



Efeito de operações mecânicas na macroporosidade do solo em áreas de Eucalipto⁽¹⁾.

Piero Iori⁽²⁾; Reginaldo Barboza da Silva⁽³⁾; Ricardo Nakamura⁽⁴⁾; Marília de Souza Bento⁽⁵⁾; Pedro Henrique Di Carmo Tavares⁽⁵⁾; José Luiz Gava⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho vinculado ao projeto de pesquisa de bolsa de produtividade do 2º autor (Processo CNPq nº 302919/2011-2); ⁽²⁾ Professor do curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Registro, São Paulo; pieroiori@registro.unesp.br; ⁽³⁾ Professor do curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bolsista produtividade do CNPq; ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Agronomia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; ⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; ⁽⁶⁾ Engenheiro Florestal, Setor de Manejo da Cia. Suzano de Papel e Celulose, Suzano, SP.

RESUMO: A macroporosidade é uma propriedade do solo fortemente influenciada pelo tráfego agrícola, principalmente em áreas florestais. O objetivo deste estudo foi avaliar a macroporosidade em um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado mecanicamente com a cultura do eucalipto. Definiram-se como área experimental, dois talhões produtores de Eucalipto com manejos mecanizados. Foram retiradas amostras superficiais (0 a 10 cm) e subsuperficiais (20 a 30 cm) em um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os locais de amostragem para avaliação do impacto das operações agrícolas foram: linha de plantio, linha de tráfego, linha de tráfego após a operação de colheita e linha de tráfego após a operação de baldeio com Forwarder. Foi possível observar que o tráfego agrícola mecanizado altera a macroporosidade do solo, em que as operações agrícolas mecanizadas de colheita e baldeio são as que mais reduzem fortemente o volume de macroporos do solo. As camadas subsuperficiais são as menos afetadas pelas operações agrícolas. O Latossolo apresenta maior proporção de macroporos em relação ao Argissolo.

Termos de indexação: compactação do solo, estrutura do solo, porosidade do solo.

INTRODUÇÃO

O solo submetido ao cultivo florestal ou qualquer forma de cultivo tende a sofrer alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas e pode sofrer degradação em sua qualidade, de tal maneira que suas propriedades iniciais não são mais mantidas, podendo requerer modificações no manejo (Azevedo, 2007).

O tráfego agrícola com máquinas cada vez mais pesadas nas áreas florestais promovem efeitos negativos na estrutura do solo, resultando na compactação do solo.

A principal causa da compactação em solos agrícolas, de acordo com Flowers & Lal (1998), é o

tráfego de máquinas em operações de preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita. Horn et al. (1995) acrescentam que não somente a pressão estática causa compactação, mas também forças dinâmicas causadas pela vibração do trator arrastando implementos e pelo patinamento.

A compactação resulta em diversos efeitos nos atributos físicos do solo (Dias Junior, 2000), destacando-se o aumento da densidade (Iori et al., 2014) e da resistência do solo à penetração e a redução da porosidade.

Reduções significativas no volume de macroporos são observadas em solos com problemas de compactação. Por outro lado, o volume de microporos permanecem praticamente inalterados (Hillel, 1982).

Vale salientar que os valores de macroporosidade estão indiretamente relacionadas à estrutura do solo. Douglas (1986) indicam que a macroporosidade revela-se como um índice bastante útil na avaliação das modificações estruturais do solo. Entretanto, Corsini & Ferraudo (2009) informam que a macroporosidade do solo reflete mais a condição do solo no momento e local da amostragem do que uma condição final ou permanente.

Efeitos externos ou internos que promovam a redução da macroporosidade do solo podem afetar negativamente a infiltração da água no solo. Além disso, os macroporos são também importantes para o crescimento das raízes (Wang et al., 1986) e para o movimento de solutos (Beven & Germann, 1982).

Alguns autores ainda sugerem valores críticos para a macroporosidade no solo. De acordo com Baver et al. (1972), valores críticos de macroporosidade estão abaixo dos valores compreendidos entre 0,10 e 0,16 m³ m⁻³. Para Da Ros et al. (1997), valores de macroporosidade dentro das condições ideais estão na faixa de 0,09 a 0,12 m³ m⁻³, podendo a redução da macroporosidade causar um decréscimo da permeabilidade do solo.

Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo por meio de seus atributos físicos é de grande



importância para manutenção e avaliação da sustentabilidade do solo. Portanto este trabalho teve por objetivo avaliar a macroporosidade em um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado mecanicamente com a cultura do eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Santana, UP 54C226, em áreas de Unidades Florestais da empresa Suzano Papel e Celulose, no município de Itararé – SP. O clima da região, de acordo com Köppen, é o Cfa, temperado úmido, sem estação seca definida, com temperatura média anual de 19,4°C e precipitação pluvial média anual de 1415 mm.

Definiu-se como área experimental, dois talhões produtores de eucalipto com manejos mecanizados. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas camadas superficiais (0 a 10 cm) e subsuperficiais (20 a 30 cm), em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, A moderado ou proeminente, textura argilosa, álico, relevo plano a suavemente ondulado (densidade de partícula de 2,43 Mg m⁻³, com 37% de argila, 28% de areia e 35% de silte), em um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, A moderado, textura argilosa, fase concrecionária, relevo ondulado (densidade de partícula de 2,50 Mg m⁻³, com 37% de argila, 31% de areia e 32% de silte) e em diferentes locais para avaliação das diferentes operações agrícolas. Os locais de amostragem para avaliação do impacto das operações agrícolas foram: linha de plantio, linha de tráfego, linha de tráfego após a operação de colheita e linha de tráfego após a operação de baldeio com Forwarder.

Para a coleta das amostras indeformadas foi utilizado o amostrador Uhland com anel volumétrico. As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de um trado holandês e acondicionadas em sacos plásticos. As análises foram realizadas no Laboratório de Física e Mecânica do Solo da Universidade Estadual Paulista, Campus de Registro.

A análise granulométrica das classes de solo foi determinada pelo método da pipeta, de acordo com os procedimentos descritos em Day (1965). A densidade de partícula (método do balão volumétrico) e a densidade do solo (método do anel volumétrico) foram determinadas de acordo com Embrapa (2011). A macroporosidade do solo (Ma) foi determinada pela expressão, $Ma = PT - Mi$, em que Ma é a macroporosidade (m³ m⁻³), PT é a porosidade total (m³ m⁻³) e Mi é a microporosidade (m³ m⁻³). A porosidade total do solo foi calculada usando a expressão, $PT = [1 - (Ds Dp^{-1})] 100$, em

que Ds é a densidade do solo (Mg m⁻³) e Dp é a densidade de partícula (Mg m⁻³). A microporosidade do solo foi determinada a partir de amostras de solo equilibradas a -6 kPa. As análises de porosidade do solo foram realizadas seguindo os procedimentos descritos em Embrapa (2011). As análises descritas anteriormente foram realizadas em três repetições.

Utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000), os dados foram inicialmente avaliados pela análise de variância e teste F, considerando as classes de solo, camadas de solo e locais de amostragem como fatores de variação. A comparação entre as médias, quando o valor de F foi significativo, foi feita pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5%. A construção dos gráficos foi realizada por meio da versão demonstrativa do aplicativo Sigma Plot 11.0 (Systat Software Inc®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É apresentado na **tabela 1** o resumo da análise de variância para a macroporosidade do solo para as diferentes fontes de variação do estudo (classe de solo, camada de solo e local de amostragem). Apenas os fatores individualmente foram significativos à 5% de probabilidade. As interações duplas e tripla não foram significativas. É possível observar ainda, que a operação agrícola foi o fator de variação de maior influência na variância dos valores de macroporos do solo (maior Fc observado). Isto se deve ao maior impacto do tráfego agrícola na estrutura do solo. O segundo fator de maior influência na variância dos dados de macroporosidade foi a camada de solo. Por fim, o fator classe de solo foi o terceiro fator de maior influência na variância dos dados.

Na **figura 1** estão apresentados os valores médios de macroporosidade do solo para as duas classes de solo (Argissolo e Latossolo) e as duas camadas de solo (superfície e subsuperfície) estudadas. É possível observar que áreas de cultivo de eucalipto com Latossolo apresentaram valor médio de macroporosidade superior e diferente (0,15 m³ m⁻³) em relação às áreas com Argissolo (0,13 m³ m⁻³). Ressalta-se ainda que ambos os solos apresentaram valores acima do limite crítico (0,10 m³ m⁻³), segundo Baver et al. (1972).

Entre camadas de solo também é possível observar um comportamento distinto entre estas. Os maiores valores para macroporosidade do solo foram encontrados nas camadas mais profundas (0,15 m³ m⁻³) em relação às camadas superficiais (0,12 m³ m⁻³). Resultados semelhantes também foram observados por Dedecekl & Gava (2005). Isto se deve ao maior impacto do tráfego agrícola na estrutura do solo nas camadas mais superficiais, ou



seja, o efeito das máquinas nas camadas de maior profundidade é menor (**Figura 1**).

Na **figura 2** são apresentados os valores médios de macroporosidade do solo para as diferentes condições / operações agrícolas. A linha de plantio foi a condição do solo que apresentou os maiores valores de macroporosidade do solo. Com uma proporção de $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos no solo, a linha de plantio foi diferente e superior à linha de tráfego ($0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Este resultado evidencia muito bem o impacto do manejo agrícola mecanizado durante todo o ciclo da cultura em áreas florestais. É importante ressaltar ainda, que os valores de macroporosidade do solo na linha de tráfego ficaram fora do limite crítico considerado por Baver et al. (1972).

Por outro lado, a operação de colheita e de baldeio com o Forwader causaram forte impacto na estrutura do solo. De forma semelhante, Dias Junior et al. (2003) também verificaram que operações de colheita e baldeio da madeira promoveram forte alteração estrutural do solo. As operações de colheita ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e baldeio ($0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foram semelhantes entre si e apresentaram valores de macroporosidade do solo inferior à linha de plantio e linha de tráfego. Além do tráfego acumulado, a maior pressão de contato rodado-solo da colhedora e do Forwader causou este forte impacto na estrutura do solo (**Figura 2**). Vale ressaltar ainda que, após estas operações, o solo pode apresentar problemas de aeração do solo, alta resistência do solo à penetração e reduzida infiltração de água no solo.

CONCLUSÕES

O tráfego agrícola mecanizado altera a macroporosidade do solo.

As operações agrícolas mecanizadas de colheita e baldeio reduzem fortemente o volume de macroporos do solo.

As camadas subsuperficiais são as menos afetadas pelas operações agrícolas.

O Latossolo apresenta maior proporção de macroporos em relação ao Argissolo.

AGRADECIMENTOS

À empresa Suzano Papel e Celulose pela disponibilidade das áreas experimentais e demais suportes à pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A.D. Avaliação das propriedades químicas, físicas e biológicas em solos de uma toposequência sob

cobertura de eucalipto no Campus da UFRRJ. Monografia – UFRRJ, 2007.

BEVEN, K.J.; GERMANN, R.F. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18:1311-1325, 1982.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4. ed. New York: John Wiley, 1972. 529 p.

CORSINI, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:289-298, 1999.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:241-247, 1997.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. *American Society of Agronomy*, 1:545-566, 1965.

DEDECEK, R.A. & GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. *Revista Árvore*, 29:383-390, 2005.

DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:55-94, 2000.

DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F.P.; WINTER, M.E.; PIRES, J.V.G. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Amarelo cultivado com eucalipto na região de Peçanha - MG. *Revista Árvore*, 27:343-349, 2003.

DOUGLAS, J.T. Macroporosity and permeability of some soil cores from England and France. *Geoderma*, 37:221-231, 1986.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa, 2011.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a molic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil & Tillage Research*, 48:21-35, 1998.

HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. San Diego: Academic Press, 1982. 264p.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A. & van OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. *Soil & Tillage Research*, 35:23-36, 1995.

IORI, P.; DIAS JUNIOR, M.S.; AJAYI, A. E.; GUIMARÃES, P.T.G.; ABREU JÚNIOR, A.A. Influence of field slope and coffee plantation age on the physical properties of a red-yellow Latosol. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 38:107-117, 2014.

FERREIRA, D. F. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2000.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Accounter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. *Biometrics*, Washington, 30:507-512, 1974.

WANG, J.; HESKETH, J.D.; WOOLLEY, J.T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. *Soil Science*, 141:432-437, 1986.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para macroporosidade do solo para as diferentes fontes de variação do estudo.

Fontes de variação	Fc	Pr>Fc
Classe de solo (S)	4,454	0,0427
Camada de solo (C)	7,687	0,0092
Local de amostragem (L)	49,673	0,0000
S x C	0,207	0,6521
S x L	1,212	0,3213
C x L	2,655	0,0652
S x C x L	1,878	0,1531
Coeficiente de variação (%)		25,48
Média geral		0,14

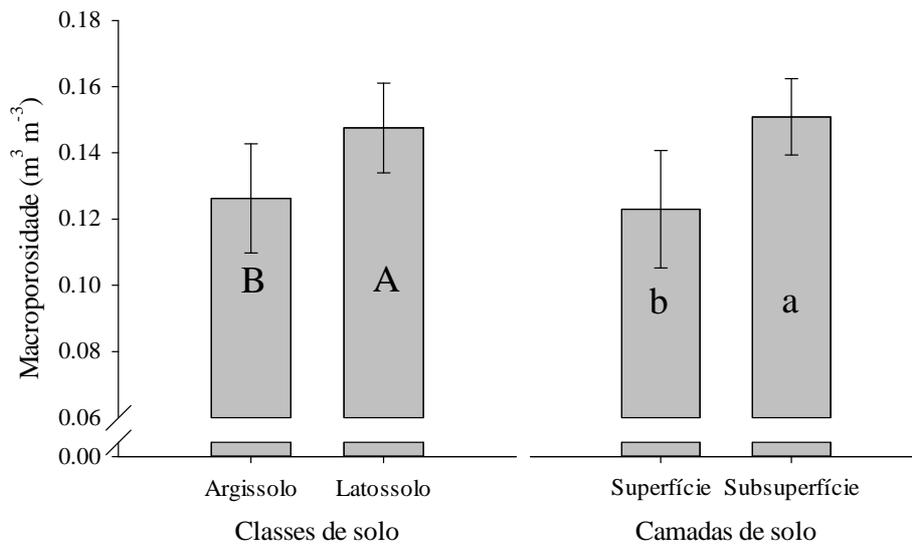


Figura 1. Valores médios de macroporosidade do solo ($m^3 m^{-3}$) para as duas classes de solo (Argissolo e Latossolo) e duas camadas de solo (superfície e sub-superfície). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para classes de solos e mesma letra minúscula para camadas de solo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. A barra de erros representa o erro-padrão da média.

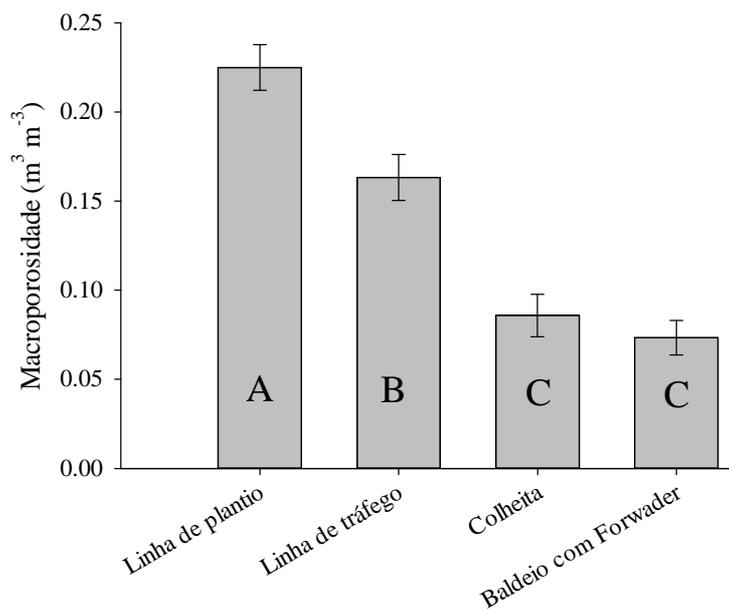


Figura 2. Valores médios de macroporosidade do solo ($m^3 m^{-3}$) para as diferentes condições / operações agrícolas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. A barra de erros representa o erro-padrão da média.