

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE INFLAÇÃO DO PNEU DO TRATOR NA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

INFLUENCE OF TIRE TRACTOR PRESSURE INFLATION IN THE CONE INDEX RESISTANCE

MACHADO, Antônio L.T.^{1*}; REIS, Ângelo V. dos²; FERREIRA, Mauro F. P.³; MACHADO, Roberto L. T.⁴; MACHADO, Andréa L. C.⁵; BAUER, Gelson B.⁶

RESUMO

Analisou-se, através da utilização de um penetrômetro de impacto, a possibilidade de aumento da resistência do solo à penetração devido ao trânsito de um trator, quando seus pneus de tração são utilizados com diferentes pressões de inflação. O trabalho foi desenvolvido num Planossolo Hidromórfico, o qual no momento dos testes apresentava-se com cobertura vegetal de campo nativo e teor de água em torno de 0,12 kg kg⁻¹. As pressões de inflação utilizadas nos pneus traseiros foram de 125 kPa, recomendada pelo fabricante de pneus, 55 kPa, abaixo da recomendação do fabricante e 165kPa a qual encontra-se acima da recomendação para o trabalho efetuado. A área de contato pneu/solo foi obtida por medida direta no campo, calculando-se posteriormente a pressão de contato pneu/solo para cada uma das pressões de inflação utilizadas nos pneus. O aumento da área de contato pneu/solo mostrou-se inversa ao acréscimo da pressão de inflação dos pneus. Já a pressão de contato pneu/solo elevou-se com o acréscimo da pressão de inflação dos pneus do trator. Embora a diferença na resistência do solo à penetração, para as diferentes pressões de inflação utilizadas, não ter sido muito pronunciada, foi possível verificar que esta apresenta influência direta no aumento da compactação do solo, principalmente, na faixa de profundidade que vai de 10 cm a 30 cm, pois nesta região foram identificadas as maiores variações de compactação, devido a passagem dos pneus do trator.

Palavras-chave: compactação, tráfego de máquinas, área de contato, pressão de contato.

INTRODUÇÃO

A utilização agrícola do solo altera a sua estrutura mecânica, podendo causar a compactação o que não necessariamente restringirá o crescimento e desenvolvimento das culturas. Segundo HAKANSSON & VOORHEES (1998), a verificação dos efeitos da compactação sobre as propriedades do solo pode ser relativamente fácil, mas, a determinação dos seus efeitos sobre o crescimento das plantas é difícil, devido ao grau de interação entre as características do solo e a dinâmica do meio ambiente.

Conforme SILVA et al. (2004) a utilização intensiva de máquinas e implementos agrícolas tem contribuído para modificar as propriedades físicas e dinâmicas dos solos tendo despertado o interesse dos pesquisadores por estudos de compactação e dinâmica do solo.

O teor de água do solo, no momento em que ocorre a pressão, é um fator determinante da intensidade de

compactação. ASHBURNER & SIMS (1984), explicam que, se um solo estiver com baixo teor de água, apresentará elevada resistência proporcionando pouca deformação antes de haver modificações na sua estrutura. No estado friável, a deformação é proporcional à carga aplicada e revertida rapidamente quando o carregamento é removido. Já quando o solo apresenta elevado teor de água, estado plástico, ele deforma-se lentamente em função da carga aplicada não havendo reversão quando esta é removida.

De acordo com SOANE et al. (1981), tanto a pressão de inflação quanto o tamanho do pneu atuam na distribuição das forças sobre a área de contato com o solo. Já as forças na interface solo-pneu e a resistência apresentada pelo solo influenciam a magnitude e distribuição das tensões no solo sob as rodas.

Conforme FERNÁNDEZ & GALLOWAY (1987) a distribuição da pressão no solo em função da compressão exercida pelas rodas das máquinas dependem de diversos fatores como: carga, extensão da área de contato solo-pneu, distribuição da pressão na área de contato, teor de água e densidade do solo.

Dependendo do tipo de solo e de seu teor de água pode-se adotar certos limites de tensões mecânicas que serão aplicadas ao solo (HAKANSSON & REEDER, 1994; HAKANSSON, 1994; HAKANSSON & MEDVEDEV, 1995). Tal fato foi confirmado em estudo realizado por MACHADO & TREIN (2000), os quais verificaram que ao reduzir o teor de água em amostras de solo (Planossolo e Latossolo Vermelho-Escuro), ocorreu aumento na sua resistência à compressão, que se comportou diferentemente em cada solo estudado. Observaram também que o carregamento máximo suportado por estes solos seria em torno de 85 kPa.

PERDOK & ARTS (1987), em estudo onde correlacionaram as características dos pneus com as propriedades do solo, observaram que a capacidade de carga do pneu é fortemente dependente das suas dimensões, pressão de inflação e tipo (radial ou diagonal).

YANAI et al. (1999) salientam que a pressão de inflação e a carga sobre o rodado motriz, bem como o tipo de construção do rodado, a configuração da banda de rodagem, a superfície e condição do solo, são fatores que afetam o desempenho operacional do trator.

NOVAK et al. (1992) salientam que pressões de contato pneu/solo maiores levam a aumento na densidade do solo,

¹ Professor Adjunto, Dr. UFPel – FAEM – DER. CP, 354 – Campus Universitário. Pelotas – RS, CEP 96010-900. e-mail: lilles@ufpel.edu.br

² Professor Adjunto, Dr. UFPel – FAEM - DER. e-mail: areis@ufpel.edu.br

³ Professor, MSc. UNISC, Curso de Engenharia Agrícola. e-mail: maurof@unisc.br

⁴ Professor, MSc. UNISC, Curso de Engenharia Agrícola. e-mail: rlilles@unisc.br

⁵ Bolsista de Iniciação Científica – CNPq – UFPel – FAEM – DER. e-mail: andreagri@bol.com.br

⁶ Bolsista de Iniciação Científica – FAPERGS – UFPel – FAEM – DER. e-mail: gbauer.fuem@ufpel.edu.br

(Recebido para Publicação em 30/08/2004, Aprovado em 20/10/2005)

portanto para se evitar a compactação, deve-se trabalhar com pressões de contato menores.

HAKANSSON & REEDER (1994) salientam que existem várias técnicas capazes de reduzir a compactação do solo, entretanto sua utilização normalmente é de custo elevado e raramente são capazes de corrigir totalmente os efeitos da compactação. Os autores recomendam ser mais interessante evitar-se a compactação através da minimização do carregamento mecânico sobre o solo, do que periodicamente descompactá-lo. Salientam ainda que caso sejam aplicadas cargas excessivas após feita descompactação do solo este novamente apresentará compactação subsuperficial.

Uma das várias formas de caracterizar o estado de compactação do solo é a utilização de penetrômetros ou penetrógrafos, que são aparelhos capazes de determinar a resistência mecânica do solo à penetração de uma ponteira cônica. O uso deste aparelho permite a identificação de zonas de maior resistência à penetração e por via de consequência a localização de regiões compactadas de um determinado solo. As medidas da resistência à penetração no solo podem ser mostradas de forma gráfica o que facilita a visualização das possíveis zonas de compactação do solo.

Conforme CAMARGO & ALLEONI (1997), os penetrômetros devem ser utilizados atendendo-se a várias observações, geradas através da história de seu uso, a fim de se evitar medidas que venham a não condizer com a realidade.

Apesar de certas limitações, usa-se a resistência à penetração do solo para avaliar seu estado de compactação, principalmente em função da facilidade de manuseio do equipamento e rapidez na obtenção dos resultados.

Conforme VOORHEES et al. (1978) a resistência à penetração vem a ser um indicador mais sensível do estado de compactação do solo do que a densidade. Os atributos físicos como textura, densidade, porosidade e índice de plasticidade, também apresentam importância para a caracterização do solo e estudo da relação solo-máquina.

Atualmente existe uma grande preocupação com a compactação excessiva dos solos, principalmente devido ao elevado tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas. Com isto, objetivou-se avaliar o carregamento oferecido pelo pneu do trator ao solo, quando inflado com diferentes pressões, quantificando-se sua influência no aumento da resistência à penetração e área de contato pneu/solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram, realizados no campo e em laboratório. Os testes de campo foram executados no município de Capão do Leão, RS, nas coordenadas 31° 52' 00" sul e 52° 21' 24" oeste, o solo pertence a unidade de mapeamento Pelotas, atualmente denominado de Planossolo Hidromórfico (STRECK et al., 1999). A área vinha sendo utilizada com pastagem natural, apresentando uma condição de superfície de solo agrícola firme sem preparo, com cobertura vegetal de campo nativo, tendo sido dividida em três locais, um para cada tratamento (pressão de inflação utilizada). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso. Cada tratamento foi efetivado com quatro repetições, em parcelas de 3 m de largura por 20 m de comprimento. O solo, no momento dos testes de campo, apresentou um teor de água que caracterizava seu estado como friável.

O trator utilizado nos testes era da marca John Deere, modelo 6605, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), peso

total de 58,64 kN (5978 kg), pneus dianteiros 14.9-24 R2, com 8 lonas e traseiros 23.1-30 R2, com 8 lonas, marca Pirelli. O trator contava apenas com lastro dianteiro, num total de 8 pesos de 1962 N (200 kgf). Como o trator foi utilizado com a tração dianteira desligada, variou-se apenas a pressão de inflação dos pneus traseiros, ficando os pneus dianteiros com pressão de inflação igual 95 kPa (recomendada pelo fabricante). Foram utilizados os valores de 55 kPa (abaixo da recomendação do fabricante dos pneus), para o tratamento 1. Pressão de inflação de 125 kPa (recomendada pelo fabricante dos pneus), para o tratamento 2 e pressão de inflação de 165 kPa (acima da recomendada pelo fabricante dos pneus), para o tratamento 3. Foi executada uma passada do trator, sem condição de carregamento, em cada tratamento. Devido a impossibilidade de isolar-se, em cada tratamento, a pressão exercida pelo pneu dianteiro daquela exercida pelo pneu traseiro, neste trabalho considera-se a influência do trânsito do trator sobre o solo.

A resistência do solo à penetração foi obtida com o penetrômetro de impacto marca Kamac, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, a partir de uma média de quatro repetições por parcela, em seis pontos de amostragem transversais à passagem dos rodados do trator, distanciados entre si de 10 cm, cobrindo a largura de atuação dos pneus, antes e após a passagem do mesmo. Estes dados foram obtidos para cada uma das pressões de inflação utilizadas. Tal metodologia foi descrita por FORSYTHE (1975) e adaptada por TREIN (1995).

Para a obtenção dos atributos físicos do solo coletaram-se quatro amostras a 15 cm de profundidade, por repetição. Foram analisados: porosidade (macro e micro), densidade do solo, textura e teor de água, utilizando-se para tanto o procedimento padrão do Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, que é aquele adotado por EMBRAPA (1997).

A área de contato entre o pneu e o solo foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por TREIN (1995) a qual consta da marcação com cal da área do entorno do pneu, posteriormente coloca-se sobre a mesma uma tela com malha de 2,5 cm². A área de contato do pneu com o solo vem a ser obtida através da soma das áreas dos quadrados representativos da mesma.

Calculou-se, para cada condição de pressão de inflação dos pneus, a pressão de contato, através da divisão da carga atuante sobre o pneu de tração pela sua respectiva área de contato. O carregamento sobre o pneu do trator foi obtido por meio do cálculo da distribuição do peso do mesmo sobre os eixos, dianteiro e traseiro.

Para a análise dos resultados obtidos utilizou-se um teste de comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos atributos físicos do solo que serviu de base para o presente estudo, no momento da realização deste trabalho, encontram-se na tabela 1.

Com as informações obtidas e através do diagrama de repartição de classes generalizadas de textura, OLIVEIRA et al. (1992), o solo foi classificado como sendo arenoso.

O teor de água obtido mostrou que o solo encontrava-se em seu estado friável, o que segundo ASHBURNER & SIMS (1984) permite que a deformação proporcionada pela carga

aplicada seja rapidamente revertida, quando o carregamento é removido.

Tabela 1 – Atributos físicos do solo.

Atributo	Parcela			Média
	1	2	3	
	----- (kg kg ⁻¹) -----			
Areia	0,84	0,85	0,84	0,84
Argila	0,02	0,02	0,02	0,02
Silte	0,14	0,13	0,14	0,14
	----- (kg m ⁻³) -----			
Densidade do solo	1580	1540	1560	1560
	----- (m ³ m ⁻³) -----			
Macroporosidade	0,197	0,170	0,137	0,1683
Microporosidade	0,270	0,236	0,266	0,258
Porosidade total	0,469	0,407	0,403	0,426
	----- (kg kg ⁻¹) -----			
Teor de água	0,125	0,127	0,123	0,124

Na tabela 2 são apresentados os dados referentes à área e pressão de contato do pneu com o solo nas diferentes situações de pressão de inflação.

Como era esperado, a área de contato pneu/solo diminuiu com o aumento da pressão de inflação e a pressão de contato pneu/solo aumentou com o acréscimo da pressão de inflação do pneu. Os resultados obtidos demonstram que houve diferença significativa entre as áreas e pressão de

contato pneu/solo, em função das pressões de inflação aplicadas ao pneu do trator.

As figuras 1, 2 e 3 referem-se a média de quatro repetições da resistência do solo a penetração em seis pontos, espaçados entre si de 10cm, os quais são representativos da largura do pneu do trator, em diferentes profundidades, antes e após a passagem do mesmo, para as três condições de pressão de inflação dos pneus.

Através da figura 1 torna-se possível à análise do efeito da passagem do pneu do trator, quando o mesmo apresentava pressão de inflação abaixo da recomendação do fabricante. Nota-se que após a passagem do pneu a zona onde a resistência a penetração era de 0,00 a 1,00 MPa, praticamente não apresentou variação, tanto em seu posicionamento quanto com relação a sua espessura, ou seja, manteve-se na faixa dos 5 cm de profundidade. Observa-se, também, que até os 10 cm de profundidade o solo não foi afetado pela passagem do pneu do trator. A partir desta profundidade passa a ocorrer uma faixa de maior resistência (entre 1,50 e 2,00 MPa), localizada principalmente entre os pontos de medida P1 e P3, a qual sofre um leve deslocamento dos 15 cm de profundidade para os 10 cm de profundidade, mostrando então uma pequena influência do trânsito do pneu. Verifica-se também que a partir dos 30 cm de profundidade o efeito da carga do pneu do trator sobre o solo passa a não mais existir, pois não ocorre variação na resistência do solo à penetração, a partir desta profundidade.

Tabela 2 – Pressão e área de contato do pneu do trator com o solo em função das diferentes pressões de inflação utilizadas.

Carga no pneu(kN)	Pressão de inflação (kPa)	Área de contato pneu/solo (cm ²)	Pressão de contato pneu/solo (kPa)	cv (%)
35,19	55	1109,38 a	316,76 a	8,13
35,19	125	995,31 b	353,04 b	6,71
35,19	165	803,13 c	438,36 c	8,44

Média com mesmo índice não diferem pelo teste de Tukey a 1%; CV referente à área de contato pneu/solo.

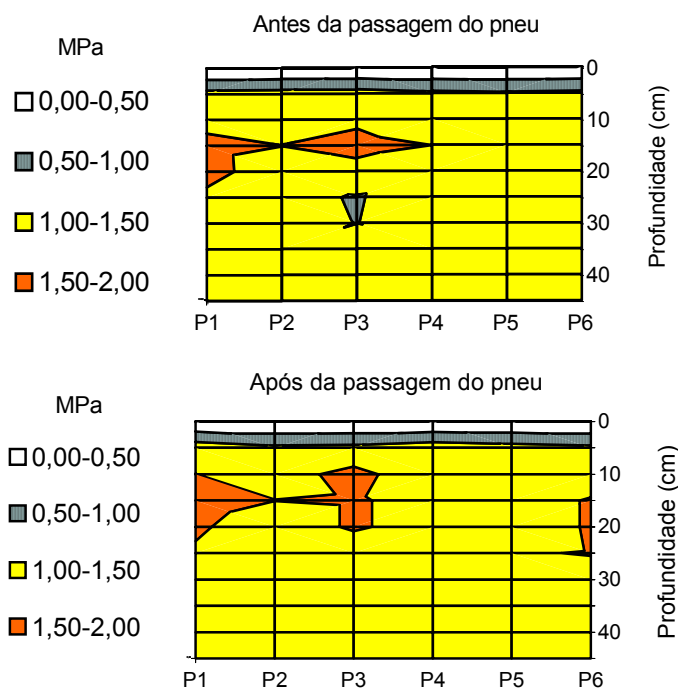


Figura 1 – Resistência do solo à penetração (MPa), antes e após a passagem do trator, medida em diferentes profundidades em seis pontos de amostragem transversais a passagem dos rodados do trator, sob pressão de inflação de 55 kPa em um Planossolo Hidromórfico.

Por meio da figura 2 pode-se observar, novamente que após a passagem do pneu do trator a zona onde a resistência a penetração era de 0,00 a 1,00 MPa, pouco variou, tanto em termos de profundidade quanto de localização, ficando restrita a faixa dos 5 cm iniciais de profundidade. Entretanto, a partir desta profundidade a região de maior adensamento, entre 1,50 e 2,00 MPa, que anteriormente localizava-se, em sua grande parte, entre 10 cm e 30 cm de profundidade passou a ocupar a região do solo entre 5 cm e 30 cm de profundidade, demonstrando que para esta condição (pressão de inflação conforme recomendação do fabricante), o efeito do carregamento que o solo sofre pela passagem do pneu do trator, vem a ser mais pronunciado do que no caso anterior, principalmente na faixa de profundidade que vai dos 5 cm aos 10 cm, pois foi neste local que ocorreram as maiores alterações de resistência do solo a penetração. Verifica-se novamente que a partir dos 30 cm de profundidade o efeito da carga do pneu do trator sobre o solo passa a não mais existir, já que praticamente não ocorre aumento nos valores de resistência a penetração a partir desta profundidade.

Por meio da figura 3 observa-se que, com a pressão de inflação do pneu acima da recomendação do fabricante, a zona onde a resistência do solo a penetração apresentou os valores entre 0,00 e 1,00 MPa, a exemplo do que ocorreu anteriormente, não sofreu variação.

Observa-se também que dos 5 cm até os 10 cm de profundidade não ocorreu variação da resistência do solo a penetração tendo esta permanecido na faixa de 1,00 a 1,50 MPa. Entretanto, a partir desta profundidade a região de maior adensamento, entre 1,50 e 2,00 MPa, que anteriormente a passagem do pneu do trator, localizava-se, em sua grande parte, entre 10 cm e 25 cm de profundidade passou a ocupar uma maior faixa de profundidade a qual localizou-se entre 10 cm e 35 cm de profundidade, demonstrando que para esta condição (pressão de inflação acima da recomendação do fabricante), o efeito do carregamento que o solo sofre pela passagem do pneu do trator, vem a ser mais pronunciado do que no caso anterior, principalmente a maiores profundidades.

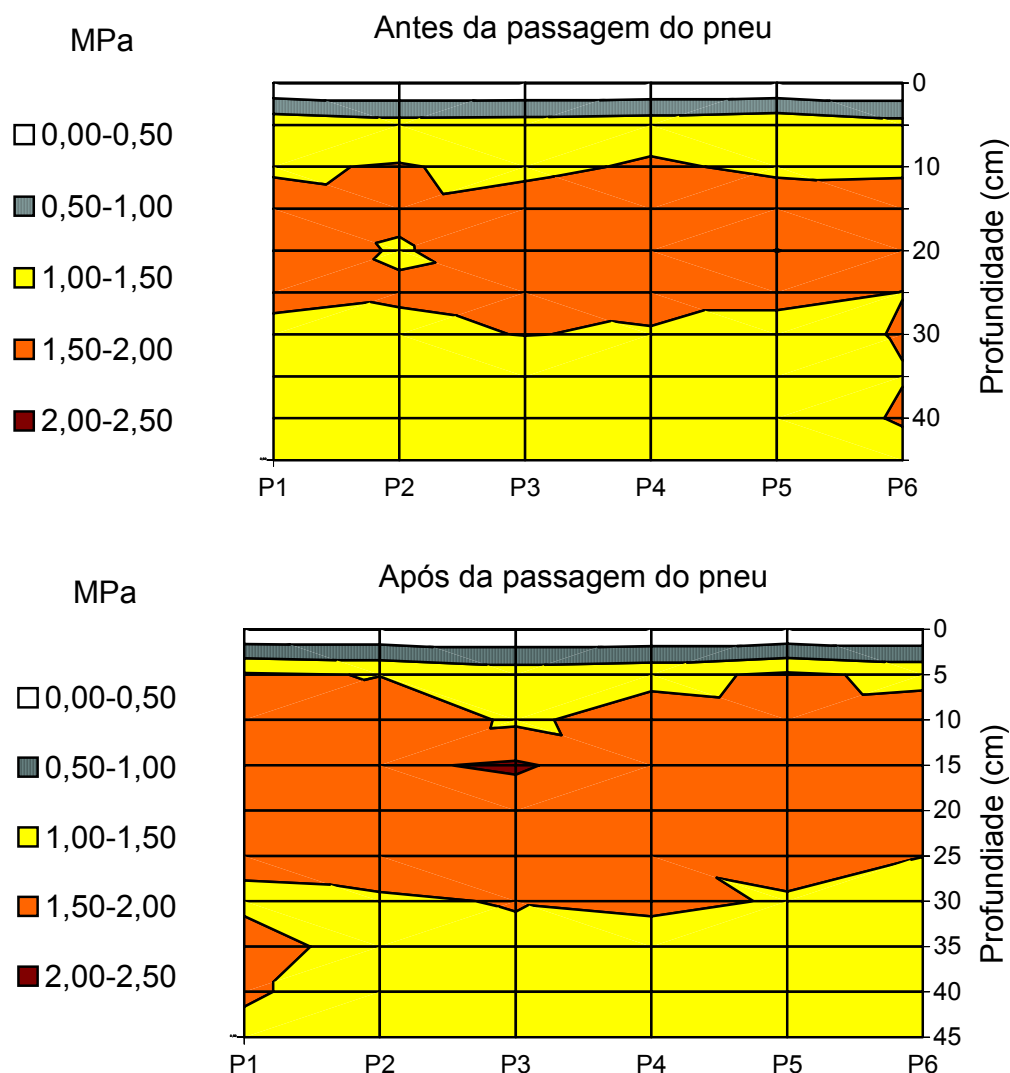


Figura 2 – Resistência do solo à penetração (MPa), antes e após a passagem do trator, medida em diferentes profundidades em seis pontos de amostragem transversais a passagem dos rodados do trator, sob pressão de inflação de 125 kPa em um Planossolo Hidromórfico.

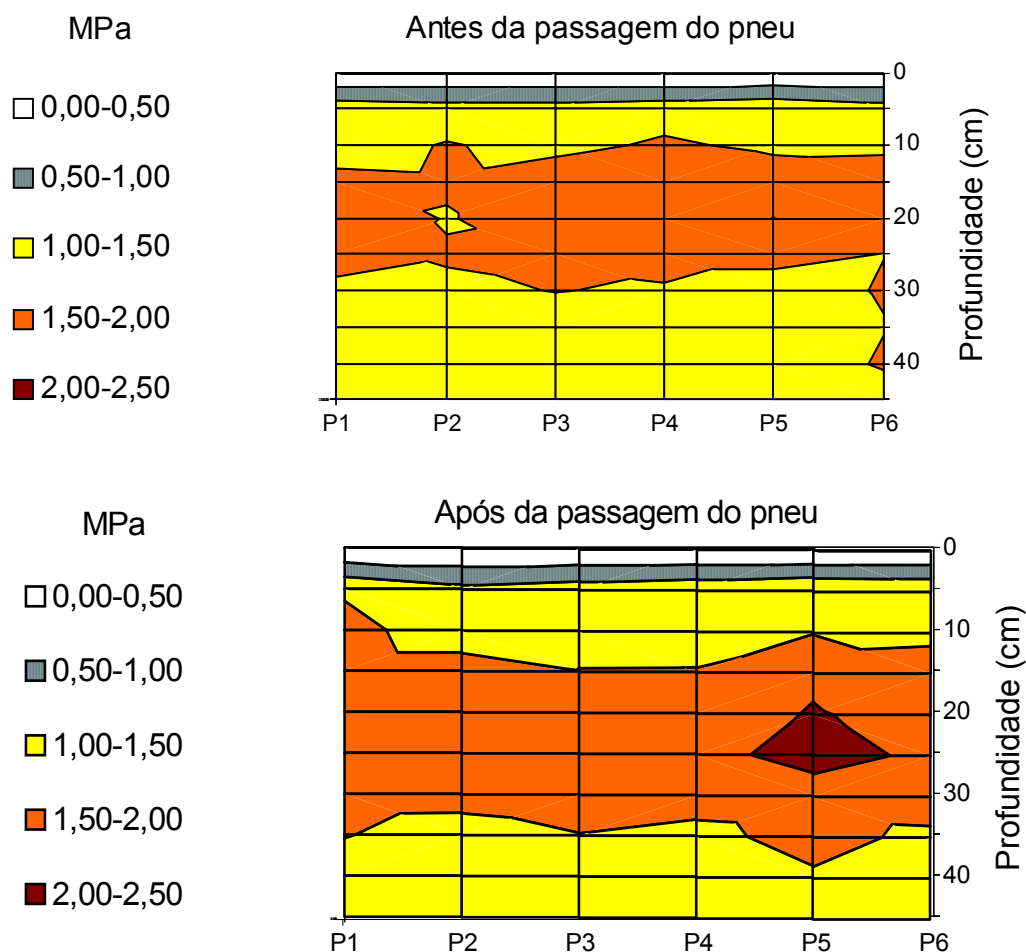


Figura 3 – Resistência do solo à penetração (MPa), antes e após a passagem do trator, medida em diferentes profundidades em seis pontos de amostragem transversais a passagem dos rodados do trator, sob pressão de inflação de 165 kPa em um Planossolo Hidromórfico.

Também se verifica a exemplo do caso anterior a ocorrência de uma zona de maior adensamento, que neste caso ficou em torno do ponto de amostragem P5 e numa profundidade de 20 cm a 25 cm, o que deve ser demonstrativo da influência da garra do pneu do trator na compressão do solo num determinado ponto o que é verificado pelo elevado aumento da resistência do solo à penetração. Como aconteceu nos casos anteriores, a partir de uma determinada profundidade, que para esta situação foi de 35 cm, o efeito da carga do pneu do trator sobre o solo passa a não mais se manifestar, pois não ocorre elevação nos valores de resistência do solo à penetração a partir desta profundidade.

Em todos os casos observa-se que a região do solo onde ocorre o maior adensamento encontra-se localizada na faixa de profundidade que vai de 10 cm a 30 cm, o que está de acordo com as observações de CASTRO et al. (2004). Os autores encontraram valores críticos de resistência à penetração, devido ao tráfego de máquinas, em sistemas agrossilvipastoris, na camada de 15 cm a 40 cm de profundidade. Desta forma pode-se inferir que no Planossolo ao executar-se operações que demandem trânsito do trator esta será a faixa de profundidade mais suscetível a sofrer problemas de compactação.

Observa-se também que, mesmo tendo-se feito a passagem do pneu sobre o solo em apenas uma vez, e estando este com teor de água dentro de sua faixa de friabilidade, o aumento da pressão de inflação dos pneus do trator provocou um acréscimo na resistência do solo à penetração numa maior faixa de profundidade. Tal fato pode ser explicado pela diminuição da área de contato entre o pneu e o solo que ocorre com o aumento da pressão de inflação dos pneus, levando a obtenção de uma elevação na pressão de contato pneu/solo, já que o carregamento sobre os pneus permanece constante, conforme pode ser observado através da tabela 2.

A obtenção de pequenas variações entre as resistências do solo à penetração antes e após a passagem dos pneus do trator para as diferentes pressões de inflação utilizadas pode ser explicada pelo número de passadas do pneu sobre o solo, que foi de uma, devido ao fato desse solo ter sido trabalhado em seu estado friável e possuir um elevado teor de areia. Sabe-se que, o teor de água em conjunto com a textura são os fatores que ditam a capacidade do solo em resistir às tensões de compressão, conforme observaram MACHADO & TREIN (2000).

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos e nas condições em que foi executado este trabalho, pode-se concluir que:

- Maiores pressões de inflação dos pneus provocaram menores áreas de contato entre o solo e o pneu, e por via de consequência maior pressão deste sobre o solo;
- A região do solo que sofreu maiores adensamentos encontra-se na faixa de 10 cm a 30 cm de profundidade;

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e FAPERGS pela concessão da bolsa de iniciação científica dos acadêmicos Andréa Liziane Coelho Machado e Gelson Betemps Bauer.

A EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado pelo empréstimo do trator.

A Pós-Graduação em Engenharia Rural, Curso de Especialização “Lato Sensu” em Gerenciamento e Utilização de Máquinas Agrícolas, pelo financiamento da pesquisa.

ABSTRACT

It was analyzed, through the use cone index penetrometer, the possibility of soil resistance due to the transit of a tractor, when its tires of traction are used with different inflation pressures. The work was developed in a Albaqualf, which at the moment of the tests was presented inside with native field and humidity of 0.12 kg kg⁻¹. The pressures of inflation used in the back tires had been of 125 kPa (recommended for the tires manufacturer), 55 kPa (below of the recommendation of the tires manufacturer), and 165 kPa (above recommendation of the tires manufacturer). The tire/soil contact area was obtained, for each one of the tire pressure inflation and was also calculated the tire/soil contact pressure. The tire/soil contact areas had revealed inverse to the increase of the tires pressure inflation. Already the tire/soil contact pressure increased with the addition of tire pressure inflation. Although the differences in the cone index resistance, for the different pressures of inflation used, were not high been sharp, it was possible to verify that this presents direct influence in the increase of the soil compaction, mainly, in the depth band that goes of 10 cm 30 cm, therefore identified in this region the biggest variations of compaction, due to tractor displacement.

Key words: compaction, traffic of machines, area of contact, pressure of contact.

REFERÊNCIAS

- ASHBURNER, J. E.; SIMS, B. G. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San José: IICA, 1984. 437p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: O. A. Camargo, 1997. 133p.
- CASTRO, A. R. MACEDO, R. L. G., SILVA, M. L. N. et al. Resistência à penetração do solo em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 2, n. 3, 2004.6p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de**

- métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERNÁNDEZ, B.; GALLOWAY, H. M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de dois solos. **Revista Ceres**, v.34, p.562-568, 1987.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos**. San José: IICA, 1975. 212p.
- HAKANSSON, I. Subsoil compaction caused by heavy vehicles a long-term threat to soil productivity. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.29, p.105-110, 1994.
- HAKANSSON, I. REEDER, R. C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.29, p.277-304, 1994.
- HAKANSSON, I. MEDVEDEV, V. W. Protection of soil from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.
- HAKANSSON, I. VOORHEES, W. B. Chapter on soil compaction. In: Lal, R. et al. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, 1998. p. 167-179.
- OLIVEIRA, J. B. JACOMINE, P. K. T. CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil – Guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- PERDOK, U. D.; ARTS, W. B. M. the performance of agricultural tyres in soft soil conditions. **Soil & Tillage Res.**, Amsterdam, v.10, p.319-330, 1987.
- MACHADO, A. L. T.; TREIN, C. R. Determinação da compressibilidade em dois tipos de solos do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Pelotas. **Anais... Pelotas**: SBSCS, 2000. 1 CD-ROM.
- NOVAK, L. R.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.12, p.1587-1595, 1992.
- SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.165-173, 2004.
- SOANE, B. D.; BLACKWELL, P. S.; DICKSON, J. W. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review I. Soil and wheel characteristics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.1, p.207-237, 1981.
- TREIN, C. R. **The mechanics of soil compaction under wheels**. 1995, 132 f. Tese (Doutorado) – Cranfield University, Silsoe.
- STRECK, E. V., KAMPF, N., KLAMT, E. Atualização da classificação taxionômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. **Informativo EMATER-RS**, Porto Alegre, n. 9, 1999. 5p.
- VOORHEES, W. B.; SENST, C. G.; NELSON, W. W. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern corn belt. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.42, p.344-349, 1978.
- YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; LANÇAS, K. P.; CORRÊA, I. M. et al. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34., n.8, p. 1427-1434, 1999.