

## 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<sup>1</sup>

LEANDRO R. NOVAK<sup>2</sup>, EVANDRO C. MANTOVANI<sup>3</sup>, PETER JOHN MARTYN<sup>4</sup> e BAYRON FERNANDES<sup>5</sup>

**RESUMO** - Montou-se um experimento, em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, localizado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, para verificar o comportamento da compactação em virtude das diferentes pressões aplicadas ao solo pelo tráfego de tratores. A compactação foi quantificada pelo aumento da densidade aparente nas faixas compactadas pelos pneus dos tratores e os teores de umidade do solo foram pré-estabelecidos com base na curva de compactação obtida pelo Ensaio Normal de Compactação, em laboratório. Procurou-se também, para os tratamentos estudados, comparar a compactação obtida no campo com a determinada em laboratório, na tentativa de verificar a possibilidade de uso do método de laboratório na predição da compactação em campo. Pelos resultados, pode-se verificar que o efeito do tráfego e das pressões de contato estudadas não elevou a compactação do solo a níveis prejudiciais à porosidade de aeração, em nenhum dos dois níveis de umidade. Entretanto, o aumento da umidade do solo (-0,18 MPa para -0,06 MPa) promoveu maior compactação. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de uso do Ensaio Normal de Compactação para predição da compactação em campo.

Termos para indexação: umidade do solo, aeração, densidade aparente, Ensaio Normal de Compactação.

## EFFECT OF THE TRACTOR TRAFFIC AND OF THE TIRE-SOIL CONTACT PRESSURE ON SOIL COMPACTION, ON A DARK RED ALIC LATOSOL, AT TWO MOISTURE CONTENTS

**ABSTRACT** - An experiment was carried out on Dark-Red Alic Latosol at Sete Lagoas, MG, Brazil, to verify the soil compaction behavior under different tractor traffic conditions, soil-tire pressure and soil moisture content (0,18 MPa and -0,06 MPa). Soil compaction was determined by the increase in bulk density under the tractor tire tracks. Field compaction was also compared to the Standard Proctor Test. The results indicated that under these conditions there was no significant reduction of the aeration porosity but at the higher moisture level compaction was greater. It was possible to correlate Standard Proctor Curve to field compaction data.

Index terms: soil moisture, content, tire tracks, aeration, bulk density, Standard Proctor Test.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, com as vantagens da mecanização, muitos agricultores passaram a praticar uma agricultura mais intensiva, sem maiores preocupações com as mudanças provocadas nas características do solo. Pesquisas realizadas em varias regiões do País revelam que estão ocorrendo significativas alterações nas condições físicas de alguns solos, em virtude do tráfego

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 30 de março de 1992.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., em pós-graduação, Dep. de Solos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Rod. MG 424, Km 45, Caixa Postal 151, Sete Lagoas, MG.

<sup>4</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Engenharia Agrícola, UFV.

<sup>5</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Solos, UFV.

9015

contínuo de máquinas pesadas e do uso freqüente de equipamentos agrícolas em dias em que os níveis de umidade do solo são muito elevados (Jorge 1986, Taylor & Beltrame 1980). Essas alterações referem-se ao decréscimo da porosidade e da permeabilidade e ao aumento da compactação em relação às condições originais: essas alterações, dependendo da intensidade, podem afetar o crescimento do sistema radicular das culturas, com reflexos negativos no rendimento das colheitas (Fernandes & Galloy 1987, Silva et al. 1981).

Tecnologias e práticas eficazes devem ser desenvolvidas e adotadas, para caracterizar, medir e solucionar os problemas da interação máquina-solo, principalmente no que se refere à distribuição das pressões no solo pelos rodados, pois, atuando-se nesse sentido, os efeitos indesejados da compactação poderão ser evitados (Soehne 1958).

Neste trabalho, objetivou-se determinar o 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, e comparar a compactação subsuperficial ocorrida no campo com a obtida no laboratório, pelo Ensaio Normal de Compactação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, textura argilosa, fase cerrado, localizado no Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA), no município de Sete Lagoas, MG. Foi utilizada uma área de aproximadamente 0,4 ha, localizada no terço médio de uma encosta com declividade variando de 3 a 5%.

O solo foi inicialmente arado e gradeado a uma profundidade média de 20 cm, e as parcelas, com dimensões de 10,0 x 2,5 m, foram demarcadas em nível, com intervalo de 8 m para acesso e manobra dos tratores.

O esquema experimental utilizado constou da combinação de quatro níveis de pressão de contato, dois níveis de passada do trator e dois níveis de umidade do solo. Dessa combinação resultaram 16 tratamentos, que foram dispostos em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

As pressões de contato foram obtidas pela relação entre a carga em cada pneu e a área de contato correspondente. A carga foi determinada após a pesagem dos tratores em balança de plataforma, e a área de contato foi obtida com a pulverização de tinta em volta dos pneus; depois, cada roda foi levantada, com a utilização de macaco hidráulico, e as áreas demarcadas no solo copiadas em um plástico transparente e determinadas em laboratório. Os níveis de passadas escolhidos foram de uma e quinze passadas, tentando-se, assim, simular níveis de compactação no solo. A escolha desses níveis foi feita com base em metodologias apresentadas em outros trabalhos de pesquisa, onde Mantovani (1987) e Raghaven et al. (1977) também visavam verificar o efeito cumulativo da compactação sob as rodas dos tratores, com diferentes níveis de passadas. Os dois níveis de umidade do solo foram escolhidos em uma curva de densidade "versus" umidade (curva de compactação), determinada em laboratório. O nível mais alto foi escolhido na faixa de umidade crítica de compactação, que, segundo Mantovani (1987), fica próximo ao teor de umidade correspondente à capacidade de campo. O outro nível foi representado por aproximadamente 90% do nível mais alto, para manter coerência com a realidade de campo. Para obtenção desses níveis de umidade no experimento, foi feito, após um período de chuvas, um acompanhamento diário da distribuição interna de água no perfil do solo, com a utilização de uma sonda de nêutrons, de marca Troxler, previamente calibrada para o solo em estudo.

Os testes de compactação em campo iniciaram-se no dia em que o teor de umidade a 20 cm de profundidade constituiu o nível mais alto. Nesse dia, foram compactados os solos das parcelas correspondentes a esse nível (-0,06 MPa). Os solos das parcelas correspondentes à baixa umidade foram compactados alguns dias após, quando o teor de umidade baixou ao nível desejado (-0,18 MPa). A compactação foi feita com a passagem dos tratores, certificando-se de que cada trator completava o número de passadas exigidas. Após a passagem dos tratores, foi colocado um plástico de 2 x 2 m cobrindo a área útil de cada parcela, para evitar que os rastros deixados pelos pneus dos tratores fossem destruídos até o final da coleta de dados.

A coleta de dados constou de determinação da densidade aparente e teor de umidade volumétrica do solo em uma seção transversal ao rastro do pneu, localizada a uma distância aleatória do centro da parcela. Na determinação da densidade, foi utilizada uma sonda de raios gama, e o teor de umidade foi obtido com

a utilização de uma sonda de nêutrons. Para essas determinações, foram usados tubos de alumínio, instalados de 10 em 10 cm, até 30 cm, a partir da linha central do rastro do pneu traseiro do trator, de acordo com o método apresentado por Raghaven et al. (1976).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os dados médios das pressões de contato dos pneus dianteiros e traseiros dos tratores usados nos testes de compactação. Nas Tabelas 2 a 5, são apresentados, para todos os tratamentos, os resultados médios da densidade aparente após a passagem dos tratores no campo. Nas Fig. 1, 2 e 3 são apresentadas as curvas em forma de bulbos, que foram traçadas assumindo-se que as médias apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5 são simétricas em relação à linha central do pneu. Na Fig. 4, são apresentadas as curvas dos testes de compactação do campo e a do laboratório, onde se pode verificar o comportamento da densidade aparente em função do teor de umidade do solo. Observando-se a Tabela 1, verifica-se que, pela dificuldade de se fazer uma avaliação quantitativa da pressão dinâmica, optou-se pelo estudo da pressão de contato estática, já que, para efeito de interpretação, bastam resultados comparativos. Outro ponto a ser considerado é que, na execução dos tratamentos, foi impossível isolar nas parcelas o efeito da pressão de contato

do pneu dianteiro da do pneu traseiro; por isso, neste estudo, a variável pressão de contato representa as duas pressões em conjunto.

Nas Tabelas 2 a 5, os 16 tratamentos estão dispostos em ordem crescente, da esquerda para a direita, após a coluna de dados que mostra a densidade inicial do solo. Os dados que compõem essas tabelas permitem identificar mudanças no valor da densidade aparente nas profundidades e afastamentos estudados. Considerando-se a variável pressão de contato, pode-se notar que esses resultados estão de acordo com o esperado, ou seja, sob pressões maiores as mudanças na densidade também são maiores; portanto, para se evitar a compactação, deve-se trabalhar com pressões de contato menores. Para se atuar nesse sentido, podem-se utilizar equipamentos mais leves ou aumentar a área de contato dos pneus com o solo. Isso pode ser feito reduzindo-se a pressão interna dos pneus, utilizando-se pneus mais largos ou de rotação dupla (Mantovani 1987).

Na avaliação do efeito da variável umidade, verifica-se que, com uma diferença de 3,0 pontos percentuais entre os dois níveis, obtiveram-se acréscimos significativos na densidade. Esse resultado confirma que se deve dar atenção a essa variável, principalmente quando se faz o preparo do solo após as primeiras chuvas, pois compactações semelhantes podem estar ocorrendo.

TABELA 1. Pressões de contato médio e dimensões dos pneus dianteiros e traseiros dos tratores usados nos testes de compactação.

| Tratores     | Pneu      | Dimensões (cm) | Carga estática (KGF) | Área de contato (cm <sup>2</sup> ) | Pressão de contato (Kgf.cm <sup>-2</sup> ) |
|--------------|-----------|----------------|----------------------|------------------------------------|--|
| Valmet 110id | Dianteiro | 22,86 x 40,64  | 809                  | 870,97                             | 0,93                                       |
|              | Traseiro  | 46,74 x 86,46  | 1976                 | 1937,81                            | 1,02                                       |
| Ford 6600    | Dianteiro | 19,05 x 40,64  | 657                  | 737,46                             | 0,89                                       |
|              | Traseiro  | 46,74 x 86,36  | 1355                 | 1815,49                            | 0,75                                       |
| Valmet 85id  | Dianteiro | 19,05 x 45,72  | 400                  | 512,83                             | 0,78                                       |
|              | Traseiro  | 46,74 x 76,20  | 1235                 | 1856,96                            | 0,66                                       |
| M.F. 50X     | Dianteiro | 15,24 x 40,64  | 365                  | 488,96                             | 0,75                                       |
|              | Traseiro  | 37,85 x 71,12  | 745                  | 1307,72                            | 0,57                                       |

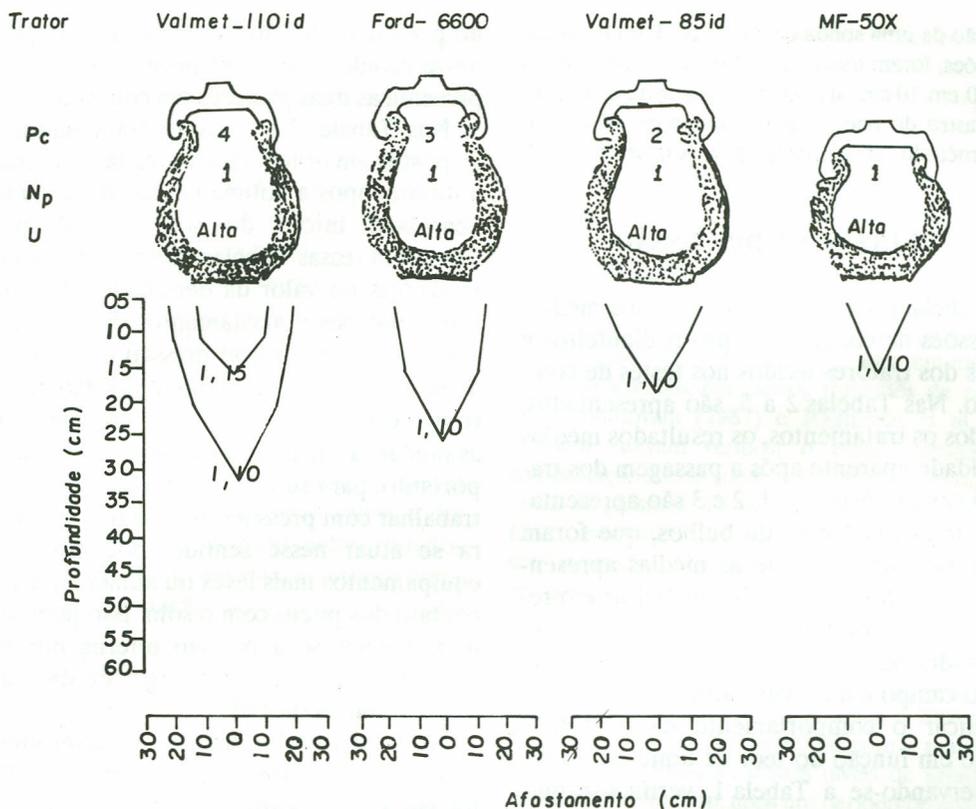


FIG. 1. Isolinhas representativas do comportamento da densidade aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), quando se consideram as quatro pressões de contato ( $P_c$ ), uma passada do trator ( $N_p$ ) e o solo na umidade ( $U$ ) alta.

Quando se considera somente a variável número de passadas, pode-se, entre os dois níveis, verificar que repetir a passagem de carga sobre o solo, sem dúvida, torna maior o efeito da compactação. Ainda considerando-se esta variável, pode-se também verificar, principalmente nos tratamentos com 15 passadas, que as mudanças na densidade aparente em relação à densidade inicial chegam a profundidades mais elevadas do que as que normalmente são movimentadas pelos implementos de preparo do solo, e, possivelmente, com o passar dos anos, esses valores podem se elevar a níveis prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento radicular.

É importante considerar que a tendência desses aumentos de densidade após a passagem de máquinas não determina necessariamente, prejuízos para o desenvolvimento das plantas, pois a compactação, em certos tipos de solo,

pode aumentar a quantidade de água retida na faixa de disponibilidade para as plantas (Corsini 1974). Nesses casos, um estudo cuidadoso deve ser feito, pois essa disponibilidade não é simples de ser interpretada, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo podem limitar esse benefício (Camargo 1983).

Para uma melhor interpretação e discussão dos resultados, procurou-se considerar duas informações extraídas na literatura: a primeira, refere-se à citação de Bier et al. (1972), que estabelece para a macroporosidade do solo um limite mínimo de 10%; a segunda, refere-se à distribuição do tamanho dos poros, determinada por Mantovani (1984), para o solo em estudo. De acordo com os resultados obtidos por esse autor, a porosidade total e a macroporosi-

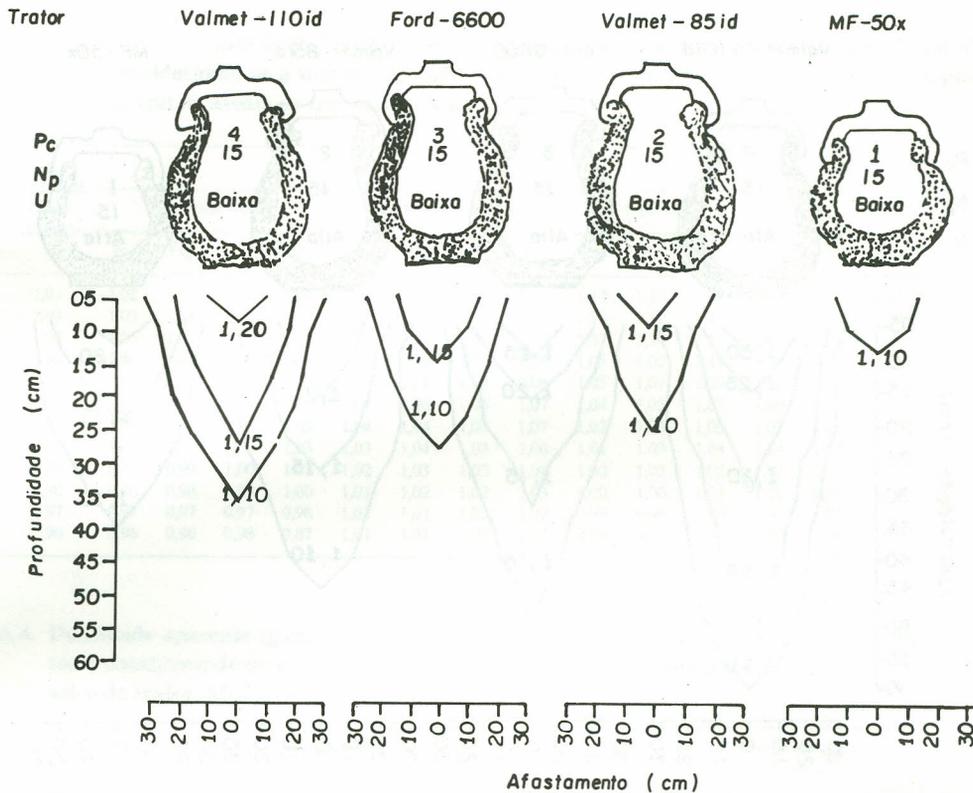


FIG. 2. Isolinas representativas do comportamento da densidade aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), quando se consideram as quatro pressões de contato ( $P_c$ ), as 15 passadas do trator ( $N_p$ ) e o solo na umidade ( $U$ ) baixa.

dade assumem valores médios de 61% e 23%, respectivamente.

Feitas essas considerações, e assumindo-se que a compactação no campo só reduziu a macroporosidade, pode-se, matematicamente, obter um valor para a porosidade total, abaixo do qual a porosidade de aeração fica deficiente (menor que 10%). Esse valor crítico é facilmente obtido subtraindo-se da porosidade total (61%) o valor que falta aos 10% para completar a macroporosidade, ou seja 13%. Assim, quando a porosidade total for menor que 48%, haverá problemas de aeração.

Para completar o raciocínio, pode-se calcular a densidade aparente, que é crítica, já que há uma relação inversa entre porosidade total e densidade aparente. Nesse cálculo, utilizando-se o valor médio de  $2,61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  para a densidade de partículas, o valor crítico obtido para a den-

sidade aparente foi de  $1,36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Observando-se as Tabelas, verifica-se que em todos os tratamentos a densidade aparente ficou menor que este valor. Isso significa que, no presente trabalho, o tráfego do trator e as pressões de contato na compactação do solo em estudo provavelmente foram pouco prejudiciais à porosidade de aeração.

Para melhor interpretação dos resultados, foram traçados os gráficos apresentados nas Fig. 1, 2 e 3. Nesses gráficos, não estão representados os quatro primeiros tratamentos, pois os valores da densidade aparente obtidos com esses tratamentos não atingiram o valor mínimo que se estabeleceu na representação. Isso é um bom resultado, pois as mesmas pressões utilizadas nesses tratamentos promoveram mudanças representativas com teor de umidade mais alto. As Fig. 1, 2 e 3 dão uma idéia de área relativa

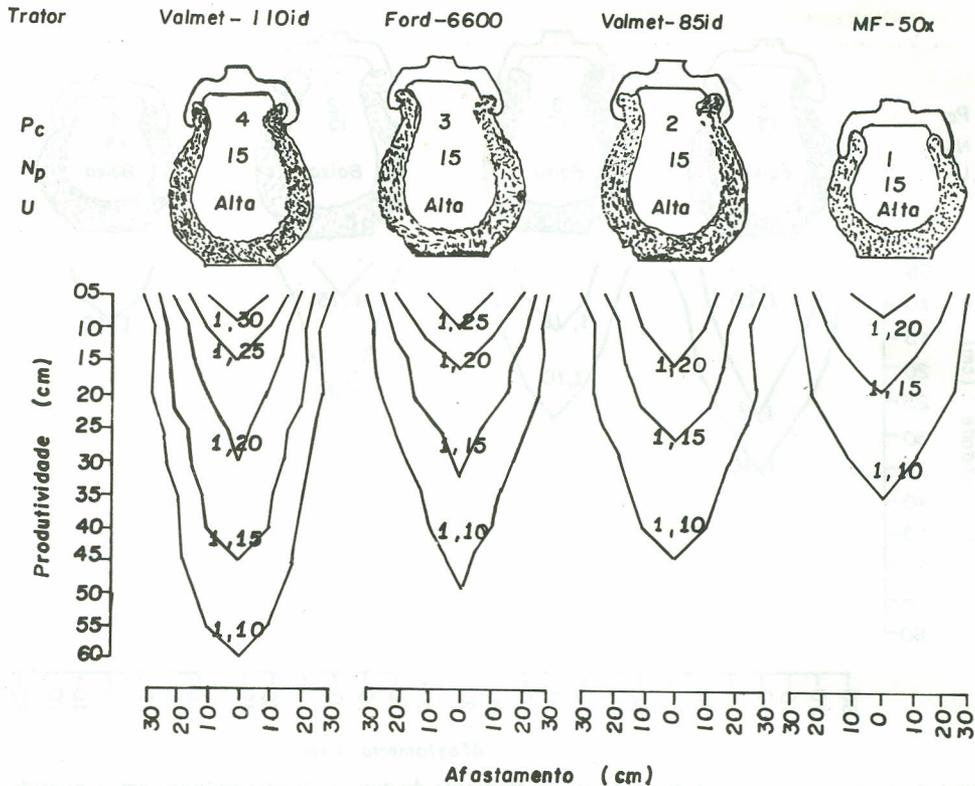


FIG. 3. Isolinas representativas do comportamento da densidade aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), quando se consideram as quatro pressões de contato ( $P_c$ ), as 15 passadas do trator ( $N_p$ ) e o solo na umidade ( $U$ ) alta.

TABELA 2. Densidade aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) até 60 cm de profundidade, obtida após a aplicação dos tratamentos e considerando-se a tomada de dados na linha central do rastro do pneu traseiro do trator. Média de três repetições.

| Profundidade (cm) | Densidade inicial do solo | Uma passada   |          |          |          |              |          |          |          | Quinze passadas |          |          |          |              |          |          |          |
|-------------------|---------------------------|---------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|
|                   |                           | Umidade baixa |          |          |          | Umidade alta |          |          |          | Umidade baixa   |          |          |          | Umidade alta |          |          |          |
|                   |                           | $P_{c1}$      | $P_{c2}$ | $P_{c3}$ | $P_{c4}$ | $P_{c1}$     | $P_{c2}$ | $P_{c3}$ | $P_{c4}$ | $P_{c1}$        | $P_{c2}$ | $P_{c3}$ | $P_{c4}$ | $P_{c1}$     | $P_{c2}$ | $P_{c3}$ | $P_{c4}$ |
| 05                | 1,01                      | 1,00          | 1,01     | 1,02     | 1,02     | 1,04         | 1,05     | 1,04     | 1,05     | 1,03            | 1,04     | 1,06     | 1,08     | 1,07         | 1,09     | 1,09     | 1,11     |
| 10                | 1,03                      | 1,02          | 1,03     | 1,03     | 1,03     | 1,05         | 1,06     | 1,04     | 1,04     | 1,02            | 1,02     | 1,03     | 1,07     | 11,05        | 1,05     | 1,07     | 1,07     |
| 15                | 1,04                      | 1,03          | 1,04     | 1,05     | 1,04     | 1,05         | 1,04     | 1,05     | 1,03     | 1,04            | 1,03     | 1,05     | 1,05     | 1,07         | 1,07     | 1,08     | 1,07     |
| 20                | 1,05                      | 1,05          | 1,00     | 1,06     | 1,05     | 1,06         | 1,07     | 1,05     | 1,07     | 1,04            | 1,05     | 1,05     | 1,07     | 1,05         | 1,08     | 1,08     | 1,08     |
| 25                | 1,05                      | 1,05          | 1,04     | 1,04     | 1,05     | 1,07         | 1,06     | 1,06     | 1,07     | 1,05            | 1,05     | 1,02     | 1,05     | 1,05         | 1,07     | 1,06     | 1,07     |
| 30                | 1,02                      | 1,02          | 1,02     | 1,02     | 1,03     | 1,03         | 1,05     | 1,04     | 1,04     | 1,03            | 1,02     | 1,01     | 1,05     | 1,04         | 1,04     | 1,05     | 1,05     |
| 35                | 1,01                      | 1,01          | 1,01     | 1,01     | 1,01     | 1,02         | 1,03     | 1,02     | 1,03     | 1,01            | 1,01     | 1,01     | 1,03     | 1,05         | 1,03     | 1,04     | 1,04     |
| 40                | 1,00                      | 1,00          | 0,99     | 1,99     | 1,00     | 1,01         | 1,02     | 1,01     | 1,01     | 1,00            | 1,00     | 1,00     | 1,02     | 1,02         | 1,02     | 1,03     | 1,04     |
| 45                | 0,99                      | 0,98          | 0,99     | 0,09     | 0,99     | 1,00         | 1,01     | 1,01     | 1,01     | 1,00            | 0,99     | 0,99     | 1,01     | 1,02         | 1,01     | 1,01     | 1,02     |
| 50                | 0,98                      | 0,98          | 0,98     | 0,98     | 0,98     | 1,00         | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 0,99            | 0,99     | 0,98     | 0,99     | 1,01         | 1,01     | 1,00     | 1,01     |
| 55                | 0,97                      | 0,97          | 0,97     | 0,97     | 0,97     | 0,99         | 1,00     | 1,03     | 1,00     | 0,98            | 0,98     | 0,97     | 0,99     | 1,00         | 1,00     | 1,00     | 1,00     |
| 60                | 0,96                      | 0,96          | 0,97     | 0,96     | 0,97     | 0,98         | 0,98     | 0,97     | 0,98     | 0,97            | 0,97     | 0,98     | 0,88     | 1,00         | 0,59     | 1,00     |          |

**TABELA 3.** Densidade aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) até 60 cm de profundidade, obtidos após a aplicação dos tratamentos e considerando-se a tomada de dados 10 cm a partir da linha central do rastro do pneu traseiro do trator. Média de três repetições.

| Profundidade (cm) | Densidade inicial do solo | Uma passada     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Quinze passadas |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   |                           | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 |
|                   |                           | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> |
| 05                | 1,01                      | 1,02            | 1,05            | 1,08            | 1,09            | 1,10            | 1,12            | 1,13            | 1,16            | 1,12            | 1,15            | 1,17            | 1,20            | 1,20            | 1,22            | 1,24            | 1,30            |
| 10                | 1,03                      | 1,03            | 1,04            | 1,06            | 1,07            | 1,09            | 1,10            | 1,12            | 1,15            | 1,10            | 1,12            | 1,15            | 1,19            | 1,18            | 1,20            | 1,22            | 1,25            |
| 15                | 1,04                      | 1,05            | 1,04            | 1,05            | 1,06            | 1,07            | 1,07            | 1,12            | 1,13            | 1,07            | 1,10            | 1,12            | 1,17            | 1,15            | 1,18            | 1,17            | 1,22            |
| 20                | 1,06                      | 1,06            | 1,07            | 1,07            | 1,09            | 1,08            | 1,08            | 1,09            | 1,11            | 1,05            | 1,09            | 1,11            | 1,14            | 1,15            | 1,16            | 1,17            | 1,20            |
| 25                | 1,05                      | 1,05            | 1,05            | 1,05            | 1,05            | 1,08            | 1,07            | 1,08            | 1,08            | 1,05            | 1,07            | 1,09            | 1,12            | 1,12            | 1,14            | 1,14            | 1,18            |
| 30                | 1,02                      | 1,03            | 1,02            | 1,03            | 1,04            | 1,06            | 1,06            | 1,06            | 1,07            | 1,04            | 1,05            | 1,07            | 1,09            | 1,10            | 1,12            | 1,12            | 1,18            |
| 35                | 1,01                      | 1,02            | 1,01            | 1,01            | 1,03            | 1,04            | 1,04            | 1,06            | 1,07            | 1,02            | 1,03            | 1,05            | 1,07            | 1,07            | 1,11            | 1,11            | 1,16            |
| 40                | 1,00                      | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 1,03            | 1,06            | 1,01            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 1,07            | 1,10            | 1,10            | 1,15            |
| 45                | 0,99                      | 0,98            | 0,99            | 1,00            | 1,02            | 1,02            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,03            | 1,06            | 1,08            | 1,08            | 1,13            |
| 50                | 0,98                      | 0,98            | 0,98            | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,02            | 1,03            | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,04            | 1,06            | 1,07            | 1,11            |
| 55                | 0,97                      | 0,97            | 0,97            | 0,97            | 0,98            | 1,01            | 1,01            | 1,02            | 1,02            | 0,99            | 0,98            | 1,00            | 1,01            | 1,03            | 1,04            | 1,05            | 1,10            |
| 60                | 0,96                      | 0,96            | 0,96            | 0,98            | 0,87            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 0,98            | 0,98            | 0,99            | 1,00            | 1,01            | 1,03            | 1,04            | 1,09            |

**TABELA 4.** Densidade aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) até 60 cm de profundidade, obtidos após a aplicação dos tratamentos e considerando-se a tomada de dados 20 cm a partir da linha central do rastro do pneu traseiro do trator. Média de três repetições.

| Profundidade (cm) | Densidade inicial do solo | Uma passada     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Quinze passadas |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   |                           | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 |
|                   |                           | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> |
| 05                | 1,01                      | 1,02            | 1,03            | 1,05            | 1,07            | 1,07            | 1,08            | 1,07            | 1,10            | 1,09            | 1,10            | 1,12            | 1,15            | 1,16            | 1,17            | 1,20            | 1,20            |
| 10                | 1,03                      | 1,02            | 1,03            | 1,03            | 1,06            | 1,05            | 1,07            | 1,06            | 1,09            | 1,07            | 1,07            | 1,10            | 1,14            | 1,14            | 1,13            | 1,16            | 1,17            |
| 15                | 1,04                      | 1,04            | 1,05            | 1,04            | 1,05            | 1,06            | 1,06            | 1,06            | 1,08            | 1,05            | 1,05            | 1,09            | 1,12            | 1,12            | 1,13            | 1,14            | 1,17            |
| 20                | 1,06                      | 1,06            | 1,06            | 1,06            | 1,07            | 1,07            | 1,06            | 1,07            | 1,08            | 1,06            | 1,06            | 1,07            | 1,10            | 1,11            | 1,12            | 1,13            | 1,16            |
| 25                | 1,03                      | 1,04            | 1,05            | 1,04            | 1,06            | 1,07            | 1,06            | 1,07            | 1,07            | 1,04            | 1,05            | 1,09            | 1,09            | 1,09            | 1,11            | 1,11            | 1,13            |
| 30                | 1,02                      | 1,02            | 1,03            | 1,02            | 1,03            | 1,05            | 1,05            | 1,04            | 1,04            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 1,04            | 1,07            | 1,09            | 1,09            | 1,12            |
| 35                | 1,01                      | 1,01            | 1,02            | 1,01            | 1,02            | 1,04            | 1,04            | 1,03            | 1,04            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,04            | 1,06            | 1,08            | 1,09            | 1,10            |
| 40                | 1,00                      | 1,99            | 1,01            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,03            | 1,03            | 1,03            | 1,01            | 1,02            | 1,01            | 1,03            | 1,05            | 1,08            | 1,07            | 1,09            |
| 45                | 0,99                      | 0,98            | 1,00            | 0,98            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,01            | 1,02            | 1,00            | 1,01            | 1,00            | 1,02            | 1,05            | 1,05            | 1,05            | 1,09            |
| 50                | 0,98                      | 0,97            | 0,98            | 0,97            | 0,98            | 1,00            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 0,99            | 1,01            | 1,99            | 1,01            | 1,03            | 1,04            | 1,03            | 1,07            |
| 55                | 0,97                      | 0,97            | 0,98            | 0,97            | 0,98            | 1,00            | 1,01            | 1,00            | 1,01            | 0,98            | 1,00            | 0,98            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,02            | 1,06            |
| 60                | 0,96                      | 0,96            | 0,97            | 0,97            | 0,97            | 0,99            | 0,99            | 1,00            | 1,00            | 0,97            | 1,00            | 0,97            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,02            | 1,06            |

do solo que foi atingida com a aplicação de cada tratamento.

As curvas apresentadas na Fig. 4 mostram os testes de compactação em campo e laboratório. Para se traçar as curvas de campo, foram considerados os dados médios referentes à profundidade de 20 cm, pois para o teste de laboratório as amostras também foram coletadas nessa profundidade.

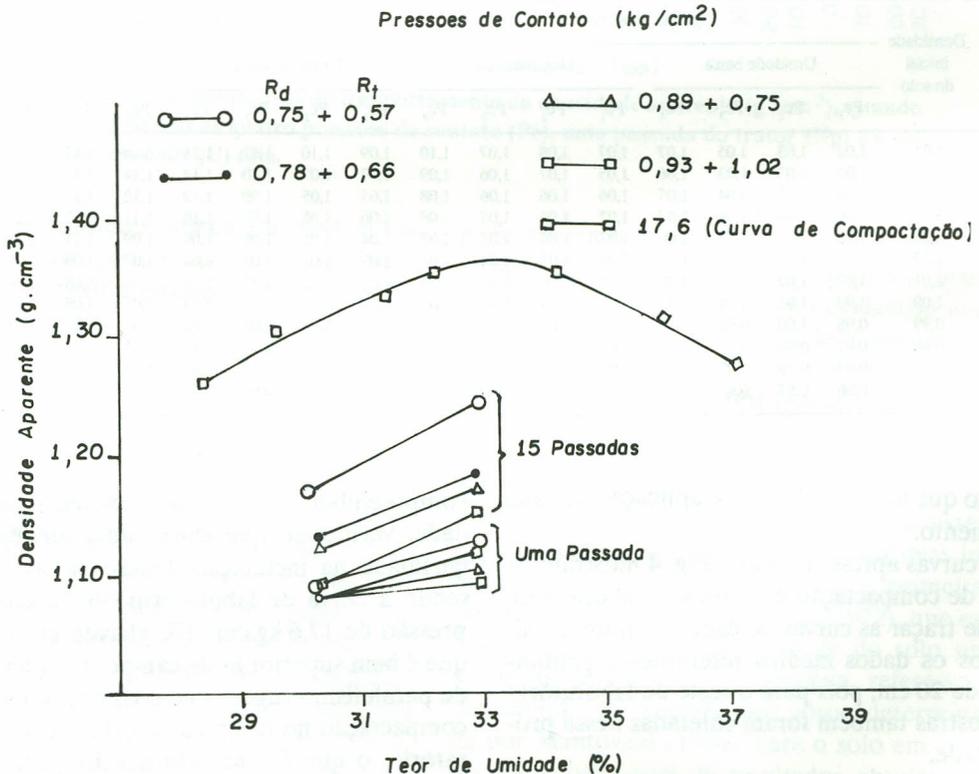
Quando se comparam as curvas obtidas no campo com o trecho da curva de laboratório

compreendido entre os mesmos teores de umidade, verifica-se que existe uma tendência de igualdade na inclinação dessas curvas, mesmo sendo a curva de laboratório obtida com uma pressão de  $17,6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$  (Raghaven et al. 1977), que é bem superior às de campo. Essa tendência de paralelismo sugere que o comportamento da compactação no campo assemelha-se à do laboratório, o que é uma informação bastante útil quando se pretende evitar o problema da compactação, pois, a partir de um teste de laboratório

rio, pode-se saber em que faixa de umidade ocorrerá a máxima compactação, restando somente executar as operações, e com máquinas, quando o teor de umidade do solo estiver abaixo dessa faixa crítica.

**TABELA 5. Densidade aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) até 60 cm de profundidade, obtidos após a aplicação dos tratamentos e considerando-se a tomada de dados 30 cm a partir da linha central do rastro do pneu traseiro do trator. Média de três repetições.**

| Profundidade (cm) | Densidade inicial do solo | Uma passada     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Quinze passadas |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   |                           | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 | Umidade baixa   |                 |                 |                 | Umidade alta    |                 |                 |                 |
|                   |                           | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> | Pc <sub>1</sub> | Pc <sub>2</sub> | Pc <sub>3</sub> | Pc <sub>4</sub> |
| 05                | 1,01                      | 1,04            | 1,06            | 1,09            | 1,11            | 1,11            | 1,12            | 1,14            | 1,16            | 1,12            | 1,17            | 1,19            | 1,21            | 1,24            | 1,25            | 1,28            | 1,34            |
| 10                | 1,03                      | 1,03            | 1,05            | 1,07            | 1,10            | 1,10            | 1,12            | 1,14            | 1,16            | 1,11            | 1,15            | 1,18            | 1,20            | 1,19            | 1,24            | 1,25            | 1,29            |
| 15                | 1,04                      | 1,04            | 1,05            | 1,06            | 1,09            | 1,10            | 1,10            | 1,12            | 1,15            | 1,09            | 1,13            | 1,15            | 1,20            | 1,18            | 1,21            | 1,21            | 1,25            |
| 20                | 1,06                      | 1,06            | 1,07            | 1,08            | 1,09            | 1,09            | 1,10            | 1,11            | 1,13            | 1,08            | 1,12            | 1,13            | 1,19            | 1,15            | 1,17            | 1,18            | 1,24            |
| 25                | 1,05                      | 1,05            | 1,06            | 1,06            | 1,07            | 1,08            | 1,08            | 1,10            | 1,11            | 1,07            | 1,11            | 1,11            | 1,16            | 1,13            | 1,15            | 1,17            | 1,21            |
| 30                | 1,02                      | 1,03            | 1,04            | 1,03            | 1,06            | 1,06            | 1,08            | 1,09            | 1,10            | 1,05            | 1,09            | 1,09            | 1,13            | 1,12            | 1,14            | 1,16            | 1,20            |
| 35                | 1,01                      | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,05            | 1,06            | 1,07            | 1,07            | 1,09            | 1,04            | 1,06            | 1,06            | 1,10            | 1,11            | 1,12            | 1,14            | 1,19            |
| 40                | 1,00                      | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,03            | 1,05            | 1,05            | 1,05            | 1,07            | 1,02            | 1,03            | 1,04            | 1,07            | 1,09            | 1,11            | 1,13            | 1,17            |
| 45                | 0,99                      | 1,00            | 1,01            | 1,01            | 1,03            | 1,03            | 1,05            | 1,04            | 1,05            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,05            | 1,07            | 1,10            | 1,11            | 1,15            |
| 50                | 0,98                      | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,02            | 1,03            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,03            | 1,07            | 1,09            | 1,09            | 1,14            |
| 55                | 0,97                      | 0,99            | 0,99            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,02            | 1,03            | 1,03            | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,02            | 1,05            | 1,06            | 1,06            | 1,11            |
| 60                | 0,96                      | 0,97            | 0,98            | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,00            | 0,99            | 1,00            | 1,00            | 1,01            | 1,04            | 1,05            | 1,06            | 1,10            |



**FIG. 4. Curvas de compactação obtidas no campo e em laboratório, com diferentes pressões de contato.**

## CONCLUSÕES

1. O tráfego de trator e as pressões de contato estudadas não compactaram o solo a níveis prejudiciais à porosidade de aeração, em nenhum dos níveis de umidade.

2. A umidade em torno de 33% (-0,06 MPa) é mais favorável à compactação do que em torno de 30% (-0,18 MPa).

3. O Ensaio Normal de Compactação pode ser usado para prever a compactação no campo.

## REFERÊNCIAS

- BAIER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- CAMARGO, O.A. *Compactação do solo e desenvolvimento de plantas*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 498p.
- CORSINI, P.C. Modificação de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intenso. *Científica*, n.2, p.148-161, 1974.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de dois solos. *Revista Ceres*, Viçosa, v.34, n.196, p.562-568, 1987.
- JORGE, J.A. *Compactação do solo: causas, conseqüências e maneiras de evitar a sua ocorrência*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 22p. (Circular, 117).
- MANTOVANI, E.C. *A soil surface traffic-corn yield model for a soil under cerrado vegetation in Brazil with less than 100 years of cultivation*. West Lafayette: Purdue University, 1984. 148p. Tese.
- MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.13, n.17, p.52-55, 1987.
- RAGHAVEN, G.S.V.; McKYES, E.; MERINEAU, B. Prediction of clay soil compaction. *Journal of Terramechanics*, v.14, n.1, p.31-38, 1977.
- RAGHAVEN, G.S.V.; McKYES, E.; CHASSE, M.; MERINEAU, F. Development of compaction patterns due to machinery operations in an orchard soil. *Canadian Journal Plant Science*, v.56, p.505-508, 1976.
- SILVA, I.F. da; KLAMT, E.; SCHNEIDER, P.; SCOPEL, I. Efeitos de sistema de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um latossolo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, 1980. *Anais...* Recife: UFRP, 1981. p.322-342.
- SOEHNE, W. Fundamental of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, Michigan, v.39, n.5, p.276-281, 1958.
- TAYLOR, J.C., BELTRAME, L.F.S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.33, p.34-44, 1980.