significativos, sendo duas vezes carregado o de maior

efeito. O arraste da madeira e os rodados do Track Skidder não registram efeito significativo nos valores de resistência do solo à penetração nessa profundidade.

Como o volume de madeira arrastado pelo Clambunk foi superior ao arrastado pelo

Track Skidder, esperava-se uma interferência desse volume nos valores de resistência do solo à penetração para todos os perfis do solo estudado; no entanto, esse comportamento foi observado apenas para essa profundidade.

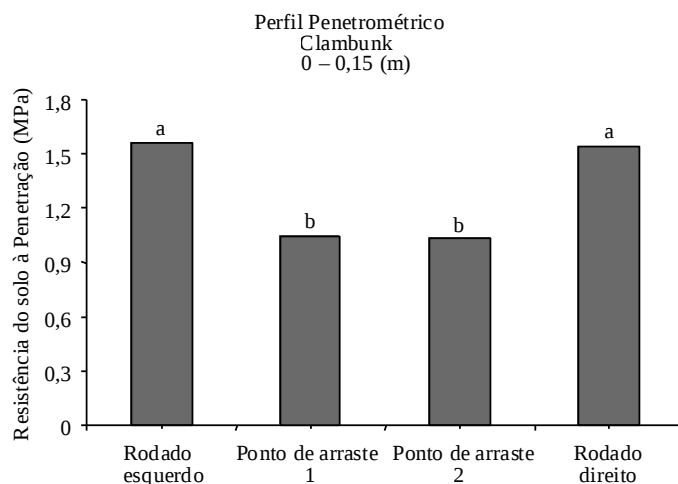


Figura 3 - Valores de resistência do solo à penetração entre os sulcos formados pelos rodados e o local de arraste das árvores. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

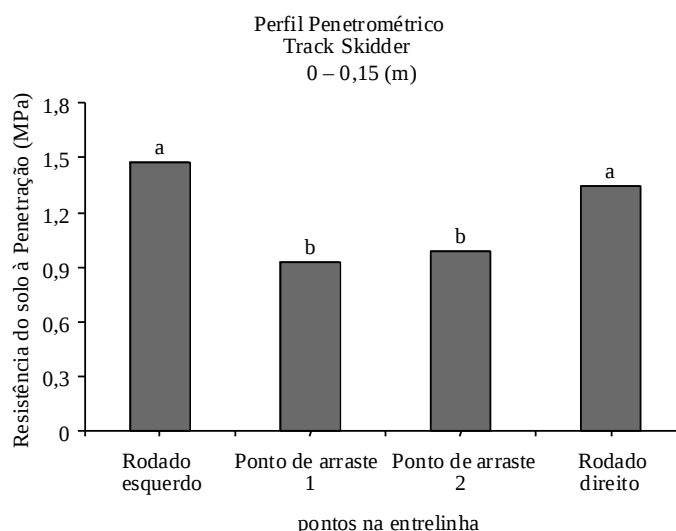


Figura 4 - Valores de resistência do solo à penetração entre os sulcos formados pelos rodados e o local de arraste das árvores. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

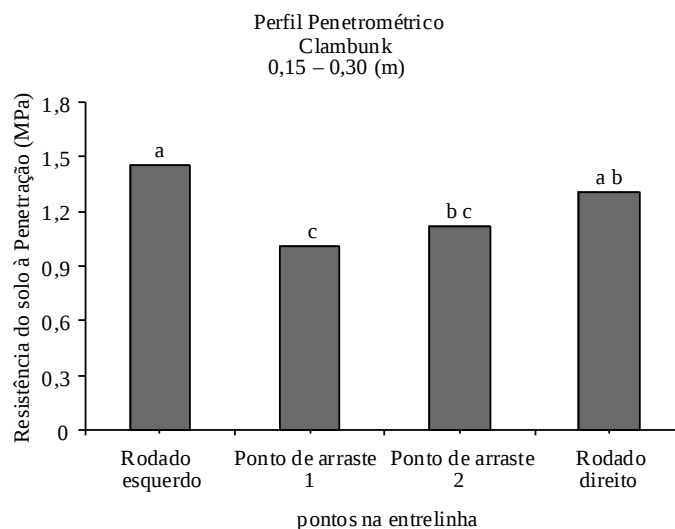


Figura 5 - Valores de resistência do solo à penetração entre os sulcos formados pelos rodados e o local de arraste das árvores. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Para 0,30 – 0,50 m de profundidade, o rodado esquerdo do Track Skidder apresentou maior efeito sobre os pontos de arraste e o rodado direito, que não evidenciou diferença para o ponto de arraste 2. O perfil do Clambunk apresentou semelhança nas faixas de 0,15 – 0,30 e 0,30 – 0,50 m de profundidades; os valores registraram um comportamento semelhante para os rodados e os pontos de arraste, destacando a diferença do rodado esquerdo com os pontos de arraste.

Para os fatores máquinas e condição de tráfego não foi registrado interação significativa em relação à densidade do solo, nas profundidades analisadas. Os efeitos causados pelo tráfego das máquinas foram evidenciados quando se comparou os

tratamentos (locais de tráfego) com a testemunha (locais sem tráfego).

Na profundidade superficial do solo (0 – 0,15 m), apenas o TS.V não registrou efeito nos valores de densidade do solo. Para 0,15 – 0,30 m de profundidade, os tratamentos CLV1 e CLV2 registraram alterações nos valores de densidade do solo, ou seja, o Clambunk carregado uma ou duas vezes interferiu na densidade do solo, sendo duas vezes carregado a de maior impacto. Para a faixa de 0,30 – 0,50 m de profundidade os tratamentos TS.C1, CL.V e CL.C1 não registraram efeitos.

As Figuras 6, 7 e 8 representam a diferença entre os tratamentos e a testemunha analisados pelo teste de Dunnett a 5 % de significância.

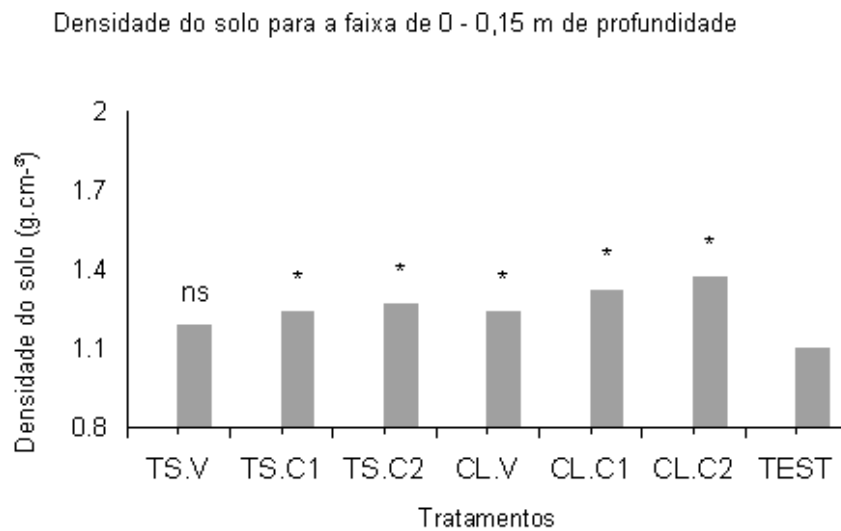


Figura 6 - Valores médios de densidade do solo na faixa de 0 – 0,15 m de profundidade. (ns) Não significativo ou (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

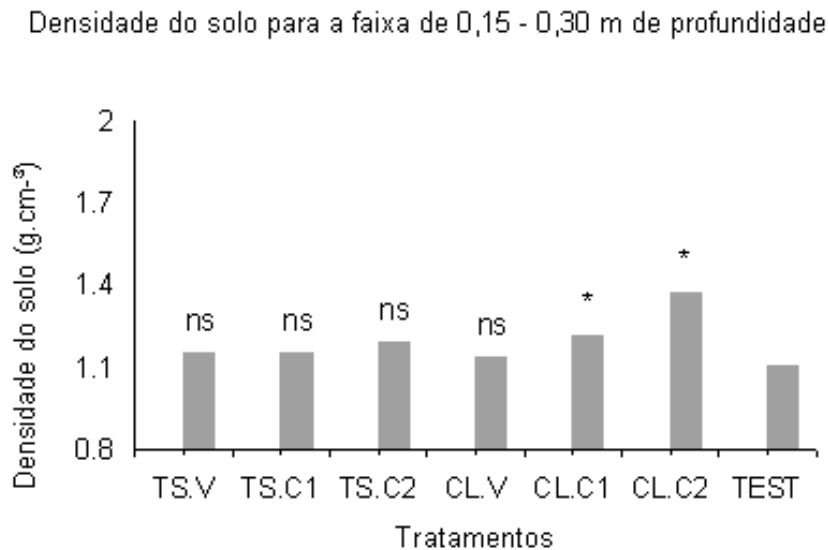


Figura 7 - Valores médios de densidade do solo na faixa de 0,15 - 0,30 m de profundidade. (ns) Não significativo ou (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

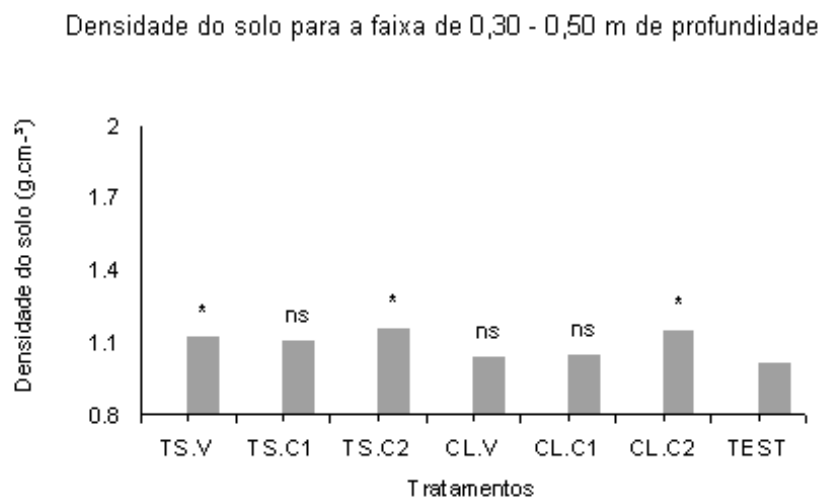


Figura 8 - Valores médios de densidade do solo na faixa de 0,30 - 0,50 m de profundidade. (ns) Não significativo ou (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

CONCLUSÕES

Os valores encontrados neste trabalho mostram que para a faixa de 0 – 0,15 m de profundidade os tratamentos TS.C2 , CL.C1 e CL.C2 apresentaram valores dentro da faixa de inibição do crescimento do sistema radicular do eucalipto, com valores para densidade do solo de 1,27 Kg dm⁻³, 1.32 Kg dm⁻³, e 1.37 Kg dm⁻³ respectivamente.

Na faixa de 0,15 – 0,30 e 0,30 – 0,50 m de profundidade, apenas o tratamento CL.C2 registrou valores considerados prejudiciais ao solo e ao sistema radicular das árvores caso deseje-se a rebrota.

O Clambunk, quando carregado, é a máquina que em todas as faixas de profundidade causou uma maior compactação do solo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, n.6, p. 2235-2243, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – análise granulométrica**: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1982. 16p.

BLACKWELL, P. S.; SOANE, B. D. A method of predicting buck density changes in field soils resulting from compaction by agricultural traffic. **Journal of Soil Science**, v. 32, p.51 - 65, 1981.

FERNANDES, H. C.; ORLANDO, R. C.; LANÇAS, K. P. Compactação do solo em relação à exploração florestal: influência do “Forwarder” e do “Harvester”. **Engenharia na Agricultura**, v.5, n.4, p. 276 - 280, 1997.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p. 333-339, 2010.

GOERING, C. E.; STONE, M. L.; SMITH, D. W.; TURNQUIST, P. K. **Off-road vehicle engineering principles**. St. Joseph: ASAE, 2006. 474p.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils, a review. **Journal of Soil Research**, v.17, n.2, p 163-89, 1980.

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

HILLEL, D., **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, p. 401- 413, 1980.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; OLIVEIRA, P. C.; MARTINS FILHO, S. Estudo do comportamento da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego na colheita de madeira. In: Simpósio Brasileiro de sobre colheita e transporte de madeira florestal, 5, 2001, Porto Seguro. **Anais...** Viçosa: SIF, 2001. p. 281-289.

RAGHAVAN, G. S. V.; McKYES, E.; BEAULINEU, B. Prediction of clay soil compaction. **Journal Terramechanics**, v.14, n.1, p.31-8, 1977.

SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à colheita de madeira.** Piracicaba, 2000, 75p. Tese (Livre - docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

SILVERSIDES, C, R. e SUNDBERG, U. **Operation Efficiency in Forestry.** v. 2. Practive, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989, 169 p.

VIEIRA, L.B. **Análisis de los factores que influyen en el comportamiento de un motocultor con apero rotativo en el laboreo del suelo.** Madri: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1992.221 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Escuela Técnica Superior de de Ingenieros agrónomos, 1992.