

AVALIAÇÃO DE PNEUS PARA CARRETAS TRANSBORDO EM TANQUE DE SOLO

Leonardo de Almeida Monteiro¹, Fabrício Campos Masiero², Kléber Pereira Lanças³, Saulo Philipe Sebastião Guerra⁴, Marcella Guerreiro de Jesus⁵

RESUMO: O tipo construtivo e a pressão de inflação do pneu resultam em diferentes valores no incremento da compactação do solo devido às diferentes distribuições de peso em relação à área de contato pneu-solo. Estudou-se as áreas de contato, as deformações totais e a compactação causada no solo com dois tipos de pneus (diagonal e radial) utilizados em carretas transbordo de cana-de-açúcar. Os resultados relativos às áreas de contato mostraram maiores valores para o pneu radial. O pneu radial apresentou maior deformação nas menores pressões de inflação, o pneu diagonal se comportou de maneira inversa.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo, deformação de rodados pneumáticos, pressão de inflação.

EVALUATION OF TIRES CARRETAS LANDING IN TANK SOIL

ABSTRACT: The constructive type of the tire and pressure of used inflation results in different values in the increment of the compacting of the due soil the different weight distributions in relation to area of contact tire-soil. It was studied in this work: the contact areas, the total deformations and the compacting caused in the soil of two types of tires of sugarcane (diagonal and radial) change. The relative results to the contact areas showed larger values for the radial tire. The radial Tire presented larger deformation in the smallest inflation pressures, the diagonal tire behaved in an inverse way.

KEYWORDS: compacting of the soil, deformation of the turned tires, inflation pressure.

1. INTRODUÇÃO

No estudo da interação pneu/solo, existe a necessidade de descrever a área de contato entre os mesmos. A carga no pneu e

a área de contato resultam em pressão no solo, o que implica em alterações nas características físicas do mesmo (HALLONBORG, 1996).

O nível de compactação superficial depende da pressão de contato, enquanto que

¹Doutorando em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, - FCA-UNESP – Botucatu - SP aiveca@fca.unesp.br; ²Doutorando em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, - FCA-UNESP – Botucatu – SP; ³Professor Titular – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, - FCA-UNESP – Botucatu – SP; ⁴Professor Assistente Doutor – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, - FCA-UNESP – Botucatu – SP; ⁵Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual do Norte do Paraná, - Uenp, Campus Bandeirantes, PR.

a compactação profunda depende da área de contato, largura do pneu e da carga suportada pelo mesmo (PORTERFIELD e CARPENTER, 1986).

A pressão de inflação e a quantidade de carga sobre o rodado motriz é a combinação de maior influência no desempenho do trator agrícola (YANAI, 1994).

Recalque é a designação técnica com base no conceito de mecânica do solo. Trata-se do rebaixamento do leito de rolamento pelos rodados, causando uma redução de volume e macro poros, com expulsão do ar e água neles existentes (MIALHE, 1993).

Pneus de mesma largura podem formar diferentes profundidades de recalque se inflados a pressões diferentes, ou seja, pressões de enchimento maiores implicam em maiores profundidades de recalque. Em seu estudo, as configurações que mais causaram recalque do solo foram tanto pneus estreitos quanto largos (MCDONALD e STOKES, 1995).

Em solo firme o pneu deforma mais que em solo solto, enquanto que em solos soltos ambos deformam primeiramente o solo e depois o pneu (VANDENBERG e GILL, 1962).

A elevação gradativa das cargas radiais evidenciou aumento das áreas de contato, as deformações elásticas, dos perfis de recalque dos pneus e da resistência do solo à penetração, independentemente do tipo de rodado pneumático (MAZETTO et al., 2004).

Calibrar os pneus na pressão correta resulta em significativa economia de tempo, dinheiro e minimiza problemas com compactação do solo, além de reduzir os impactos causados pelas irregularidades do terreno (UPADHYAYA e LANÇAS, 1994).

Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar as áreas de contato, deformação total e resistência à penetração do solo de dois rodados agrícolas (600/50R22,5 radial e 600/50-22,5 diagonal) com dimensões idênticas em quatro pressões de inflação: 206,8 kPa(30 psi); 241,3 kPa (35 psi); 282,7 kPa (41) e 344,7 kPa (50 psi) e submetidos a cargas radiais de 20; 30; 40 e 51,5 kN, em superfície simulada de solo agrícola.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Campus de Botucatu - SP.

Para a determinação da área de contato, deformação total e resistência à penetração dos pneus, foram utilizadas uma prensa hidráulica constituída de perfis e tubos de aço-carbono, acionada por meio de um pistão hidráulico. Sob a prensa, um carro móvel sustentava um tanque de solo, apoiado sobre rodas, as quais deslizavam sobre trilhos (Figura 1).

O tanque de solo, preenchido com uma amostra de Latossolo Vermelho, textura média, apresentando teor de água de 0,11 kg kg⁻¹ (11%), foi dividido em dez camadas de 0,05 m. Após o preenchimento de cada camada do tanque, foi utilizado um rolo compactador para nivelar e compactar o solo.

Dois modelos de pneus agrícolas existentes no mercado foram ensaiados, um com carcaça de construção diagonal (600/50-22,5) e outro com carcaça de

construção radial (600/50R22,5) conforme
Figura 2.

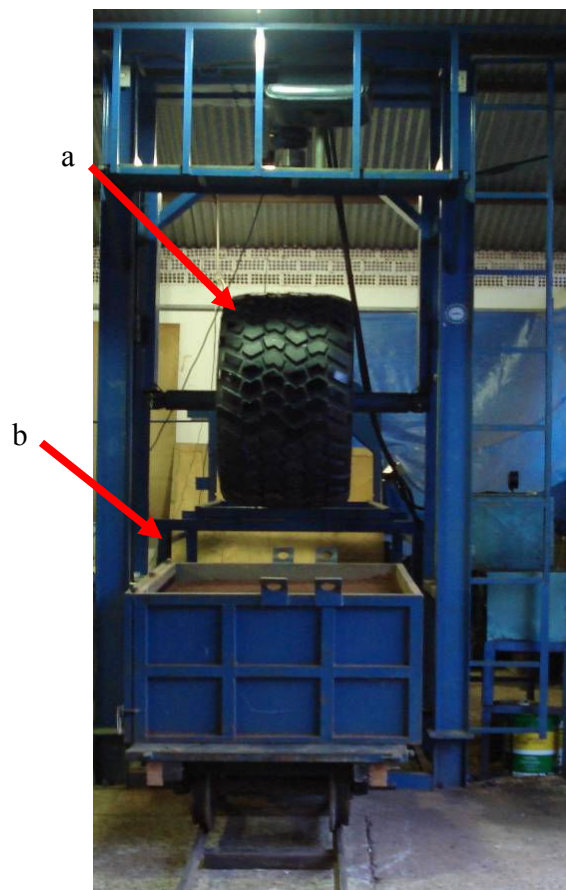


Figura 1. Prensa hidráulica (a) e tanque de solo (b)



Figura 2. Pneus ensaiados: diagonal (a) e radial (b)

Os pneus agrícolas foram inflados com quatro pressões usuais, sendo: 206,8 kPa (30 psi); 241,3 kPa (35 psi); 282,7 kPa (41 psi) e 344,7 kPa (50 psi).

As cargas radiais foram atribuídas aos pneus de forma crescente, sendo a carga mínima de 20 kN e os carregamentos subsequentes de 30, 40 e 51,5 kN.

O pneu foi fixado em um eixo da prensa hidráulica e, segundo os procedimentos de carregamentos adotados, realizou-se a prensagem do rodado sobre o solo, obtendo a estampa da banda de rodagem do pneu e seu recalque sobre a superfície deformável.

Após cada prensagem, um quadro de madeira foi colocado e ajustado sobre o solo para ser fotografado junto com a área de contato do pneu, com a finalidade de corrigir as possíveis distorções focais da máquina fotográfica e, por meio de uma câmera fotográfica digital, foram tiradas fotos de

cada área de contato (Figura 3), utilizando-se de uma plataforma fixa e elevada na estrutura da respectiva prensa hidráulica.

Numa etapa final, as fotos digitais foram descarregadas em um microcomputador e, finalmente, as leituras gráficas dessas áreas de contato foram obtidas utilizando o software AUTOCAD®, sendo as áreas ajustadas, empregando-se a relação expressa na Equação 1, (MAZETTO et al., 2004).

$$Arp = (Arq / Aqf) \times Apf \quad (1)$$

onde:

Arp - área real do pneu (m²);

Arq - área real do quadro de madeira (m²);

Apf - área do pneu na foto obtida através do AUTOCAD® (m²);

Aqf - área do quadro na foto, também obtida através do AUTOCAD® (m²).

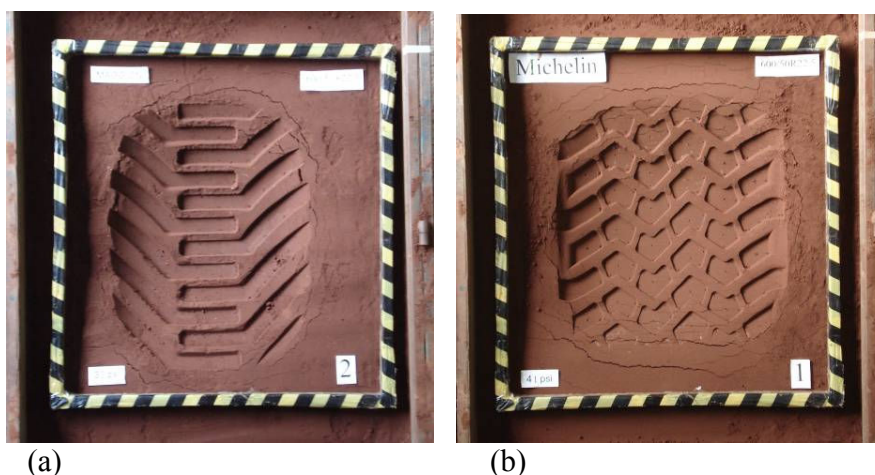


Figura 3. Área de contato dos pneus e diagonal (a) radial (b) com o solo.

As deformações totais consistem na somatória da deformação do pneu e do recalque do rodado pneumático no solo, devido à superfície deformável em que os pneus foram prensados, seguindo os procedimentos de carregamentos adotados, com as respectivas combinações de pressões de inflação para cada pneu.

Para a determinação das deformações totais, foi acoplada uma escala graduada na estrutura da prensa hidráulica. Avaliaram-se na escala graduada a dimensão referente ao contato inicial do pneu no solo e as deformações totais devido às cargas aplicadas ao eixo do rodado pneumático, essa última, obtida pela diferença com a primeira.

Após a prensagem do pneu sobre o solo na carga axial de 51,5 kN para cada condição, foi determinada a resistência do solo à penetração por um penetrômetro eletrônico e para aquisição e armazenamento dos dados utilizou-se um Datalogger

“CR23X - micrologger” da CAMPBELL SCIENTIFIC.

Avaliou-se a resistência do solo à penetração na área de contato e externa à mesma (testemunha), com a finalidade de obter-se o incremento da resistência do solo à penetração de cada pneu ao sofrer a aplicação das cargas radiais. Efetuaram-se oito perfurações longitudinalmente e oito perfurações transversalmente a uma distância de 0,10 m e quatro perfurações aleatórias externamente às áreas. Utilizou-se o teste de Tukey a 0,05 de significância para comparação dos resultados.

Os tratamentos foram descritos conforme o tipo de pneu e pressão de inflação utilizada, sendo:

R30 – Pneu radial inflado com 30 psi;
 R35 – Pneu radial inflado com 35 psi;
 R41 – Pneu radial inflado com 41 psi;
 R50 – Pneu radial inflado com 50 psi;
 D30 – Pneu diagonal inflado com 30 psi;
 D35 – Pneu diagonal inflado com 35 psi;

D41 – Pneu diagonal inflado com 41 psi;
D50 – Pneu diagonal inflado com 50 psi.

Para estimar a relação dos dados de área de contato e deformação total de cada pneu e pressões utilizadas com as cargas radiais, foi estimado um modelo de regressão linear simples. A estimação dos parâmetros e os testes de significância foram realizados pelo programa Excel – Microsoft Office 2007. Adotou-se a seguinte Equação 2 para o modelo estatístico:

$$Y = B_0 + B_1X \quad (2)$$

Onde:

Y – Área de contato (m^2) ou deformação total (mm);

B_0 – Coeficiente linear;

B_1 – Coeficiente angular;

X – Carga radial (N).

Para testar a significância das regressões utilizou-se o teste F, enquanto a qualidade do ajustamento da equação de regressão linear foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste estatístico F foi realizado para todos os modelos de regressão linear significativo a 5% de probabilidade, indicando que a inclinação da reta foi significativamente diferente de zero, o que indicou que a área de contato aumentou linearmente com o acréscimo da carga aplicada sobre os pneus, ou seja, indicando maior área de contato nos dois modelos de

pneus analisados e pressões trabalhadas, sendo que os modelos lineares explicaram, em média, 97% da variação observada para área de contato, em m^2 .

Verificou-se que em todas as equações o coeficiente de regressão foi diferente de zero, comprovando existir uma relação entre X e Y, neste caso positiva, determinando que área de contato dependeu da carga aplicada sobre o pneu da seguinte forma: para cada acréscimo de 10 N de carga sobre o pneu a área de contato houve um aumento de $0,00002 m^2$ para o pneu radial inflado com 344,7 kPa (50 psi), $0,00003 m^2$, para o pneu radial inflado com 206,8 kPa (30 psi) e 282,7 kPa (41 psi) e pneu diagonal com 241,3 kPa (35 psi) e 344,7 kPa (50 psi) de inflação e $0,00004 m^2$ para o pneu radial trabalhado com a pressão de 241,3 kPa (35 psi) e no pneu diagonal com as pressões de 206,8 kPa (30 psi) e 282,7 kPa (41 psi) (Tabela 1).

A elevação gradativa das cargas radiais evidenciou um aumento das áreas de contato pneu-solo (Figura 4) e das deformações (Figura 5) independente do tipo construtivo do pneu. Esse comportamento corrobora com os resultados obtidos por Mazetto et al.(2004).

Observou-se que o pneu radial em todas as cargas estudadas, apresentou a maior área de contato pneu-solo, sendo que, para cargas de até 40 kN a pressão recomendada foi de 282,7 kPa (41 psi) e para cargas acima de 40 kN indicou-se 241,3 kPa (35 psi) de inflação no pneu. O pneu diagonal apresentou maior área de contato em todas as cargas na pressão de 344,7 kPa (50 psi) (Figura 4).

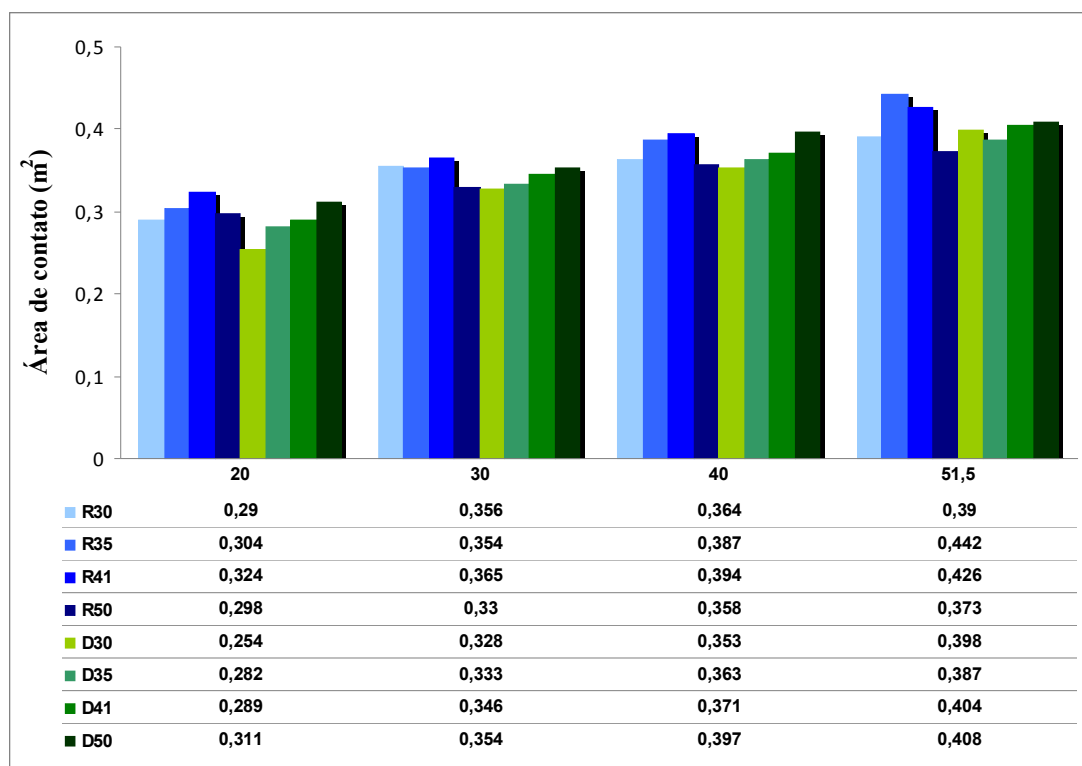


Figura 4. Valores de área de contato pneu-solo dos pneus radial e diagonal nas quatro pressões utilizadas e quatro cargas radiais.

O pneu diagonal inflado com 206,8 kPa (30 psi) apresentou menor incremento da resistência do solo à penetração, comprovando que a utilização da baixa pressão de inflação é a recomendada, mesmo para pneus diagonais. O pneu radial apresentou os menores valores de incremento nas pressões de inflação sendo, respectivamente: 206,8 kPa (30 psi), 241,3 kPa (35 psi) e 344,7 kPa (50 psi), verificando nesse tipo construtivo de pneu uma maior

faixa de pressão de inflação utilizável. O pneu radial inflado com 282,7 kPa (41 psi) e diagonal inflado com 344,7 kPa (50 psi) e 241,3 kPa (35 psi) obtiveram os maiores incrementos na resistência do solo à penetração (Tabela 2). Evidenciando que a correta calibragem dos pneus resulta em minimizar os problemas com a compactação do solo, de acordo com Upadhyaya e Lanças (1994).

Tabela 1. Equações de regressão linear, coeficiente de determinação e valor F de significância para os valores de área de contato pneu-solo.

PNEU	Equação	R ²	F
R 30	$Y = 0,00003X + 0,2465$	0,86	15*
R 35	$Y = 0,00004X + 0,2203$	0,99	93*
R 41	$Y = 0,00003X + 0,2641$	0,99	7095*
R 50	$Y = 0,00002X + 0,2547$	0,97	21*
D 30	$Y = 0,00004X + 0,1791$	0,95	65*
D 35	$Y = 0,00003X + 0,2252$	0,96	91*
D 41	$Y = 0,00004X + 0,2278$	0,96	650*
D 50	$Y = 0,00003X + 0,2555$	0,93	7*

*, significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Valores das médias do incremento máximo da resistência do solo à penetração em tanque de solo em profundidade de 0 a 0,4 m.

Fatores	Incremento da Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	
R30	0,667	CD
R35	0,730	BC
R41	0,800	AB
R50	0,760	ABC
D30	0,590	D
D35	0,857	A
D41	0,753	ABC
D50	0,807	AB
Desvio Padrão	0,040	
Média	0,745	
C.V. (%)	5,39	
DMS	0,114	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Pneus diagonais comportam-se como observaram (McDonald; Stokes 1995), conforme se aumenta a pressão de inflação no rodado aumenta-se a deformação até um

O pneu radial apresentou maiores deformações nas menores pressões de inflação ao contrário de como o pneu diagonal se comportou. Isso comprova que as menores pressões são mais eficientes para o

limite de 282,7 kPa (41 psi) de pressão no rodado. No pneu radial o aumento da pressão de inflação teve tendência em diminuir a deformação total (Tabela 3).

amortecimento, porém nem sempre para se obter menor recalque em solos soltos para pneus de construção radial. O pneu de construção diagonal obteve maior recalque nas maiores pressões de inflação devida os

menores valores de área de contato pneu-solo nestas pressões (Figura 5).

Nota-se que a variável perfil do recalque do pneu no solo apresentou diferença significativa para todas as cargas radiais avaliadas, sendo que o valor da variável foi maior para a carga radial de 51,5 kN, sofrendo decréscimos conforme diminuíam as cargas radiais aplicadas sobre os pneus agrícolas (Figura 5). Quanto maior a carga radial em

solo solto maior a deformação do pneu, devido o solo sofrer primeiramente a deformação e após certo limite o pneu começar a sofrer deformação (VANDENBERG e GILL, 1962).

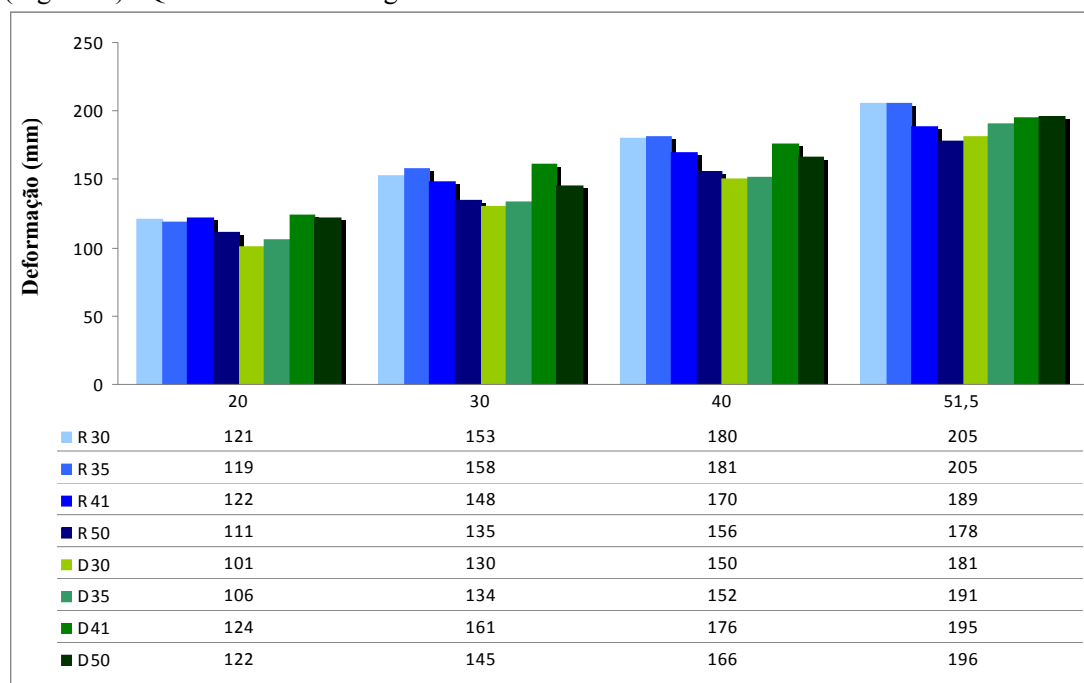


Figura 5. Valores de deformação total dos pneus radial e diagonal nas quatro pressões utilizadas e quatro cargas radiais.

Tabela 3. Equações de regressão linear, coeficiente de determinação e valor F de significância para os valores de deformação total do pneu e solo.

PNEU	Equação	R ²	F
R 30	Y = 0,0266X + 70,576	0,99	256*
R 35	Y = 0,0268X + 71,026	0,97	1277*
R 41	Y = 0,0213X + 82,019	0,99	146*
R 50	Y = 0,0212X + 69,971	0,99	1388*
D 30	Y = 0,0249X + 52,449	0,99	142*
D 35	Y = 0,0262X + 53,032	0,99	34*
D 41	Y = 0,0217X + 87,224	0,95	1316*
D 50	Y = 0,0233X + 74,869	0,99	266*

*, significativo a 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

A combinação entre tipo de pneu e cargas radiais mostrou maiores valores de área de contato para o pneu radial.

O pneu radial apresentou maior deformação total nas menores pressões de inflação, o pneu diagonal resultou em maior deformação nas maiores pressões de inflação.

Os maiores incrementos da resistência do solo à penetração foram obtidos pelo pneu diagonal inflado com as pressões: 241,3 kPa (35 psi) e 344,7 kPa (50 psi) e para o pneu radial inflado com 282,7 kPa (41 psi).

REFERÊNCIAS

HALLONBORG, U. Super ellipse as tyre-ground contact area. *J. Terramechanics*, v.33, n.3, p.125-132, 1996.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, 2004.

MCDONALD, T.P.; STOKES, B.J.; AUST, W.M. *Soil physical property changes after skidder traffic*. Southern Forest Experiment Station, Auburn, 1995.

MIALHE, L.G. O estado da arte e perspectivas da utilização de rodados pneumáticos de baixa pressão na área agrícola. **In: ENCONTRO SOBRE PNEUS DE ALTA FLUTUAÇÃO E BAIXA PRESSÃO NAS ÁREAS AGRÍCOLA E FLORESTAL**, Piracicaba, 1993. Piracicaba: ESALQ, 1993. p.1 – 17.

PORTERFIELD, J.W.; CARPENTER, T.G. Soil compaction: an index of potential compaction for agricultural tires. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.29, n.4, p.917-22, 1986.

UPADHYAYA, S.K.; LANÇAS, K.P. **How to get the most from radial ply tractor tyres**: a guide to select the correct inflation pressure. Davis: University of California, Biological and Agricultural Engineering Department, 1994. 29p.

VANDENBERG, G.E.; GILL, W.R. Pressure distribution between a smooth tire and the soil. *Transactions of the ASAE*, v.5, n.2, p.105-107, 1962.

YANAI, K. **Influência da pressão de inflação e da carga sobre o rodado no desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar**. 1994. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.