



## TRAFEGABILIDADE E IMPACTO DAS OPERAÇÕES AGRÍCOLAS SOBRE A CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE SOLOS FLORESTAIS <sup>(1)</sup>.

**Marília de Souza Bento<sup>(2)</sup>; Reginaldo Barboza da Silva<sup>(3)</sup>; Piero Iori<sup>(3)</sup>; Francisca Alcivania de Melo Silva<sup>(3)</sup>; Zigomar Menezes de Souza<sup>(4)</sup>; Eduardo Omena Santinelli<sup>(2)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do CNPq (Processo nº 302919/2011-2) e Suzano Papel e Celulose.

<sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Registro - SP, e-mail: mariliadesouza@registro.unesp.br; <sup>(3)</sup> Professor do Curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Registro- SP; <sup>(4)</sup> Professor do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP; <sup>(2)</sup> Estudante do curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro - SP.

**RESUMO:** Há uma preocupação das empresas de papel e celulose com a sustentabilidade do solo, visto que a produtividade é resultante de um manejo adequado dentro do sistema florestal. A pressão de pré-consolidação é uma propriedade indicadora da capacidade de suporte de carga do solo e possibilita estimar o impacto das operações agrícolas. Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio da capacidade de suporte de carga (CSC) do solo, o impacto da trafegabilidade e de operações agrícolas sobre duas classes de solo cultivadas com eucalipto em áreas florestais. Os ensaios de compressão, realizados em corpos-de-prova da camada 0,05 a 0,10 m de Argissolo Vermelho Amarelo (PVAd5) e Latossolo Vermelho (LVd2) consideraram as seguintes intensidades de tráfego/operações agrícolas: colheita (Co), baldeio com Forwader (BFW), baldeio com trator autocarregado (BTA), linha de tráfego (LT) e linha de plantio (LP). Os resultados evidenciaram impacto (negativo) dos tratamentos, permitindo estabelecer, para as condições em que foram conduzidos os ensaios, a seguinte sequência de impacto: BFW > BTA > Co > LT > LP.

**Termos de indexação:** compactação, tráfego, eucalipto.

### INTRODUÇÃO

O setor de celulose e papel contribui com uma parcela importante para a economia brasileira. Em 2012, o valor de suas exportações foi igual a US\$ 6,7 bilhões, proporcionando a manutenção de mais de 750 mil empregos diretos e indiretos e o pagamento de 3,5 bilhões de impostos (Associação Brasileira De Celulose E Papel - Bracelpa, 2011).

O Brasil destaca-se entre os maiores produtores mundiais de celulose e papel. Esta notoriedade está associada à alta produtividade das florestas plantadas de eucalipto, que advém das condições locais favoráveis de clima e solo e dos investimentos em melhoramento genético e em tecnologia de silvicultura (Anuário..., 2012).

Em virtude da crescente demanda no setor de papel e celulose, à posição de destaque do Brasil no cenário mundial e às exigências de mercado, é fundamental que a sustentabilidade faça parte da estratégia das empresas de exploração florestal em todo o ciclo de produção. Contudo, com a intensificação das operações de colheita florestal, iniciada na década de 1990, as empresas brasileiras adotaram um sistema de colheita totalmente mecanizado em substituição à colheita manual ou semimecanizada (Leonello et. al., 2012), comprometendo a sustentabilidade do solo, uma vez que essas operações envolvem o tráfego intenso e pesado de máquinas sobre o solo, podendo causar a compactação.

É inegável que o manejo adequado, desde o plantio até a colheita, infere em menor impacto ambiental, na reposição da composição mineral do solo (extraída e exportada), na incorporação da matéria orgânica, resultante da cultura, e no melhor uso do solo.

A preservação da estrutura do solo está relacionada com a sua capacidade de suporte de carga, que é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir tensões induzidas pelo tráfego de máquinas ou pisoteio animal sem mudanças no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo (Alakukku et al., 2003).

Uma propriedade do solo indicadora da capacidade de suporte de carga é a pressão de pré-consolidação, que tem sido utilizada para estimar, quantitativamente, o risco de compactação do solo (Alakukku et al., 2003).

No modelo de capacidade de suporte de carga, desenvolvido por Dias Junior (1994), a pressão de pré-consolidação é expressa em função de diferentes umidades, indicando, portanto, a máxima pressão que o solo pode suportar em diferentes condições de umidade, sem sofrer compactação adicional, evitando prejuízos nas produções dos solos ao longo do tempo (Dias Junior et al., 2007).

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio da capacidade de suporte de carga (CSC) do solo, o impacto da trafegabilidade e de



operações agrícolas sobre a estrutura de duas classes de solo cultivadas com eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Santana, UP 54C226, em áreas de Unidades Florestais da empresa Suzano Papel e Celulose, implantadas sobre Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (PVAd5), A moderado, fase concrecionária, relevo ondulado (com densidade de partícula de  $2,50 \text{ Mg m}^{-3}$ , textura argilosa, com 37% de argila, 31% de areia e 32% de silte) e Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd2), A moderado ou proeminente, álico, relevo plano a suavemente ondulado (com densidade de partícula de  $2,43 \text{ Mg m}^{-3}$ , textura argilosa, com 37% de argila, 28% de areia e 35% de silte), ambas as classes de solo localizadas no Município de Itararé (SP).

O povoamento florestal é proveniente de clone híbrido de *Eucalyptus grandis*, com idade média de 7,36 anos, sendo o último ciclo plantado no período de 09 a 23 de maio de 2007. A pesquisa foi conduzida em "plots" experimentais localizados nas duas classes de solos PVAd5 com 7,52 ha; e LVd2 com 5,6 ha.

A avaliação do impacto da intensidade tráfego considerou essencialmente a ação dos rodados dos conjuntos motomecanizados em suas respectivas operações agrícolas para as cinco condições a seguir: i) colheita (Co); ii) baldeio com Forwader (BFW); iii) baldeio com trator autocarregado (BTA); iv) linha de tráfego (LT), cujos efeitos do tempo de cultivo (média de 7 anos) guardaram a memória da tensão acumulada advinda de todas às operações necessárias às boas práticas da cultura e v) linha de plantio (LP).

Os procedimentos para estimar a CSC do solo foram os seguintes: a) coleta de amostras de corpo-de-prova, b) ensaio de compressão uniaxial em laboratório, c) estimativa da pressão de pré-consolidação e d) ajuste dos modelos de CSC. Detalhes e pressuposições metodológicas para avaliação deste atributo podem ser vistos em Taylor (1948), Dias Júnior (1994), Silva (2002).

A avaliação do impacto foi feita a partir da estimativa de  $\sigma_p$  de 14 corpos-de-prova, consolidados em função da umidade de campo para as cinco condições de intensidade de tráfego/operações agrícolas.

Os ensaios de consolidação uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático com interação homem máquina (IHM), modelo CNTA-IHM/BR-001/07 (Silva et al., 2015). Os níveis de pressão aplicados ao corpo-de-prova foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, observando-se a

pressuposição que define a deformação máxima de até 90% do corpo de prova, para cada nível de pressão. Por meio do software CA LINKER, desenvolvido por Silva et al. (2015), os valores de pressão e deformação foram devidamente tratados e plotados em um gráfico, obtendo-se, assim, a curva de compressão do solo (densidade do solo em função do logaritmo das pressões aplicadas).

A partir da curva de compressão foi estimada a  $\sigma_p$ , observando a sugestão dos métodos M1 e M3, propostos por Dias Júnior & Pierce (1995).

Na modelagem de CSC (**Figura 1 e 2**), a linha contínua (----) descreve a CSC (capacidade de suporte de carga) estimada em LP (condição de referência), a linha tracejada (- - -), descreve o intervalo de confiança (IC) de 95%. Os pontos (símbolos) representam de  $\sigma_p$  obtidos em função do teor de água atual (umidade da amostra em condições de campo) e descrevem o provável impacto (positivo ou negativo) da intensidade de tráfego solicitada em cada operação agrícola.

Os valores de  $\sigma_p$  que estiverem dentro do IC permitem inferir que não há impacto sobre a estrutura do solo; os valores que estiverem fora de IC, significa dizer que são diferentes estatisticamente do modelo e podem estar causando impacto à estrutura do solo; àqueles pontos abaixo da banda inferior do IC permitem inferir que houve um alívio da tensão e àqueles pontos acima da banda superior de IC representa um aumento significativo na consolidação do solo, e portanto um impacto negativo sobre a estrutura do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que as amostras submetidas à avaliação de impacto (**Figuras 1 e 2**), a absoluta maioria foi ensaiadas sob teores de água que variaram de 30 a 45% (umidade na condição de campo). Nota-se também, de uma maneira geral, a tendência de aumento da CSC, evidenciada pelos maiores valores de  $\sigma_p$  obtidos para as diferentes intensidades de tráfego/operações agrícolas, quando comparados ao modelo de referência, estimados para a linha de plantio (LP).

Na **figura 1** nota-se, claramente, o maior impacto para PVAd5 foi causado por BFW correspondendo a 100%, seguido de BTA correspondendo a 57%, LT a 50% e Co a 43% das amostras ensaiadas. Este impacto ocorreu fortemente em teores de água variando de 30 a 45%,

Em LVd2, o comportamento não foi diferente e os efeitos da operação BFW também são confirmados, seguido de BTA, Co e de LT. Na **figura 2** observa-



se que em LVd2, o impacto causado no BFW correspondeu a 100% das amostras, BTA correspondeu a 57%, Co correspondeu a 57%, e em LT correspondeu a 21% das amostras, sendo BFW a operação agrícola que mais causou impacto no solo, mediante a alteração significativa na pressão de pré-consolidação deste solo.

Este impacto ocorreu fortemente em teores de água que variaram de 38 a 45%, faixa de consistência próxima a observada em PVAd5. Parte significativa das alterações estruturais observadas em ambas as classes de solo devem estar associadas, também, ao elevado grau de consistência, pois o acirramento entre as partículas sólidas do solo devido ao estado de compactação mais elevado em solos sob às condições estudadas, limita o deslocamento e rearranjo, como foi constatado por Silva et. al. (2009).

O PVAd5 apresentou forte impacto quando submetido a operação agrícola com BFW em menores umidades do que o LVd2. Esse fato pode ser atribuído à granulometria dos solos, sabendo que em camada superficial o LVd2 possui maior teor de argila que o PVAd5, devido à eluviação do horizonte A para o horizonte B textural em Argissolos. Com isso, a resistência mecânica do solo às deformações em condições de menor umidade é conferida pela maior coesão entre as partículas sólidas do que em solo arenoso, resultados que estão de acordo com os encontrados por Kondo & Dias Junior (1999).

O BTA, a exemplo de LT, Co e BFW impactou negativamente a estrutura das duas classes de solo investigadas, permitindo estabelecer, para as condições em que foram conduzidos os ensaios, a seguinte sequência de impacto: BFW > BTA > Co > LT > LP.

## CONCLUSÕES

O baldeio com Forwader mostra-se a operação de maior impacto na camada superficial de ambas as classes de solo investigadas.

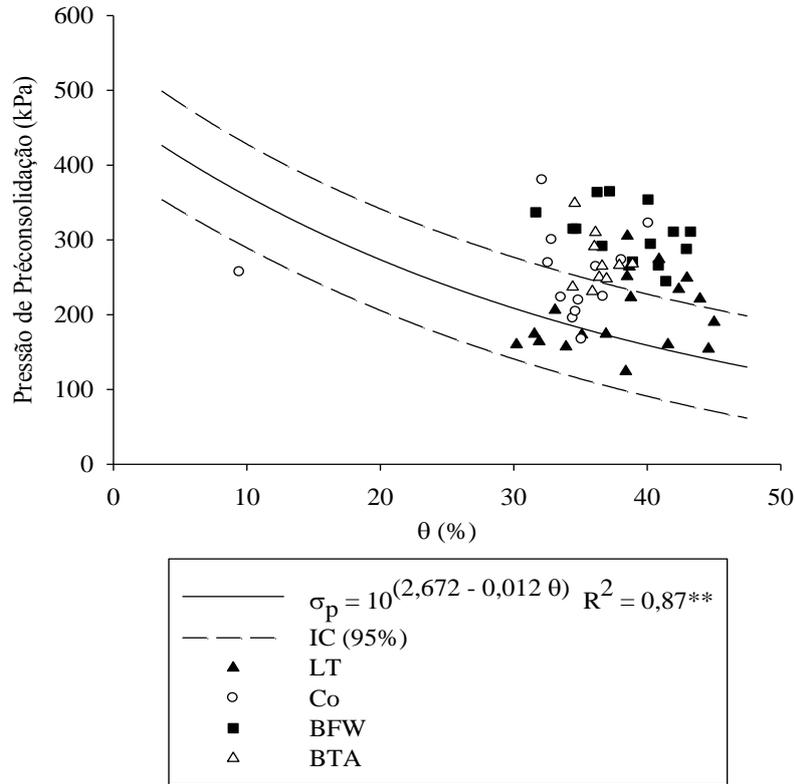
Para as condições de menor grau de consistência, o PVAd5 sofre maior impacto do que LVd2.

## AGRADECIMENTOS

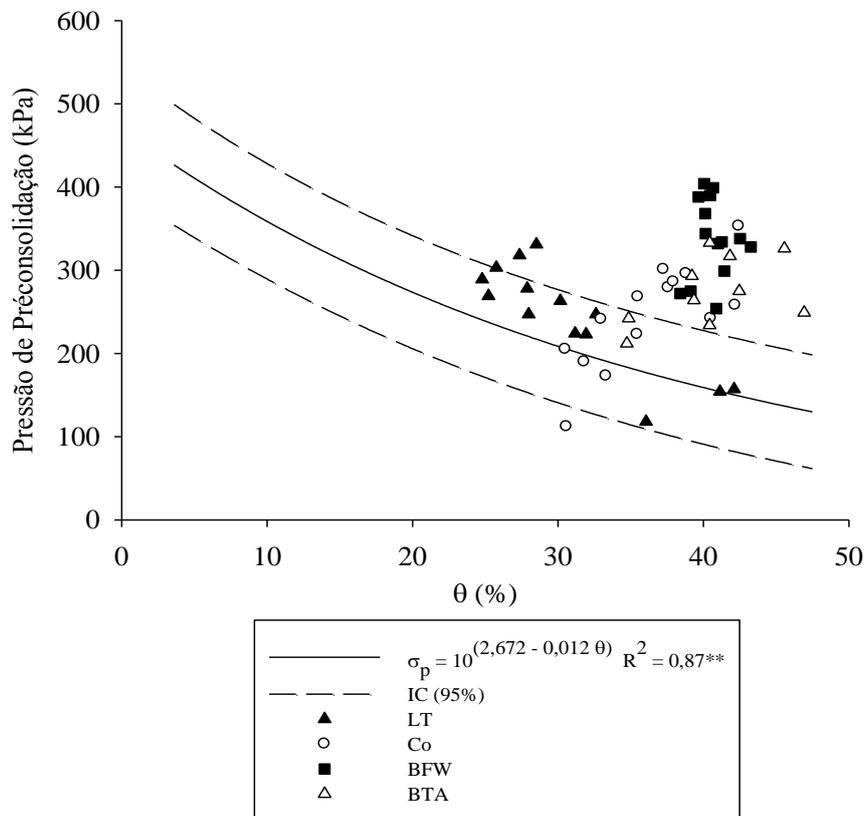
Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade ao segundo autor e a Suzano Papel e Celulose pelo apoio logístico dado à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 145-160, Oct. 2003.
- ANUÁRIO estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2012. 284 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Relatório estatístico da BRACELPA 2010-2010. São Paulo, 2011. 24 p.
- DIAS JUNIOR, M. de S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing, 1994.
- DIAS JUNIOR, M. S. & PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 8, p. 139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M. de S. et al. Soil compaction due to forest harvest operations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 2, p. 257-264, 2007.
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:211-218, 1999.
- LEONELLO, E. C.; GONCALVES, S. P.; FENNER, P. Efeito do tempo de experiência de operadores de harvester no rendimento operacional. *Revista Árvore*, 1129-1133, 2012.
- SILVA, R. B. & MASQUETTO, B. J. CA-Linker: Sistema para monitoramento, Aquisição e Processamento de Parâmetros Físicos e Mecânicos em Tempo Real, Gerados em Ensaio de Consolidação Uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32. Fortaleza, 2009. Anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- SILVA, R.B. Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes intensidades de uso na região dos cerrados. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 142p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, R. B. et. al. Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:416-427, 2015.
- SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I—Estado inicial de compactação. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p. 1-8, 2002. e *Ciência do Solo*, 2009.
- TAYLOR, D. W. *Fundamentals of soil mechanics*. *Soil Science*, v. 66, n. 2, p. 161, 1948.



**Figura 1.** Modelo de capacidade de suporte de carga (CSC) da camada superficial (0,05 a 0,10 m) do PVAd5, obtido na linha do plantio (LP) e avaliação do impacto de distintas intensidade de tráfego/operações agrícolas.



**Figura 2.** Modelo de capacidade de suporte de carga (CSC) da camada superficial (0,05 a 0,10 m) do LVd2, obtido na linha do plantio (LP) e avaliação do impacto de distintas intensidade de tráfego/operações agrícolas.