

COMPACTAÇÃO DO SOLOEvandro Chartuni Mantovani*

Nos últimos anos, com a expansão da fronteira agrícola, a utilização de várzeas para plantio e a exploração de duas culturas anuais com cronogramas de trabalho bem definidos e apertados, tem-se observado uma intensa movimentação de máquinas e equipamentos agrícolas para o manejo do solo e plantio das culturas exploradas. Também tem se verificado um aumento indiscriminado de peso e de potência dos tratores utilizados, devido à falta de um critério no dimensionamento e na seleção dos implementos e tratores por parte dos agricultores, quando da sua aquisição.

Atualmente, os problemas de compactação do solo têm sido uma preocupação por parte dos agricultores e, coincidentemente, tais problemas começam a chamar atenção nas áreas onde a prioridade dos trabalhos com máquinas e implementos se restringe somente ao rendimento operacional (ha/h), e a qualidade do trabalho com o solo, ou seja, o manejo adequado do solo tem sido considerado como secundário.

O volume total de um solo é constituído do volume das partículas minerais do solo e do volume de poros entre as partículas. O volume de um poro é ocupado com água e/ou ar. O solo está compactado quando a proporção do volume total de poros para o volume total do solo é inadequada para o máximo desenvolvimento de uma cultura ou manejo eficiente do campo. A compactação do solo pode ser considerada em relação à porosidade e densidade do solo e à resistência à penetração.

A exploração de grandes áreas nas regiões dos cerrados requer uma alta capacidade efetiva de trabalho (ha/h) dos equipamentos agrícolas e, consequentemente, o uso de alguns equipamentos, como a grade pesada, tem sido quase uma constante no preparo do solo. Nesta situação, a qualidade do manejo do solo cai e a eficiência de trabalho aumenta.

Os projetos de irrigação nas várzeas geralmente são desenvolvidos visando principalmente o manejo da água de irrigação. Posteriormente as máquinas e equipamentos agrícolas começam a trafegar nos tabuleiros com o objetivo de preparo do solo e manejo da cultura. Neste caso os tabuleiros atendem os

*Engenheiro Agrônomo, PhD, pesquisador em Mecanização Agrícola, EMPRAPA, CNP-Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, 35700 - Sete Lagoas, MG

requisitos de drenagem e irrigação e de maneira geral podem estar mal dimensionados e inadequados para os tipos, tamanho e peso de máquinas que estão trafegando nestes solos. É importante ressaltar que anualmente a drenagem superficial tem diminuído e o teor de umidade do solo para trabalho com máquinas vai aumentando, dificultando os trabalhos de preparo de solo pela baixa eficiência de tração, causada pela alta porcentagem de patinagem dos tratores. Para compensar esta alta porcentagem de patinagem do trator, e para que este possa desenvolver uma velocidade operacional adequada, tratores de grande potência e peso são utilizados. Grande parte desta potência está sendo desperdiçada na roda pela patinagem e o aumento de peso contribuindo para a depreciação do solo. Outro fator que contribui para a depreciação do solo é o trabalho de colheita, onde as colhedoras automotrizes trafegam nestes solos com alta umidade com uma elevada carga.

Considerando resultados de pesquisa no Brasil e no exterior, nas áreas de manejo de solo e mecanização agrícola, pode-se chegar a um equilíbrio destas duas áreas, no sentido de dar ao agricultor condições de atender ao seu cronograma estabelecido, trabalhando com um bom rendimento operacional, sem depreciar o solo. Para tanto, alguns conceitos básicos terão que ser adotados e avaliados para melhor utilização do solo e da máquina.

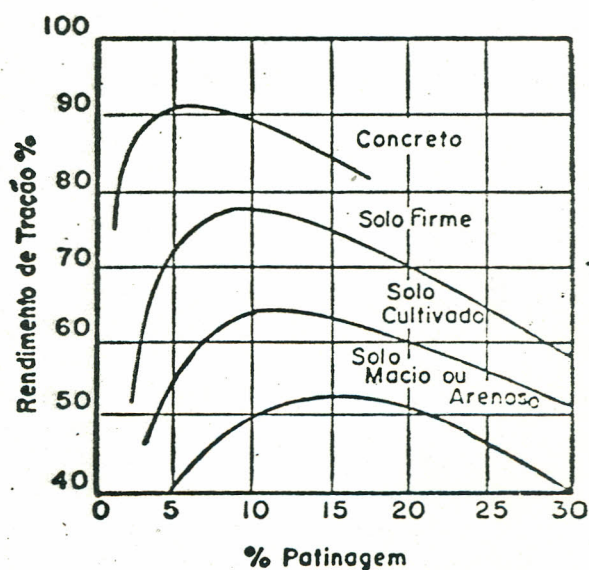
Os tratores agrícolas deverão tracionar seus implementos, mantendo um alto rendimento de tração ($RT = \text{potência na barra de tração} / \text{potência do motor}$). Para tanto, a porcentagem de patinagem das rodas deverá ficar nos limites de 8% a 16%, como mostra a Figura 1. Após o dimensionamento da potência requeri-

FIGURA 1. Rendimento de Tração X porcentagem de patinagem do pneu para um trator de tração das rodas asexiais.
(Fonte: ASAE EP 391).

Solo Firme: Condição do solo que precede o seu preparo.

Solo Cultivado: Condição do solo após o seu preparo com arado.

Solo Cultivado: Condição do solo após a gradagem de destorroamento e nivelamento.



da para tracionar os implementos selecionados, espera-se que o trator se mantenha dentro deste limite, adicionando lastro, quando este valor ultrapassar 16% ou retirando lastro quando este valor ficar abaixo de 8%. Outras maneiras são conhecidas para melhorar a eficiência de tração, como por exemplo a escolha de pneus mais adequados para as diferentes situações de solo. Os pneus arrozeiros, de gomos mais altos, foram desenvolvidos para atingir as zonas mais firmes do solo e manter um alto rendimento de tração. O teor de umidade do solo tem grande influência no processo de compactação do solo. A Figura 2 mostra uma relação entre o teor de umidade e a densidade global de um Latossolo Vermelho Escuro, quando submetido a três energias de compactação. Na prática, esta energia de compactação representa o número de passadas do trator no solo.

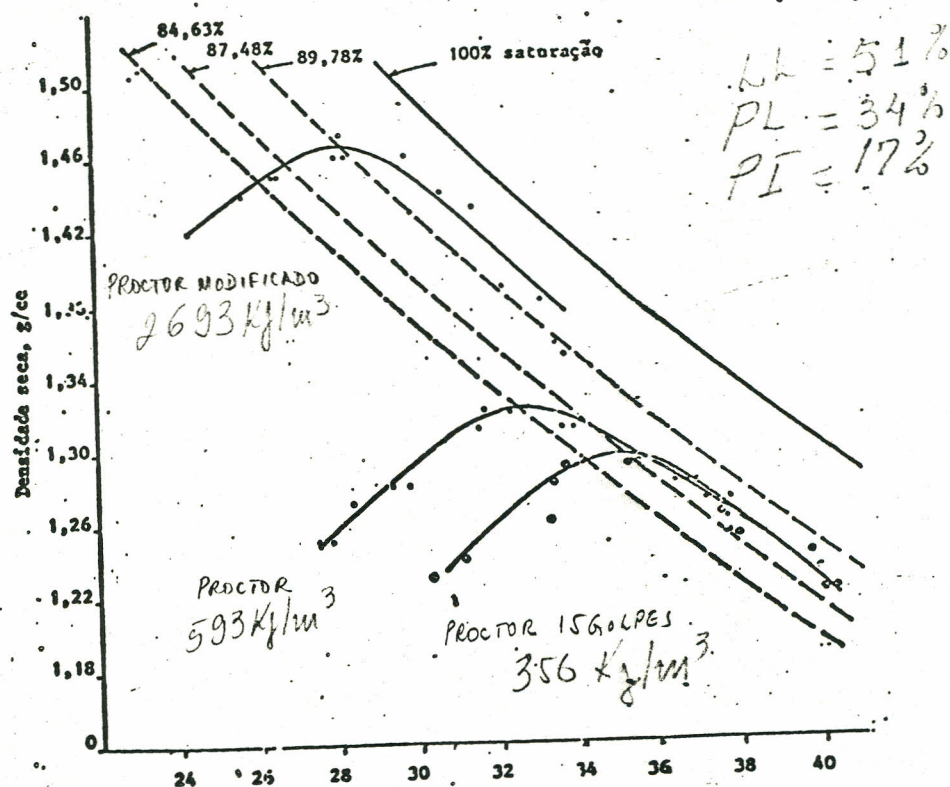


FIGURA 2. Curva de Compactação do Latossolo Vermelho Escuro.
(Fonte: Mantovani, E.C. et alli)

Pode-se verificar que cada curva aponta um teor de umidade ótimo que favorece a obtenção do valor máximo de densidade, ou seja, de compactação do solo. Geralmente este valor máximo de compactação está próximo ao teor de umidade correspondente à capacidade de campo. É interessante que se obtenha uma curva de compactação para cada tipo de solo e que se evite o trabalho com máquinas próximo a este ponto ótimo de teor de umidade. Outro fato importante a notar é que à medida que a energia de compactação aumenta, é necessário uma quantidade menor de água para se alcançar o máximo de compactação; isto serve de alerta para os equipamentos mais pesados.

Uma outra variável a ser considerada no processo de compactação é a textura do solo. Os solos cuja constituição seja de partículas do mesmo tamanho são menos susceptíveis ao processo de compactação, comparados aos solos onde há mistura de argila, silte e areia. Isto se deve ao fato de as partículas de tamanhos diferentes se arranjam e preencherem os poros, quando submetidas a uma pressão no solo. As pressões aplicadas à superfície do solo por um pneu de trator são aproximadamente iguais à pressão de inflar um pneu, entretanto, em alguns pontos, como no gomo do pneu e nas partes laterais dos aros, ocorrem pressões maiores, localizadas. As pressões geradas na superfície do solo são chamadas de contato, ou seja, a carga total aplicada à superfície do solo, distribuída na área de contato com o solo, como mostra a Figura 3.

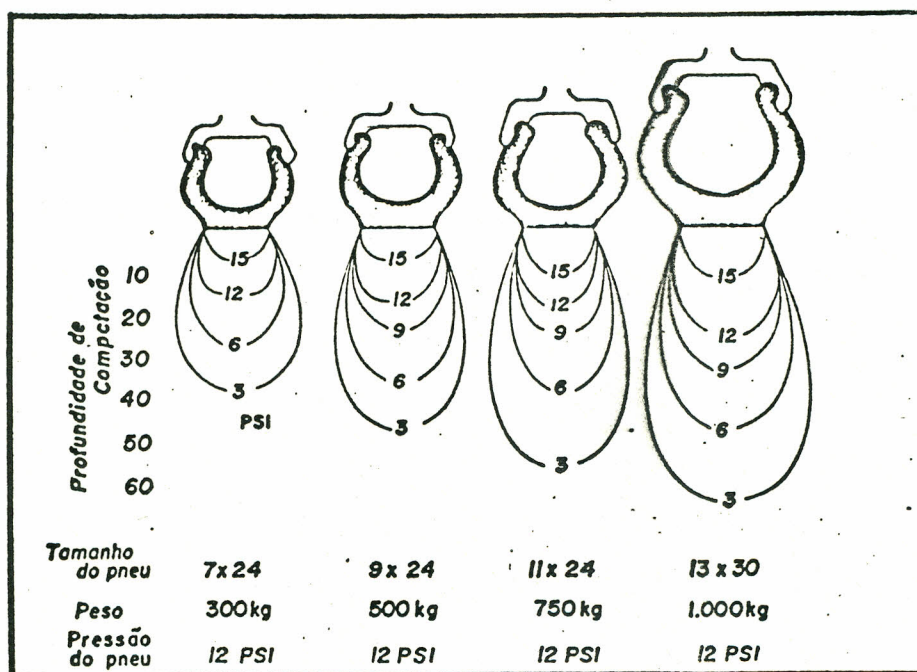


FIGURA 3. Efeito da pressão vertical (usando a equação modificada Boussinesq) sob vários tamanhos de pneu.
(Fonte - Chancelor, W.J.)

No caso dos tratores, esta área de contato com o solo são as rodas e no caso dos implementos, como o arado e as grades, são os discos. Por este motivo é que as grades pesadas são consideradas agentes causadores de compactação, pois o peso total do equipamento é distribuído numa área muito pequena do disco. O volume de poros destruídos no solo por um equipamento agrícola, devido à compactação, é igual ao volume do sulco produzido pelo equipamento.

Porosidade e Densidade do Solo

Geralmente em solos não saturados ou em capacidade de campo, os poros maiores são ocupados por ar, e poros menores por água. O melhor método direto para determinar a compactação do solo é o da densidade global do solo. Densidade global é o peso de solo seco a 105-110°C, por unidade de volume total do solo, expressa em gramas por centímetros cúbicos.

A porosidade de um solo é a razão do volume total de poros para o volume total de solo, e é usualmente expressa em percentagem. A porosidade pode ser determinada uma vez que a densidade global é conhecida.

Para a maioria dos solos, a densidade de partícula tem um valor variando de 2,55 a 2,70 g/cc e quando informações mais específicas não são conhecidas ou disponíveis, pode-se assumir 2,65 g/cc.

Porosidade é o termo de maior significado para se usar na discussão de compactação do solo por causa da descrição direta da proporção de volume do solo disponível para raízes das plantas e a água e ar que elas requerem.

Resistência à Penetração

A resistência do solo à penetração de um penetrômetro é, assim como a taxa de infiltração de água, um indicador secundário de compactação do solo, não sendo medição física direta de qualquer condição do solo. A semelhança da infiltração de água no solo, é afetada por muitos outros fatores além da compactação do solo, sendo o mais importante o teor de umidade do solo.

A densidade global não pode ser acuradamente inferida pela leitura de penetrômetro se não se conhece os teores de umidade do solo. A resistência à penetração é altamente afetada pela textura do solo, Figura 4. A utilidade das medidas de cone penetrômetro na determinação de compactação é limitada às medidas comparativas feitas no mesmo solo, no mesmo teor de umidade. A resistência à penetração pode ser medida facilmente em várias profundidades mas, se as medidas forem comparadas, o teor de umidade terá que ser o mesmo em todos

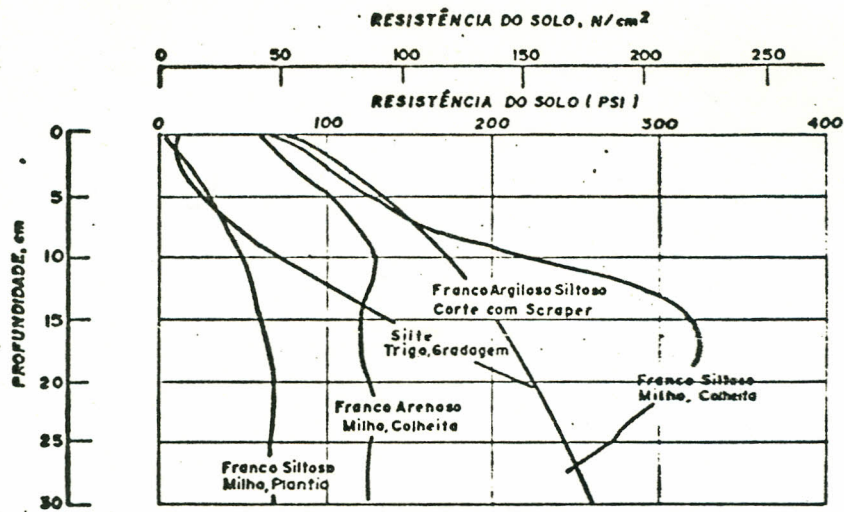


FIGURA 4. Curvas típicas de resistência do solo.
(Fonte - Liljedahl, J. et alli)

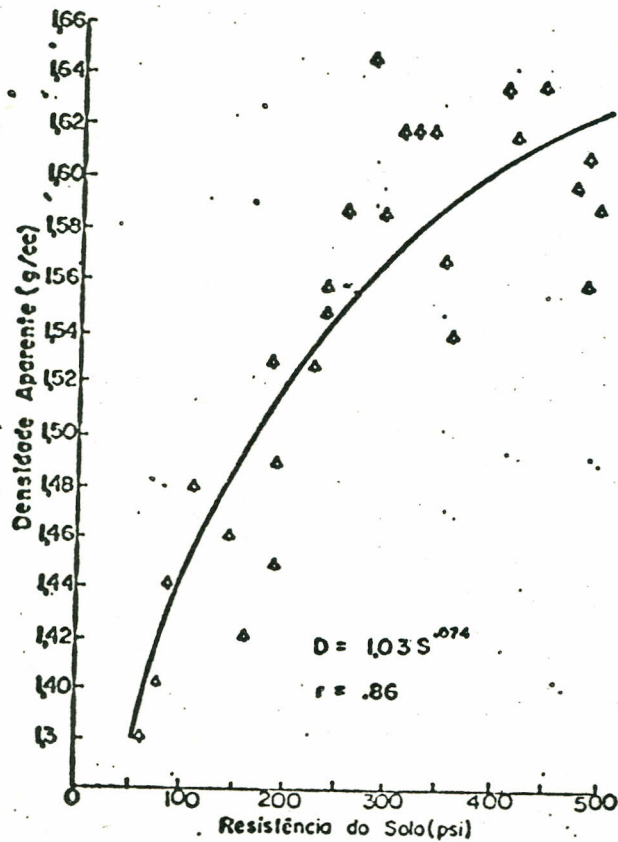


FIGURA 5. Relação entre resistência do solo e densidade do solo
para um solo no teor de umidade de capacidade de campo.
(Fonte - Chancellor, W.J.)

A relação entre resistência do solo e densidade global varia de solo para solo e, para um determinado solo, com o teor de umidade. Mesmo quando o mesmo teor de umidade é usado, a relação das leituras de cone penetrômetro e densidade global do solo podem ser diferentes entre um solo compactado em condições de laboratório quando comparado com um solo compactado em condições de campo.

De posse destas informações pode-se entender agora como uma compactação do solo se desenvolve. Após uma pressão no solo, ocorre a quebra do agregado do solo e o aumento da densidade global. Na quebra do agregado do solo, ocorre uma redução dos poros, acarretando:

1. Diminuição da troca de oxigênio e dióxido de carbono;
2. Limitação do movimento de nutrientes na água;
3. Aumento da quantidade de água no solo;
4. Diminuição da temperatura do solo.

Com o aumento da densidade global, o solo aumenta a sua resistência à penetração, ocasionando:

1. Sistema radicular superficial;
2. Aumento dos requerimentos de potência;

Sintomas Visuais do Efeito da Compactação do Solo em Plantas e no Solo

Sintomas visuais em plantas:

1. Demora na emergência das plântulas;
2. Plantas mais baixas que o normal;
3. Folhas com coloração não característica;
4. Sistema radicular superficial;
5. Raízes mal formadas.

Sintomas visuais no solo:

1. Crosta no solo;
2. Zona compactada de superfície;
3. Água empocada;
4. Erosão excessiva pela água;
5. Aumento de requerimento de potência para o preparo de solo.

Causas da má Estrutura do Solo

O desenvolvimento da má estrutura do solo é um fenômeno associado com operações frequentes de preparo de solo.

As causas mais comuns da má estrutura do solo incluem:

1. Drenagem inadequada;
2. Preparo excessivo do solo;
3. Sistema intensivo de exploração de cultura;
4. Operações impróprias no campo;
5. Tipo de implementos agrícolas.

Melhoria da Estrutura do Solo

A fim de melhorar a estrutura do solo, várias medidas podem ser tomadas:

1. Proporcionar uma adequada drenagem do solo, tanto na superfície como na subsuperfície;
2. Utilizar princípios de "preparo conservacionista" para que o solo tenha o mínimo necessário de desagregação, a fim de criar condições essenciais para uma rápida germinação, bom stand final e rápido desenvolvimento de plântas.
3. Manter e melhorar os níveis de matéria orgânica no solo;
4. Utilizar equipamentos mais leves;
5. Redução da pressão do pneu no solo, pela utilização de pneus mais largos ou de rodagem dupla, Figura 6.

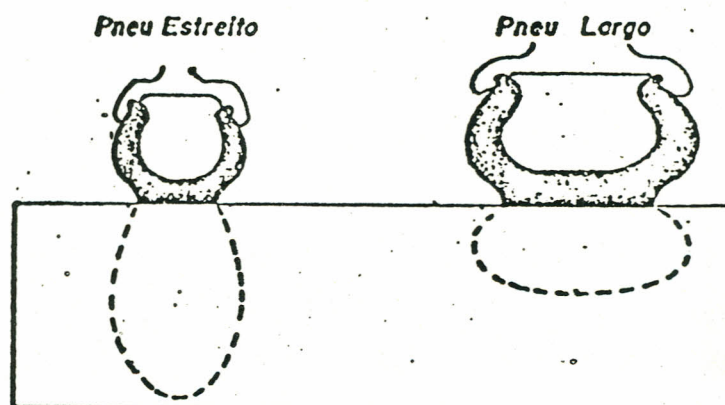


FIGURA 6. Distribuição da pressão do pneu no solo.
(Fonte - Chancellor, W.J.)

Literatura Consultada

1. American Society of Agricultural Engineers. Agricultural Engineers Yearbook - St. Joseph, Michigan, 1985.
2. American Society of Agricultural Engineers. Compaction of Agricultural Soil. ASAE Monograph - St. Joseph, Michigan. 1971
3. Bowers, W. Modern Concept of Farm Machinery Management. Stipes Publisling Co. Champaign, Illinois, 1970.
4. Chancellor, W.J. Compaction of Soil by Agricultural Equipment. Bulletin 1981. University of California. 53p. 1977.
5. Hunt, D. Farm Power and Machinery Management. Iowa State University Press, Ames, IOWA, 1977.
6. Liljedahl, J.B.; W.M. Carleton, P.K. Turnquist e D. W. Smith Tractor and Their Power Units. 3ª edição. John Wiley and sons. New York. 1979.
7. Mantovani, E.C. e A. Mantovani. Elementos Básicos de Mecanização - Rendimento dos Conjuntos e Custo do Trabalho. CNPMS-EMBRAPA, Sete Lagoas - Minas Gerais. 1981.
8. Mantovani, E.C.; G.W. Krutz, H.G. Gibson e G.C. Steinhardt. A Soil Surface traffic-corn yield model for a soil under cerrado vegetation in Brazil with less than 10 years of cultivations. St. Joseph-Michigan, ASAE, 1984. 20p. (ASAE paper nº 84-1546).
9. Robertson, L.S.; A.E. Erichson e D.R. Christenson. Visual Syntoms, Causes and Remedies of Bad Soil Structures. Research Report. Michigan State University. 8p. 1976.