

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE RUGOSÍMETRO PARA SOLO SOB TRÁFEGO DE PNEU AGRÍCOLA

Lucas da Silva Doimo¹, Fabrício Leite² e João Eduardo Guarnetti dos Santos³

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Departamento de Engenharia Rural, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780 Botucatu, SP 18.610-307. E-mail: lucasdoimo@yahoo.com.br

²Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, São Cristóvão, 87502-970, Umuarama, PR. E-mail: fleite2@uem.br

³ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Bauru - FEB, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01 Bauru, SP 17033-360. E-mail: guarneti@feb.unesp.br

Resumo: Muitos sistemas de exploração agrícola têm proporcionado ao solo acelerado processo de degradação, devido principalmente ao uso intensivo de máquinas agrícolas, afetando assim o seu potencial produtivo. Desta forma, foi conduzido na Universidade Estadual de Maringá um experimento em blocos casualizados, com o objetivo de desenvolver e avaliar um rugosímetro do solo em um solo submetido a preparo convencional. O trabalho foi composto por sete tratamentos, sendo estes, sete pressões de inflação nos rodados do trator P18, P20, P22, P24, P26, P28 e P30 (124, 138, 152, 165, 179, 193 e 207kPa). Foram avaliados a área de solo mobilizado pelo rodado do trator, a área de elevação, o empolamento e a profundidade de recalque. Os resultados obtidos foram submetidos à comparação de média pelo teste de Tukey e análise de regressão. Verificou-se que pressões de inflação maiores provocaram maiores mobilizações no solo e maiores profundidades de recalque ao contrário das menores pressões. Conclui-se que o aumento da pressão de inflação provocou aumento em todos os parâmetros avaliados e conforme reduz a pressão de inflação reduz a mobilização do solo. Concluiu-se também que o rugosímetro desenvolvido mostrou-se preciso e funcional.

Palavras-chave: área de solo mobilizado, recalque, empolamento, área de elevação

Development and evaluation of rugosimeter for soil under agricultural tire traffic

Abstract: Many farming systems have provided to accelerated soil the degradations mostly due to intensive use of agricultural machines, thereby affecting its production potential. In this way was conducted at the State University of Maringá a randomized blocks experiment, in order to develop and evaluate a soil rugosimeter in a soil submitted to conventional tillage. The work was composed of seven treatments, and these, seven inflation pressures in the wheels of the tractor P18, P20, P22, P24, P26, P28 and P30 (124, 138, 152, 165, 179, 193 and 207kPa). We evaluated the area of soil mobilization by the tractor wheels, lifting the area, the shoaling and depth of repression. The results were submitted to mean comparison by Tukey test and regression analysis. It was found that higher inflation pressures caused higher mobilization in the soil and higher depths repression in contrast to the lower pressure. It is concluded that the increase in inflation pressure caused an increase in all parameters and reducing the inflation pressure reduces the tillage. It was also concluded that the rugosimeter was shown to be accurate and functional.

Keywords: soil mobilized area, repression, shoaling, elevation area

INTRODUÇÃO

O aumento do uso de tratores agrícolas tornou-se nas últimas décadas a fonte de potência mais importante no meio rural, contribuindo para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas para produção de alimentos e de fontes alternativas de energias renováveis, tais como o etanol e o biodiesel (Leite et al., 2010).

Segundo Santos (2007) o solo é um recurso natural importante no desenvolvimento das atividades humanas e como tal, deve ser utilizado de forma consciente, a fim de evitar sua degradação. Panachuki et al. (2010) diz que as operações de preparo mal realizadas expõem a superfície do solo à erosão hídrica. Segundo Carvalho Filho et al. (2008) o preparo periódico convencional do solo consiste geralmente na realização de uma aração, seguida de duas gradagens para promover o destorroamento e nivelamento. Neste sistema ocorre uma grande pulverização do solo, tornando-se susceptível a compactação e à erosão. Já o preparo mínimo do solo ocasiona menor inversão de leiva e menor custo de preparo, elevando a rugosidade superficial do solo, tornando-o menos suscetível a erosão e às perdas de água.

Conforme Pruski et al. (2006) as operações de manejo do solo podem ser divididas em três etapas, primária envolvendo operações realizadas em maior profundidade, secundária que consiste no nivelamento e o destorroamento do terreno, incorporação de herbicidas e eliminação de plantas daninhas, por fim terciária que consiste na manipulação do cultivo que vise manter a fertilidade e eliminar as plantas daninhas que competem com cultura.

Avaliando as condições da superfície do solo, Gabriel Filho et al. (2010) concluíram que esta interferiu na capacidade do trator em desenvolver a tração, pois a maioria dos parâmetros relacionados com o desempenho apresentou variações estatisticamente significativas ao longo dos ensaios.

Segundo Monteiro et al. (2011) rodados pneumáticos de um trator agrícola possuem diversas funções, dentre elas citam-se garantir o equilíbrio, o desempenho operacional e o amortecimento entre as irregularidades do solo e o trator. Os autores ainda afirmam que o desempenho operacional dos tratores, são influenciados pelo tipo de construção, pela pressão de inflação, pela carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e desgaste dos rodados pneumáticos que os equipam.

Em vista do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um modelo de rugosímetro em solo submetido a preparo convencional, sob o tráfego do trator com diferentes níveis de pressão nos pneus.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Estadual de Maringá, Campus de Umuarama – PR, localizada nas coordenadas 23° 47' 24.36''S e 53° 15' 26''O e a 401 m acima do nível do mar. O solo é classificado de acordo com a EMBRAPA (2006) como Latossolo Vermelho Distrófico típico. A área experimental possuía 40 m de comprimento e 20 m de largura e foi dividida em sete blocos com dimensões de 40 m de comprimento e 2,20 m de largura e em cada bloco foi constituído um tratamento. A área foi submetida ao preparo convencional do solo com uma aração, duas gradagens aradoras e uma gradagem niveladora de modo que proporcionou o máximo destorroamento do solo.

Na Figura 1 pode-se observar o aparelho desenvolvido, este é composto por um quadro com dimensões de 1,5 m de comprimento e 0,4 m de altura. Ao fundo deste quadro foi fixado uma chapa de aço com espessura de 1 mm para apoiar a folha de cartolina onde será desenhado o perfil do solo pela haste por meio de uma caneta hidrocor, semelhante ao funcionamento de um pantógrafo. Para o deslocamento horizontal foi instalado em uma placa quatro roldanas de 50 mm de diâmetro que proporcionam o deslocamento horizontal, permitindo assim, o escaneamento do rastro feito pelo rodado do trator. Na mesma placa, foram instaladas mais 4 roldanas de modo que proporcionassem o deslocamento vertical de uma haste com a caneta hidrocor na extremidade superior, desenhando as alturas do rastro feito pelo rodado do trator. Para fixação do aparelho no solo foram parafusadas uma haste de cada lado com um corte chanfrado na ponta facilitando a fixação do aparelho no solo. No quadro horizontalmente foi feito uma pintura intercalando as cores a cada 0,15 m de modo que permitisse fazer a escala posteriormente no programa computacional para determinação das áreas e alturas de recalque.

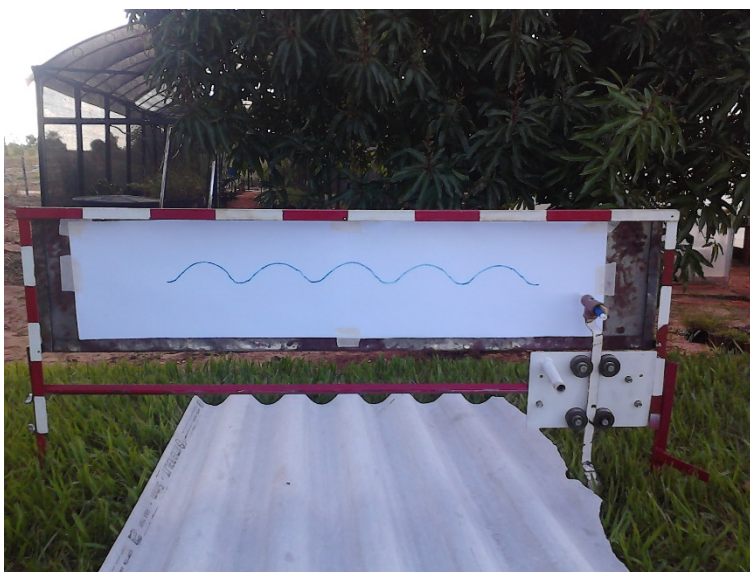


Figura 1 - Vista do aparelho desenvolvido

Para tirar as fotos do desenho feito do perfil de solo mobilizado foi utilizada uma câmera digital da marca SONY CYBER-SHOT modelo DSC-W320 com resolução de 14.1 megapixels equipada com lentes Carl Zeiss com zoom óptico de 4.0x e zoom digital de 8.0x. Para apoiar a câmera foi utilizado um tripé distanciado a 1,5 m do aparelho e a 0,45 m de altura do chão (ver Figura 2). Essas medidas foram tomadas como padrão em todas as fotos tiradas do aparelho de modo que houvesse o mínimo de diferença possível entre as fotos.



Figura 2 - Método adotado para fotografar o desenho feito pelo rugosímetro

O delineamento experimental foi em blocos casualizados e os tratamentos foram compostos por sete pressões de inflação no rodado do trator, P18, P20, P22, P24, P26, P28 e P30 representando respectivamente 124, 138, 152, 165, 179, 193 e 207 kPa e em cada tratamento foram realizadas três repetições.

Para realização deste trabalho foi utilizado um trator da marca MASSEY FERGUSON modelo 292, com potência nominal no motor de 79 kW (105 cv), peso de embarque de 3570 kg e peso em ordem de marcha 5400 kg com lastro líquido de 75%. O trator estava equipado com pneus diagonais, sendo os dianteiros 14.9 – 24 R1 e traseiros 18.4 – 34 R1, efetuando tráfego em marcha B4 reduzida a 1900 rpm, em velocidade teórica de 4 km.h⁻¹ e com a tração dianteira auxiliar (TDA) ligada.

Após o perfil mobilizado pelo rodado do trator, registrado em folha de cartolina pelo rugosímetro desenvolvido, foi utilizada uma mesa digitalizadora da marca WACON modelo BAMBOO TOUCH CTT – 460, para obtenção dos valores de área recalçada (A_r) e área de

elevação (Ae) por meio do programa computacional IMAGE J versão 1.42s. Os valores de profundidade de recalque (R) foram obtidos por meio do programa AUTOCAD 2010.

O empolamento do solo (Eq. 1) foi determinado pela razão entre a área de elevação e a área mobilizada pelos órgãos ativos do equipamento, segundo Gamero e Benez (1990).

$$Em = \frac{Ae}{Am} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que,

Em - empolamento, %;

Ae - área de elevação, cm², e

Am - área mobilizada, cm².

Os dados coletados foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e também a uma análise de regressão ambos realizados no programa SISVAR versão 5.1 build 72.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores médios obtidos de área mobilizada, área de elevação e empolamento para sete pressões de inflação no pneu do trator. A partir da Tabela 1 verificou-se que os valores apresentaram diferença significativa.

Tabela 1 - Valores de área do solo recalçada (cm²), área de elevação (cm²), empolamento (%) e profundidade de recalque (cm) para sete pressões de inflação no pneu

Tratamento	Ar (cm²)	Ae (cm²)	Em (%)	R (cm)
P18	34,51 a	15,61 a	26,64 a	2,17 a
P20	68,91 ab	22,15 a	32,27 ab	2,36 a
P22	69,79 ab	31,58 ab	34,44 ab	2,64 ab
P24	91,74 bc	33,55 ab	45,66 abc	3,88 bc
P26	120,64 c	51,07 bc	52,64 abc	4,26 c
P28	127,85 cd	67,44 cd	58,49 cd	4,63 cd
P30	167,29 d	87,40 d	74,06 d	6,61 d
C.V. (%)	16,19	17,86	21,8	12,16
Média Geral	97,247	44,113	46,316	3,65
R²	0,9691	0,4937	0,0951	0,9687

*Médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey p<0,05

Observando-se os valores de área mobilizada pode-se notar que conforme se reduz a

pressão de inflação reduz também a mobilização do solo. O tratamento P18 não diferiu estatisticamente dos valores de P20 e P22. O tratamento P24 não diferiu para os tratamentos P26 e para o P28 e o mesmo não diferiu para o P30.

Houve diferença entre os tratamentos P18, P24 e P30. Trabalhando-se com a pressão de inflação de P18 obteve-se baixos valores de mobilização do solo porque, neste caso, o pneu aumenta significativamente sua superfície de contato. Apesar de não diferir significativamente do tratamento P20 pode-se observar que a mobilização do solo dobrou com o aumento da pressão de P18 para P20.

Na pressão de 165 kPa, observa-se que o valor de área mobilizada foi intermediário quando comparado com 207 kPa, o valor foi aproximadamente a metade do encontrado com P30, portanto pode-se dizer que com o incremento de seis níveis na pressão de inflação do pneu dobra-se o valor de área de solo mobilizado. Resultado semelhantes de mobilização do solo também foi verificado por Doimo et al. (2011).

As condições de baixa pressão de inflação são ideais para o trabalho com máquinas agrícolas, pois proporcionam baixas mobilizações no solo, já no caso de altas pressões de inflação proporcionam altas mobilizações não sendo desejáveis, pois neste caso prejudicam a física e a química do solo semelhante ao exposto por Silva (1980).

Os dados obtidos de área de elevação mostram-se diferentes estatisticamente, conforme pode ser observado na Tabela 1. O tratamento P18 difere-se para os tratamentos P26, P28 e P30, assim como o tratamento P20 também difere estatisticamente. O tratamento P26 mostrou-se diferente estatisticamente para o tratamento P30.

Os valores de área de elevação também se mostraram crescente conforme aumenta a pressão de inflação no pneu. Este fato ocorreu porque conforme aumentou a pressão de inflação do pneu, diminuiu-se a deformação no sentido dos flancos do pneu e aumentou-se a deformação no sentido vertical do pneu, como consequência teve-se um aumento na profundidade de recalque no solo com o tráfego da máquina. Entretanto, Carvalho Filho et al., 2007 sugerem que o solo deve ser preparado com mínima mobilização, mantendo os restos culturais e profundidades de trabalho menores causando desta forma menores prejuízos ao solo. A umidade solo influi significativamente na mobilização conforme exposto por Doimo et al. (2009).

No empolamento verificou-se diferença estatística do tratamento P18 para os tratamentos P28 e P30. Os tratamentos P28 e P30 diferem-se estatisticamente dos tratamentos P20, P22, P24 e P26. Assim como os valores de área mobilizada e os valores de área de elevação verificou-se que foram crescentes conforme aumentou as pressões de inflação nos rodados do

trator, de acordo com a Tabela 1.

Este aumento justifica-se em função do empolamento provir de uma relação entre a área de solo mobilizado e a área de elevação, sendo estas áreas crescentes conforme aumenta a pressão resultando o mesmo comportamento para o empolamento.

Os valores de recalque, conforme observado na Tabela 1, diferiram-se significativamente dos tratamentos P18 e P20 para os tratamentos P24, P26, P28 e P30. Entretanto, no caso do tratamento P24 verificou-se diferença estatística somente para o tratamento P30 do mesmo modo que o tratamento P26.

Nota-se que os valores de recalque aumentam conforme aumenta a pressão de inflação no pneu. Este fato ocorreu justamente pelos mesmos motivos que ocasionaram as alterações nos valores de área mobilizada, área de elevação e empolamento. Conforme reduz a pressão de pneu, aumenta-se a dilatação no sentido dos flancos do pneu e conseqüentemente aumenta-se sua superfície de contato, conforme exposto por Mazetto et al. (2005), ocasionando desta forma menor profundidade de recalque. No caso de aumentar a pressão de inflação, aumentam-se as profundidades de recalque devido à redução da área de contato do pneu, conforme exposto por Mazetto (2004).

Feitosa et al. (2015) pressão interna dos pneus; área de contato e pressão de contato entre o pneu e o solo são alguns dos fatores que influenciam as modificações na estrutura do solo, citando a rugosidade do solo como parte da estrutura que é significativamente modificada.

A Figura 3 mostra que, conforme se reduz a pressão de inflação no rodado do trator diminuem-se também os valores de área de solo mobilizado, o mesmo acontece para os valores de área de elevação, o que provavelmente deve ter ocorrido em função do incremento da área de contato do pneu com o solo. Feitosa et al. (2014) também mostra este efeito de redução da área de contato do pneu com a redução da pressão interna.

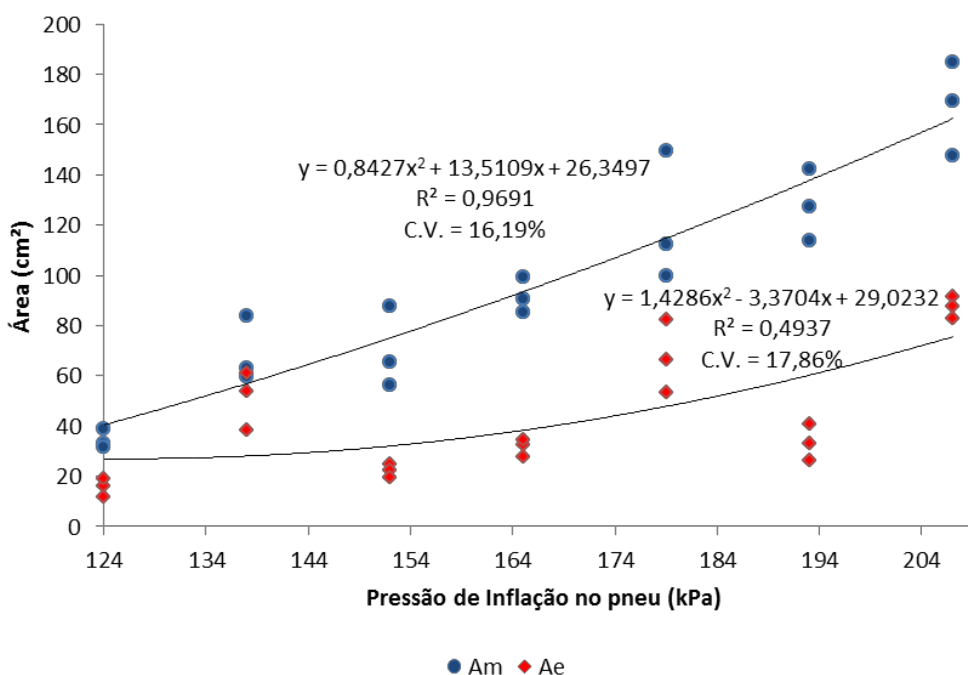


Figura 3 - Gráfico de regressão quadrática para área de solo mobilizado e para área de elevação para sete pressões de inflação dos pneus

Segundo Ramos et al. (2014) solos com alta rugosidade tem por consequência o aumento da porosidade interna aumentando, dessa forma, a capacidade do solo de armazenamentos interno e externo de água, nas depressões de sua superfície. Zoldan Junior et al. (2008) diz que a chuva diminui a rugosidade do solo, pois incidem diretamente na crista das microelevações separando as partículas as quais são depositadas na base das microdepressões do microrelevo, diante disso, vê-se a importância da cobertura vegetal no solo.

A Figura 4 mostra que, conforme aumenta a pressão de inflação no rodado do trator aumentam-se também as profundidades de recalque este fato ocorre devido à redução da superfície de contato do pneu conforme também obtido por Mazetto (2004).

Taghavifar e Mardani (2012) obtiveram em seu trabalho uma área de contato menor conforme se reduzia a pressão interna do pneu para uma mesma carga aplicada sobre o rodado. Reduzindo-se a área de contato do pneu com o aumento da pressão de inflação, tem-se maiores profundidades recalçadas pelo pneu no solo, conforme é exibido na Figura 4.

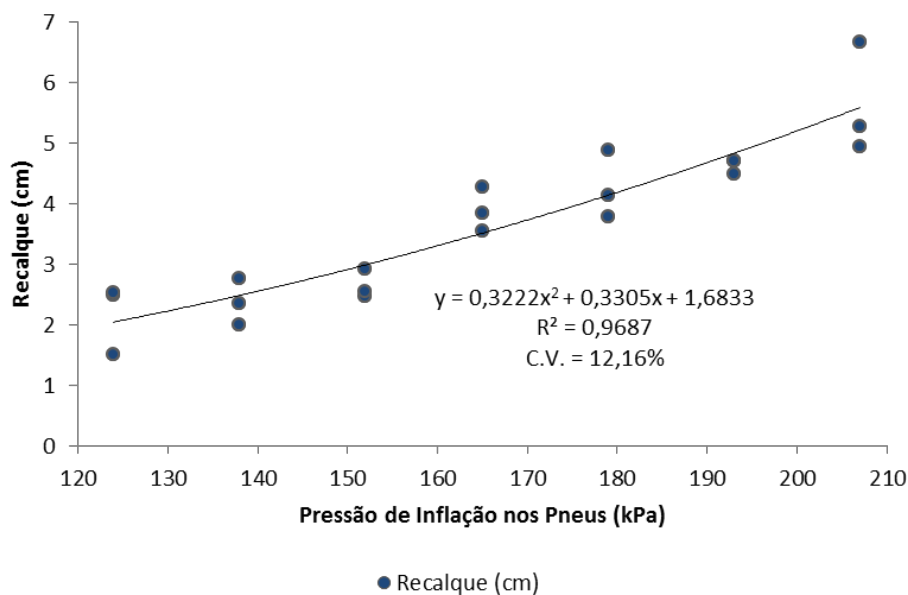


Figura 4 - Regressão quadrática de recalque para sete pressões de inflação nos pneus

CONCLUSÕES

A alteração da pressão de pneu causa alterações expressivas no solo. Incrementando-se a pressão de inflação causou aumento nos valores de área mobilizada, área de elevação, empolamento e recalque, os valores mostraram-se significativos.

O aumento dos valores das áreas, empolamento e recalque foram contínuos conforme se aumentava as pressões no pneu. Os melhores valores obtidos foram com a pressão de 124 kPa.

Conclui-se também que o desenvolvimento do aparelho foi viável e este mostrou-se preciso e funcional.

REFERÊNCIAS

CARVALHO FILHO, A.; BONACIM, J. L. G.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. Mobilização de um Latossolo Vermelho Acriférico em Função de Sistemas de Preparo do Solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24 n.3, p.1-7. 2008.

CARVALHO FILHO, A. CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.229-237, 2007.

DOIMO, L. S.; ALEIXO, E. V.; FROHLICH, W. F.; LEITE, F.; VOLK, L. B. S. Influência do teor de água no solo sobre um trator de 103KW no Arenito Caiuá. In: Semana de Agronomia, 7, 2009, Umuarama. **Anais...** Maringá: Masson, 2009. v.1, p. 13-16.

DOIMO, L. S.; FROHLICH, W. F.; LEITE, F.. Alterações na rugosidade do solo proporcionadas pelo tráfego de máquinas agrícolas. In: Semana de Agronomia, 9, 2011, Umuarama. **Anais...** . Umuarama: [s.n.], 2011. v.1, p. 5 - 8.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; DADALTO, J. P.; JÚNIOR, M. R. F.; SANTOS, L. N.. Determinação da área de contato entre os pneus de um trator agrícola e o solo em função de diferentes pressões internas dos pneus. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...** . Campo Grande: SBEA, 2014. p. 1-4.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES H. C.; TEIXEIRA M. M.; PAULO R. C. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p.117-127, fev. 2015.

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 de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.333-339, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000300015>.

GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: Ciclo de Estudos sobre Mecanização Agrícola, 4., 1990, Jundiaí. **Anais...** . Jundiaí: Fundação Cargil, 1990. p. 12 - 21.

LEITE, F.; DOIMO, L. S.; ALEIXO, E. V.; FROHLICH, W. F.; VOLK, L. B. S. Influência do teor de água no solo e lastragem líquida de um trator agrícola no Arenito Caiuá. **Revista Cultivando O Saber**, v.3, p.72-81, 2010.

MAZETTO, F. R. **Avaliação das metodologias de determinação das áreas de contato e deformações elásticas de pneus agrícolas em função das pressões de inflação e cargas radiais**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2004. 113p. Dissertação de Mestrado

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. B. Avaliação das áreas de contato de pneus agrícolas em função das cargas e pressões de inflação em superfície rígida. **Energia na Agricultura**, v.20, p.20-35, 2005.

MONTEIRO, L. de A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.551-560, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; URCHEI, M. A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.443-451, 2010.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. da. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F.. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. Cap. 6. p. 131-171.

RAMOS, J. C.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MARIOTI, J.; WERNER, R. S. Influência das

condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, [s.l.], v. 38, n. 5, p.1587-1600, out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832014000500024>.

SANTOS, J. D. **Alterações das propriedades físicas e químicas do solo em função de diferentes sistemas agrícolas**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 88p. Dissertação de Mestrado

SILVA, I. F. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1980, 78p. Dissertação de Mestrado

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Contact area determination of agricultural tractor wheel with soil. **Cercetări Agronomice în Moldova**, Chisinau, v. 45, n. 2, p. 15-20, 2012.

ZOLDAN JUNIOR, W. A.; BERTOL, I.; PEGORARO, R.; FABIAN, E. L.; ZAVASCHI, E.; VÁSQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo formada por escarificação e influenciada pela erosividade da chuva. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.353-362, fev. 2008.