

# ÁREA DE CONTATO E VOLUME DE SOLO DEFORMADO POR PNEU AGRÍCOLA DIAGONAL EM DIFERENTES PRESSÕES DE INFLAÇÃO

CÉSAR A. A. BARBIST<sup>1</sup>, ARTHUR BARBIST JR.<sup>1</sup>, MARTIN STREMLow<sup>2</sup>, OTÁVIO J. G. ABI-SAAB<sup>3</sup>, RICARDO RALISCH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Alunos do curso de Agronomia, UEL, Londrina, PR. – UEL CP 6001 Londrina, PR. CEP 86051-990

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Mecânico, responsável pela Horizon Máquinas Agrícolas LTDA. – UEL CP 6001 Londrina, PR. CEP 86051-990

<sup>3</sup> Docentes do curso de Agronomia – UEL CP 6001 Londrina, PR. CEP 86051-990 [abisaab@uel.br](mailto:abisaab@uel.br) e [ralisch@uel.br](mailto:ralisch@uel.br).

**Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa - PB**

**RESUMO:** O presente trabalho visou avaliar os efeitos da variação da pressão de inflação de um pneu agrícola Goodyear 23.1-30 Dyna Torque II, na área de contato deste com o solo e no volume de solo deformado, em condições estáticas. Avaliaram-se três pressões de inflação, sendo 50% da recomendada, a recomendada e 50% a mais que a recomendada. Para a avaliação de deformação do solo propôs-se nova metodologia que avaliou tal volume através da moldagem da impressão da marca impressa em caixa de areia. Os resultados permitiram concluir que a metodologia proposta é confiável, que as variações de pressão de inflação e área de contato do pneu com o solo tem comportamento inverso mas não são proporcionais e que a área de contato e o volume de solo deformado pelo pneu têm comportamentos semelhantes.

**PALAVRAS CHAVE:** PNEU AGRÍCOLA DIAGONAL; DIFERENTES PRESSÕES DE INFLAÇÃO; ÁREA DE CONTATO; VOLUME DE SOLO DEFORMADO.

## **CONTACT AREA AND SOIL VOLUME DEFORMED BY AN AGRICULTURAL DIAGONAL TIRE AT DIFFERENT INFLATION PRESSURES**

**ABSTRACT:** The present work aimed to evaluate the effects of inflation pressure variation in a Goodyear 23.1-30 Dyna Torque II agricultural tire, on tire contact area with the soil and on deformed soil volume, under static conditions. Three inflation pressures were evaluated: 50% of the recommended pressure; the normally recommended pressure; and 50% above the recommended pressure. A new methodology was proposed to evaluate soil deformation, by which soil volume was evaluated by molding the tire marks imprinted in a sand box. The results allowed to conclude that the proposed methodology is reliable; inflation pressure variations and tire contact area with the soil have inverse but not proportional behaviors, while tire contact area and soil volume deformed by the tire have similar behaviors.

**KEYWORDS:** AGRICULTURAL DIAGONAL TIRE; DIFFERENT INFLATION PRESSURES; CONTACT AREA; DEFORMED SOIL VOLUME.

**INTRODUÇÃO:** O sistema de rodados pneumáticos dos tratores agrícolas possui várias funções, dentre elas otimizar o esforço tratório e absorver as irregularidades do solo, associado a uma reduzida degradação do solo e uma racionalização dos custos de produção. Neste aspecto passa a assumir tanta importância quanto à escolha certa dos pneus, a correta manutenção destes. Desta manutenção faz parte a periódica adequação da pressão de inflação. Mas a que pressão? Será que não seria possível uma variação da pressão de inflação dos pneus de acordo com o tipo de operação a ser realizada, para aumentar a eficiência operacional e diminuir a compactação do solo? Depende do comportamento do pneu nestas variações. Este artigo traz uma análise do comportamento de um pneu agrícola de tração diagonal, o mais comum no mercado brasileiro, em 3 diferentes pressões, quanto à variação da superfície de contato com o solo e o volume de solo mobilizado por ele, em condições estáticas.

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:** Um dos primeiros equipamentos para ensaio dinâmico de pneus agrícolas foi desenvolvido por CLARK e LILJEDAHN (1969), no Laboratório Nacional de Máquinas do Preparo do Solo (NTML) dos Estados Unidos. Posteriormente, UPADHYAYA et al. (1986) construíram um equipamento para testes de rodas e pneus denominado Máquina para Teste de Rodas Individuais (Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine), tendo como principal objetivo o estudo da interação entre o solo e dos pneumáticos. No Brasil LANÇAS (1996) avaliou o desempenho operacional de três pneus radiais, em função de três pressões de inflação – alta: 165,5 kPa (para todos os pneus), “baixa/correta”: 49; 90 e 125 kPa (para cada tipo de pneu traseiro, respectivamente) e “baixa/correta”: 42; 69 e 97 kPa (para cada tipo de pneu dianteiro, respectivamente), da lastragem (20 e 24 kN) e da patinação das rodas de tratores agrícolas. O autor concluiu que a pressão de inflação do pneu influenciou significativamente nos coeficientes de tração líquido médio (0,35) e bruto médio (0,45) e na eficiência trativa máxima (71,1%), com melhores resultados para as pressões recomendadas (“baixa/correta”), em função da carga no rodado. Este trabalho teve por objetivo avaliar a metodologia utilizada para determinação da área de contato e do volume de deformação do solo, simulado por uma caixa de areia, causado por um pneu agrícola em condição estática, com diferentes pressões de inflação, visando ilustrar o assunto.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para se avaliar somente o efeito das diferentes pressões, adotou-se um trator JOHN DEERE 6405 4x4, sem cabine, com eixo traseiro tipo pinhão e cremalheira com peso total de 41,69 kN e 25,02 kN no eixo traseiro, utilizando pneus traseiros diagonais GOODYEAR (23.1-30 Dyna Torque II), com garras longas e curtas alternadas. Este pneu é considerado como de grande área de contato com o solo e indicado para minimizar os efeitos de compactação e melhorar a capacidade de tração, Visando analisar os efeitos em condições estáticas, construiu-se junto a Horizon Comercial Agrícola Ltda., localizada em Londrina, PR., 2 caixas feitas de tijolo no nível do solo, com o tamanho de 1,70 x 1,50 x 1,00m de profundidade, preenchidas com areia, onde cada rodado do eixo traseiro do trator imprimiu sua marca. Empregou-se 2 pranchas de madeira, água para umedecer a areia, dois macacos hidráulicos, desempenadeira, nível de pedreiro e gesso de fundição de secagem rápida, utilizado na construção civil, para obtenção dos moldes em alto relevo. Empregou-se 3 pressões de inflação dos pneus, sendo esta a única variável em análise, todos os outros fatores foram mantidos constantes. As pressões adotadas foram: normal, recomendada pelo fabricante 126,58 kPa (18psi); baixa, metade da normal 63,29 kPa e alta, 50% maior que a normal 189,87 kPa. Estas variações acentuadas na pressão visaram identificar comportamentos significativos na estrutura do pneu e não analisar condições operacionais. Para se ter a impressão da marca do pneu em condições estáticas, o trator foi conduzido pelas pranchas de madeira sobre as caixas, após o preparo da areia. No local o trator foi erguido, as pranchas retiradas e o trator novamente abaixado, para que os pneus imprimissem sua marca em cada caixa de areia. Portanto, cada entrada do trator forneceu 2 repetições. As posições do pneu foram aleatórias, justamente para verificar se havia efeitos diferentes dependendo das posições das garras. As marcas dos pneus impressas na areia permitiram visualizar e demarcar então a área de contato dos pneus com solo e com isso calculou-se a área de contato entre o pneu e o solo, pela equação da elipse, que considera o levantamento das dimensões de seus eixos maior e menor :  $A = b \times L \times 0,78$ ; onde: b é eixo menor da elipse e L o eixo maior da elipse. (MAZETTO e LANÇAS, 2003). Esta área foi empregada para calcular a pressão dos rodados sobre o solo, considerando a massa do eixo traseiro. Para o cálculo do volume de solo deformado, colocou-se uma moldura feita de madeira (0,85 x 0,95m) sobre cada marca de pneu impressa na areia, preenchida com uma calda de 20 litros de gesso, na proporção de 1,2 Kg de gesso de secagem rápida para cada litro de água e misturava-se por aproximadamente 5 minutos, até que o gesso tornava-se cremoso, ponto ideal para colocá-lo na marca sem danos. Todos os espaços eram preenchidos com canecas, depois colocou-se gesso até o limite da moldura. Após 20 minutos para que o gesso chegasse a sua cura total o molde era retirado da caixa de areia, com a impressão da marca do rodado em alto relevo. Para avaliação do volume de deformação do solo causada pelo pneu, as placas de gesso foram emborcadas em um tanque de vidro com medidas de 0,86 x 0,79 x 0,20m, completamente cheio de água. Após a retirada da placa, empregou-se uma bureta de 500ml, outra de 100ml e uma pipeta para avaliar o volume de água retirada, que representa o volume da marca e do solo deslocado. Por não haver citações sobre esta metodologia, testou-se sua precisão, com uma placa de volume conhecido, empregando a metodologia descrita por SCHNEIDER (1991)., onde se avaliou: Erro sistemático (Es); Erro aleatório (Ea); Erro

(E), Incerteza de medição (IM); Resultado da medição (RM) e Dispersão de medição (DM). Os resultados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado, aplicando um teste de Tukey com 5% de significância.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O Quadro 1 traz os dados das 10 medições sucessivas realizadas com uma placa, para verificar a precisão da metodologia, com um coeficiente de variação de 0,59%.

**Quadro 1.** Valores obtidos nas 10 repetições em ml

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	Média	D.P.	CV %
Val.	3550	3500	3485	3475	3493	3510	3500	3486	3490	3500	3498,9	20,5	0,59

O Quadro 2 traz os resultados da análise proposta pelo autor para definir a dispersão dos dados e o resultado da medição a ser considerado a partir da média. Nota-se que o valor deste resultado calculado fica abaixo de 3% de variação do dado obtido, portanto para este tipo de avaliação pode-se adotar a média obtida.

**Quadro 2.** Caracterização metrológica do sistema de medição da metodologia utilizada para medição do volume da placa, a partir dos parâmetros: Erro sistemático (Es), Dispersão da medição (Dm), Incerteza da medição (IM) e Resultado da medição (RM).

Medição	Es (ml)	Dm (95%)	IM (ml)	RM (ml)
1	-1,1	47,15	48,25	M+/- 48,25

Considerando que os pneumáticos atuam como absorvedores das irregularidades do terreno devem ser, portanto, elásticos. Esta elasticidade é promovida pela associação da estrutura de construção e do material dos pneus e da pressão pneumática interna. Genericamente, a pressão interna de inflação atua inversamente à deformação do pneu resultante da aplicação de uma força, seja a da massa sobre o rodado, seja a da tração ou ambas. Nos tratores agrícolas de pneus, esta deformação é essencial para aumentar a área de contato com o solo e melhorar a tração. Mas é fundamental também para reduzir a pressão por área sobre o solo e minimizar os efeitos da compactação. Logo a adequada pressão de inflação influencia em todos estes aspectos e está associada à área de contato do pneu com o solo. O Quadro 3 nos mostra os dados obtidos com as 3 diferentes pressões de inflação do pneu referentes aos eixos maiores e menores da elipse de contato, a área decorrente destas dimensões e a pressão calculada do rodado sobre o solo, considerando as áreas calculadas. Primeiro ponto a se destacar é que a variação da área de contato não é proporcional à variação da pressão interna. Conseqüentemente, também não é proporcional a pressão do rodado sobre o solo. Isto está em desacordo com que encontraram MAZETTO e LANÇAS, (2003), quando afirmaram que a pressão do rodado sobre o solo é equivalente à pressão interna do pneu. Ao menos para o tipo de pneu testado nas condições aqui descritas, isto não se confirmou.

**Quadro 3.** Dados da elipse, área de contato e pressão do rodado sobre o solo para as diferentes pressões de inflação do pneu baixa, média e alta.

Tratamento	Inflação pneu kPa	Eixo maior m	Eixo menor m	Área contato m <sup>2</sup>	Pressão solo kPa
Baixa	63,29	0,669	0,525	0,274	45,67
Média	126,58	0,635	0,470	0,233	53,73
Alta	189,87	0,549	0,438	0,187	66,81

Analisando os efeitos da variação da pressão de inflação do pneu sobre o comprimento dos eixos da elipse de contato pneu/solo, constata-se que, de fato estas dimensões têm um comportamento inverso ao da pressão de inflação, sendo maior a área de contato quanto menor for a pressão. Porém, a variação nos eixos é ainda menos linear, sendo que às baixas pressões a deformação lateral é mais importante, enquanto que nas altas pressões é a deformação longitudinal que se reduz mais acentuadamente, confirmando que a deformação destes pneus não é linear. Como sugestão para analisar a forma de deformação do pneu em diferentes pressões de inflação, avaliou-se o volume de solo deformado, pelo método desenvolvido para este estudo. O Quadro 4 traz os dados referentes aos valores médios das áreas de contato e dos volumes de solo deformado. Estatisticamente, todas as médias foram significativamente diferentes entre os tratamentos aplicados, tanto para área de contato como para volume de solo deformado. Isto confirma as informações da relação entre pressão interna do pneu e sua deformação.

**Quadro 4** Valores médios da área de contato e volume deformado, nas diferentes pressões internas do pneu.

Tratamento	Área contato m <sup>2</sup>	Volume deformado m <sup>3</sup>
Baixa	0,272 a	0,00388 a
Média	0,233 b	0,00355 b
Alta	0,187 c	0,00311 c

Médias com letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

A área de contato do pneu com o solo aumentou significativamente com a redução da sua pressão interna. Conseqüentemente, a pressão do rodado sobre o solo diminuiu, como pode ser verificado no Quadro 4. A expectativa nestes casos é de que estes fatores associados diminuam a penetração do pneu no solo, reduzindo o volume mobilizado. De fato o volume mobilizado de solo foi significativamente superior nas pressões de inflação baixas e inferior nas pressões altas. Supõe-se que esta reação invertida é devido às garras dos pneus agrícolas de tração, que são construídos visando aumentar a capacidade de tração, maciços e dotados de reforços na sua estrutura. Tais aspectos promovem uma maior rigidez na parte central da banda de rodagem do pneu, fazendo com que as garras penetrem no solo, mesmo às baixas pressões de inflação. Já nas altas pressões, a redução da área de contato ocorre principalmente em função da redução da deformação longitudinal do pneu, fato que reduz o número de garras em contato com o solo e reduz o volume de solo deformado. Em geral, o comportamento do volume de solo deformado é semelhante ao da área de contato do pneu com o solo.

## 6. CONCLUSÕES

- A metodologia empregada de avaliação do volume deformado pelo pneu é confiável;
- A variação da área de contato do pneu com o solo não é proporcional à variação da pressão de inflação do pneu;
- O volume de solo deformado é equivalente à área de contato do pneu com o solo, para este tipo de pneu.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARK, S.J.; LILJEDAHL, J.B. Model studies of single, dual and tandem wheels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.12. p.240-5, 1969.

LANÇAS, K.P. Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas. 1996. 172 f. **Tese** (Livre Docência em Mecânica Aplicada) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

MAZETTO, F.R.; LANÇAS, K.P. Quem compacta menos?. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, Rs, v.III, n.22, p.06-08, 2003.

SCHNEIDER, C. Técnicas de pesquisa experimental. Laboratório de metrologia. Universidade Federal de Santa Catarina, 1991. 316p.

UPADHYAYA, S.K.; WULFSOHN, D.; GLANCEY, J.L. Development of a Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, p.1243-6, 1986.