

Compactação de um latossolo submetido ao tráfego do "Clambunk"¹

Compaction of a latosol subjected to the Clambunk traffic

Sebastião Eudes Lopes², Haroldo Carlos Fernandes³, Carlos Cardoso Machado⁴,
Paula Cristina Natalino Rinaldi⁵, João Cleber Modernel da Silveira²**Resumo**

O aumento significativo do uso de máquinas na produção florestal pode acarretar danos ao solo, principalmente em termos de compactação causada pelo tráfego destas máquinas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os níveis de compactação do solo causado pelo tráfego excessivo do trator de arraste de madeira Clambunk. As variáveis físicas do solo analisadas foram: densidade e a resistência do solo à penetração. As amostras de solo foram coletadas em 4 pontos igualmente espaçados ao longo das trilhas de tráfego e sem tráfego (testemunha), em três níveis de profundidade (0–15 cm, 15–30 e 30–50 cm). A análise estatística dos resultados foi feita mediante análise de variância e os dados submetidos ao teste Dunnet, a 5% de probabilidade. Esta análise permitiu constatar que o Clambunk na profundidade entre 0–15 cm alterou a densidade do solo quando trafegou uma e duas vezes carregado. Nestas condições, os valores foram de 1,32 e 1,37 g cm⁻³, respectivamente.

Palavras-chave: Compactação do solo, Trilhas de arraste de madeira, Máquinas florestais

Abstract

The significant increase in mechanization in agriculture and forest operations may cause damages to the soil, mainly to soil compaction. This study had for objective the evaluation of the soil compaction levels caused by the traffic of the wood drag tractor (Clambunk). The soil density and resistance to penetration were analyzed. The soil samples were taken at four points equally spaced along both the trails with traffic and without traffic (control) at three depth levels (0-15, 15-30 and 30-50 cm). The statistical analysis of the results was accomplished through the analysis variance and the data were subjected to the Dunnet test at 5% probability. The analysis of the results allows concluding that at 0-15 cm depth the Clambunk compacted the soil to 1.32 and 1.37 g cm⁻³, when moved loaded once and twice, respectively.

Keywords: Compaction, Wood drag trails, Forest machines

INTRODUÇÃO

As operações mecanizadas de colheita florestal intensificaram-se no início da década de 90. Desde então, o sistema de colheita florestal vem impactando o solo de maneira considerável, principalmente devido ao aumento do tráfego das máquinas, provocando alterações nas suas características físicas, químicas e biológicas, afetando progressivamente o seu potencial produtivo (DIAS JÚNIOR, 1999).

Segundo Camargo (1983) e Seixas (1998), a compactação do solo pode ser definida como a

ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo uma redução de seu índice de porosidade, que é definido como a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos. Os espaços porosos perdidos sob o efeito da compactação são na maioria macroporos, os quais são importantes na movimentação de água e do ar no solo.

A compactação está diretamente relacionada à distribuição das partículas primárias (argila, silte e areia). Normalmente, os solos formados por partículas menores e irregulares são mais facilmente compactados, porque as partículas menores se encaixam nos espaços formados entre partículas

¹Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV - Universidade Federal de Viçosa.

²Doutorando em Mecanização Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG - 36571-000 - E-mail: sebastiaoledes@bol.com.br; jcmodernel@vicosa.ufv.br

³Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG - 36571-000 - E-mail: haroldo@ufv.br

⁴Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG - 36571-000 - E-mail: machado@ufv.br

⁵Mestranda em Mecanização Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG - 36571-000

maiores, formando camadas de impedimento com baixa macroporosidade (CAMARGO, 1983).

A compactação do solo, em decorrência do tráfego de máquinas, vem sendo estudada com frequência no setor agrícola, porém são poucas as pesquisas que tratam deste assunto no setor florestal. Os danos causados pela compactação em solos florestais diferem daqueles dos solos agrícolas devido à espécie cultivada, ciclo das culturas e máquinas utilizadas (GREACEN e SANDS, 1980). Os autores relatam que o peso das árvores e das máquinas utilizadas no processo de colheita florestal contribui para o aumento da compactação do solo.

As características físicas e químicas do solo são diretamente afetadas pelo tipo de manejo a que ele é submetido. Kondo e Dias Júnior (1999) consideram que o sistema de manejo altera as propriedades físicas e mecânicas do solo, em função da umidade, dos diferentes tipos de solos e da época de realização das operações mecanizadas. O tráfego intenso de veículos pesados modifica a estrutura do solo, causando rompimento de suas resistências naturais, que se encontram interligadas por forças de atração e repulsão, alterando o fluxo de água no solo, reduzindo a produtividade da floresta e, conseqüentemente, aumentando os níveis de erosão através do escoamento superficial, uma vez que a infiltração da água no perfil do solo depende do tamanho dos poros (SEIXAS, 2000).

Hassan e Sirois (1985), estudando a variação da densidade do solo causada pelos rodados dos equipamentos de colheita e arraste de madeira, constataram um aumento significativo a partir de 10 cm de profundidade.

O efeito da compactação no desenvolvimento das plantas é percebido quando a raiz encontra resistência mecânica ao seu crescimento. Segundo Camargo (1983), esse impedimento ocorre quando o diâmetro da raiz é superior ao do poro no solo; se a raiz não romper esse impedimento, todo o sistema radicular ficará denso e raso.

Segundo Geist *et al.* (1989), citado por SEIXAS (2000), os valores de densidades considerados prejudiciais estão em torno de 15 a 20% do valor inicial da densidade média do solo. Borges (1986), avaliando o desenvolvimento do sistema radicular do *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação, relatou que as raízes apresentaram dificuldades de crescimento com valores de densidade na faixa de 1,25 a 1,35 g cm⁻³.

Estudos de compactação do solo realizados por Greacen e Sands (1980) em operações flo-

restais mecanizadas na Austrália detectaram pressões 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 causadas pelo movimento da máquina e as geradas pelo peso da madeira foram desprezadas.

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, tipos de rodado, teor de matéria orgânica do solo e o tipo de máquina utilizada no sistema de colheita (SEIXAS, 2000). Fatores outros, tais como a carga dinâmica e pressões internas dos pneus, também afetam a densidade, variando-a significativamente de acordo com o tipo de solo.

Segundo Fernandes *et al.* (1997), a influência do número de passadas dos rodados de um Forwarder no nível de compactação de um solo ocorreu depois da primeira passada, voltando a ocorrer novamente após a nona. Os autores concluíram que o número de passadas não influenciou significativamente os valores de resistência do solo à penetração.

De acordo com Miranda (1986), os valores de resistência à penetração ao longo do perfil do solo, antes e depois do preparo, constituem um meio para avaliar o grau de mobilização do solo, identificar camadas adensadas, determinar a eficiência de equipamentos e avaliar o potencial para o desenvolvimento de raízes.

Lima *et al.* (2001) avaliaram a resistência do solo à penetração em trilhas 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 arastador (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.

Dias Júnior e Pierce (1996) consideram que as operações motomecanizadas utilizadas na colheita causam prejuízos ao desenvolvimento das plantas, pelo fato de não haver um controle rígido da umidade do solo ou capacidade de suporte de carga no momento de realização das operações. Para os autores, o conhecimento da umidade do solo é de grande importância, pois o teor de água no momento em que o solo está

sendo compactado tem grande influência na redução e na redistribuição do espaço poroso. Os solos com baixos teores de água têm maior resistência à compactação. SEIXAS (2000) observou que o aumento da umidade resulta em redução da densidade e, por conseguinte, na resistência à compactação, devido a uma maior lubrificação das partículas no solo.

Diante do exposto e mediante a importância do setor florestal para a economia do país, este trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de compactação do solo causado pelo "Clambunk" em áreas com plantio de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em áreas de operação de colheita florestal em povoamento de

eucaliptos, pertencentes à Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, localizada no município de Belo Oriente, no Estado de Minas Gerais.

As áreas de coleta de dados são caracterizadas pela topografia montanhosa, altitude variando entre 600 e 800 m, latitude de 19° 22' 17" sul e longitude de 42° 28' 18" WGr, clima subtropical úmido e precipitação média de 1.200 mm/ano.

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 um trator Arrastador (Clambunk) com esteiras nos rodados pneumáticos, modelo 1710, potência de 210hp (156,7 kW) e massa de 20,8 t equipada com lamina frontal (Buldozer), conforme Figura 1.



Figura 1. Trator Clambunk. (Clambunk)

Para seleção e demarcação da área, as trilhas foram sorteadas antecipadamente, relacionando a trilha sem tráfego com o número de passadas vazias, trafegando uma e duas vezes carregado. Os tratamentos foram assim definidos: CL.V - Clambunk vazio; CL.C1 - Clambunk carregado uma vez; CL.C2, Clambunk carregado duas vezes; TEST - Tratamento testemunha (linha sem tráfego).

Para análise da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas através do método do anel volumétrico (Uhland) em três profundidades do perfil do solo: 0-15 cm; 15-30 cm e 30-50 cm, em quatro pontos distribuídos ao longo da trilha e espaçados de 10 m entre si. 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 estufa durante 24 horas a 105 ° C.

A densidade do solo foi determinada utilizando a seguinte expressão:

$$DS = MS / VA \quad (eq. 1)$$

em que,

DS = densidade do solo (g cm^{-3});

MS = massa do solo seco em estufa a 105 ° C;

VA= volume do anel (cm^3)

A resistência do solo à penetração foi determinada através de um penetrógrafo da marca SOIL CONTROL, modelo SC-60, com uma haste de 600 mm de comprimento, 9,53 mm de diâmetro, equipada com um cone de 129,3 mm^2 de área da base, 12,83 mm de diâmetro e 30 graus de ângulo de vértice. Foram determinados valores em 4 pontos, espaçados ao longo da trilha e analisado em 3 níveis de profundidades. A resistência do solo à penetração foi medida através do índice de cone (IC) nos intervalos de 0-15 cm, 15-30 e 30-50 cm para cada tratamento, conforme metodologia da ASAE, citada por Vieira (1992).

A umidade do solo foi determinada através do método gravimétrico, obtida pela relação entre a massa de água e a massa total de solo da amostra seca em estufa a 105 ° C por 24 horas.

Para análise de variância dos resultados utilizou-se o delineamento estatístico em blocos casualizados em esquema fatorial $1 \times 3 \times 3 + 1$, sendo: uma máquina, três condições de tráfego em três níveis de profundidade e um tratamento adicional como testemunha, com quatro repetições. Cada bloco foi demarcado em uma área de 0,25 ha, sendo 50 m de comprimento e 50 m de largura.

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. Para comparar os tratamentos com a testemunha utilizou-se o teste de Dunnett com 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento e o controle sobre a umidade do solo são de grande importância nos trabalhos sobre compactação (DIAS JÚNIOR e PIERCE, 1996). Na Tabela 1 são apresentados os valores de umidade do solo para as três profundidades estudadas. Os valores não apresentaram diferenças significativas dentro da faixa de profundidade avaliada.

Tabela 1. Valores médios da umidade do solo (%) nos três níveis de profundidade (cm). (Average values of soil humidity (%) at three depth levels (cm)).

Profundidade	Tratamentos			
	CL.V	CL.C1	CL.C2	TEST
0-15	32,50a	31,70a	30,50a	33,00a
15-30	30,00a	29,75a	30,25a	30,25a
30-50	28,87a	28,36a	29,75a	29,75a
Média	30,46	29,94	30,17	31,00

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 4 repetições.

OBS: CL.V - Clambunk vazio; CL.C1 - Clambunk carregado uma vez; CL.C2 - Clambunk carregado duas vezes; TEST - Tratamento testemunha (linha sem tráfego).

Na profundidade de 0-15 cm, todos os tratamentos afetaram a densidade do solo conforme é mostrado na Figura 2. Os dados encontrados mostram que a máquina trafegando uma e/ou duas vezes carregada causou compactação dentro da faixa de inibição de crescimento do sistema radicular do eucalipto, com densidades de 1,32 e 1,37 g cm^{-3} respectivamente. A Figura 3 mostra que na profundidade entre 15-30 cm apenas o tráfego da máquina vazia não compactou o solo. Na profundidade entre 30-50 cm o tráfego duas vezes carregado afetou a compactação do solo, conforme é mostrado na Figura 4.

Estes resultados estão de acordo com as afirmações de Geist *et al.* (1989), citado por Seixas (2000), observando que os valores de densidade considerados prejudiciais ao desenvolvimento das plantas estão em torno de 15 a 20% do valor inicial da densidade média do solo.

Borges (1986), avaliando o desenvolvimento do sistema radicular do *Eucalyptus grandis* em casa de vegetação, considerou que as raízes apresentaram dificuldades de crescimento com valores de densidade na faixa de 1,25 a 1,35 g cm^{-3} .

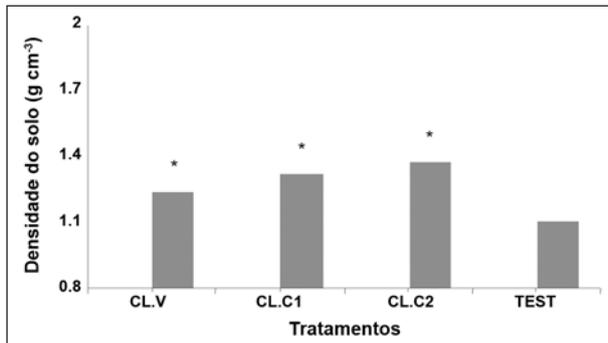


Figura 2. Valores médios de densidade do solo na profundidade de 0-15 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Average values of soil density at the depth of 0-15 cm. (ns - Not significant or (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

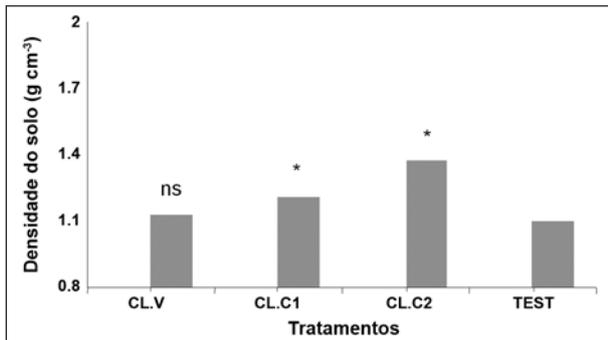


Figura 3. Valores médios de densidade do solo na profundidade de 15-30 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Average values of soil density at the depth 15-30 cm. (ns - Not significant; (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

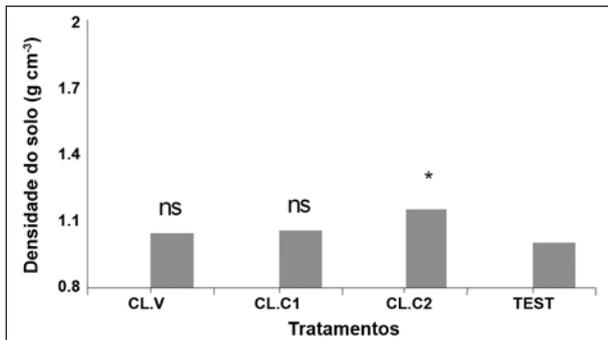


Figura 4. Valores médios de densidade do solo na profundidade de 30-50 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Average values of soil density at the depth 30-50 cm. (ns - Not significant; (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

Os valores encontrados para a resistência do solo à penetração foram semelhantes aos encontrados para a densidade do solo e estes valores (Figuras 5, 6 e 7) mostraram que o Clambunk, trafegando duas vezes carregado na mesma trilha, interferiu na compactação do solo em todas as profundidades estudadas; trafegando uma vez carregado afetou a compactação do solo

apenas na profundidade de 0-15 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes *et al.* (1997), trabalhando com o "harvester" e "forwarder".

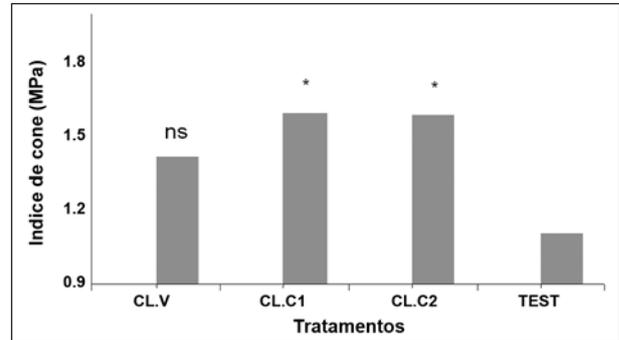


Figura 5. Resistência do solo à penetração (MPa) para a profundidade entre 0-15 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Soil resistance to penetration (MPa) taking into at the 0-15 cm depth. (ns - Not significant; (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

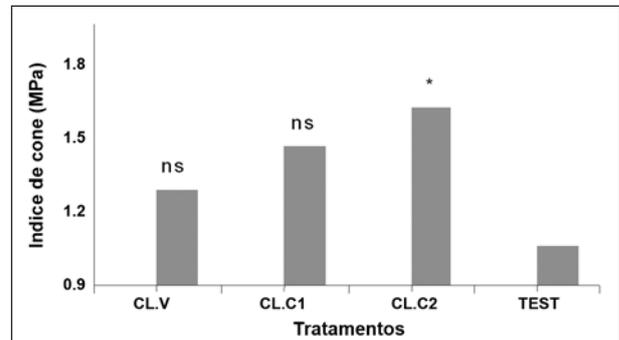


Figura 6. Resistência do solo à penetração (MPa) para a profundidade entre 15-30 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Results of the soil resistance to penetration (MPa) at the 15 - 30 cm depth. (ns - Not significant; (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

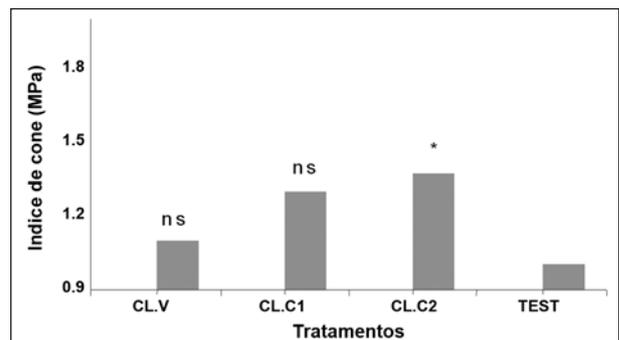


Figura 7. Resistência do solo à penetração (MPa) para a profundidade entre 30-50 cm. (ns - Não significativo; (*) significativamente diferente do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância). (Soil resistance to penetration (MPa) at the 30 - 50 cm depth. (ns - Not significant; (*) significantly different from the control by the Dunnett test at 5% probability level))

Os resultados encontrados mostraram que a máquina estudada trabalha com um volume de carga excessivo, e devido ao arraste destas toras e aos valores encontrados para a densidade e resistência do

solo à penetração, a descompactação somente será possível após o término da rotação por se tratar de uma área conduzida com cultivo mínimo.

CONCLUSÕES

O Clambunk, trafegando uma e/ou duas vezes carregado na mesma linha de tráfego, apresentou compactação do solo na profundidade 0–15 cm, quando comparado com a testemunha.

Para as profundidades de 15–30 cm e 30–50 cm os efeitos do tráfego na compactação do solo ocorreram quando o Clambunk trafegou duas vezes carregado.

Para atenuar a compactação do solo nas condições em que se realizou este estudo, recomenda-se uma redução no volume de madeira arrasado pelo Clambunk.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BORGES, E.N. *Resposta da soja e do eucalipto às camadas compactadas de solo*. 1986. 54p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

CAMARGO, O.A. *Compactação do solo e desenvolvimento de plantas*. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44p.

DIAS JÚNIOR, M.S. *Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um latossolo vermelho-amarelo situado em áreas experimentais da Cenibra: relatório do projeto de pesquisa*. Lavras: UFLA, 1999. 23p.

DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.175–182, 1996.

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*, Viçosa, v.5, n.4, p.276–280, 1997.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.17, p.163–189, 1980.

HASSAN, A.E.; SIROIS, D.L. Transaction and rolling resistance of a dual-tired Skidder on wetland. *Transaction of the ASE*, Berkeley, v.28, n.5, p.1038–1042, 1985.

KONDO, M.K.; DIAS JÚNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.2, p.211–218, 1999.

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.

MIRANDA, N.O. *Alterações físicas nos solos podzólicos vermelho-escuro submetidos a diferentes condições de preparo reduzido*. Santa Maria: UFSM, 1986. 64p.

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

SEIXAS, F. *Compactação do solo devido à mecanização florestal*. *Circular Técnica IPEF*, Piracicaba, n.163, p.1–10, 1988.

VIEIRA, L.B. *Análisis de los factores que influyen en el comportamiento de un motocultor con apero rotativo en el laboreo del suelo*. 1992. 221p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madri, 1992.

Recebido em 25/02/2005

Aceito para publicação em 08/08/2006