

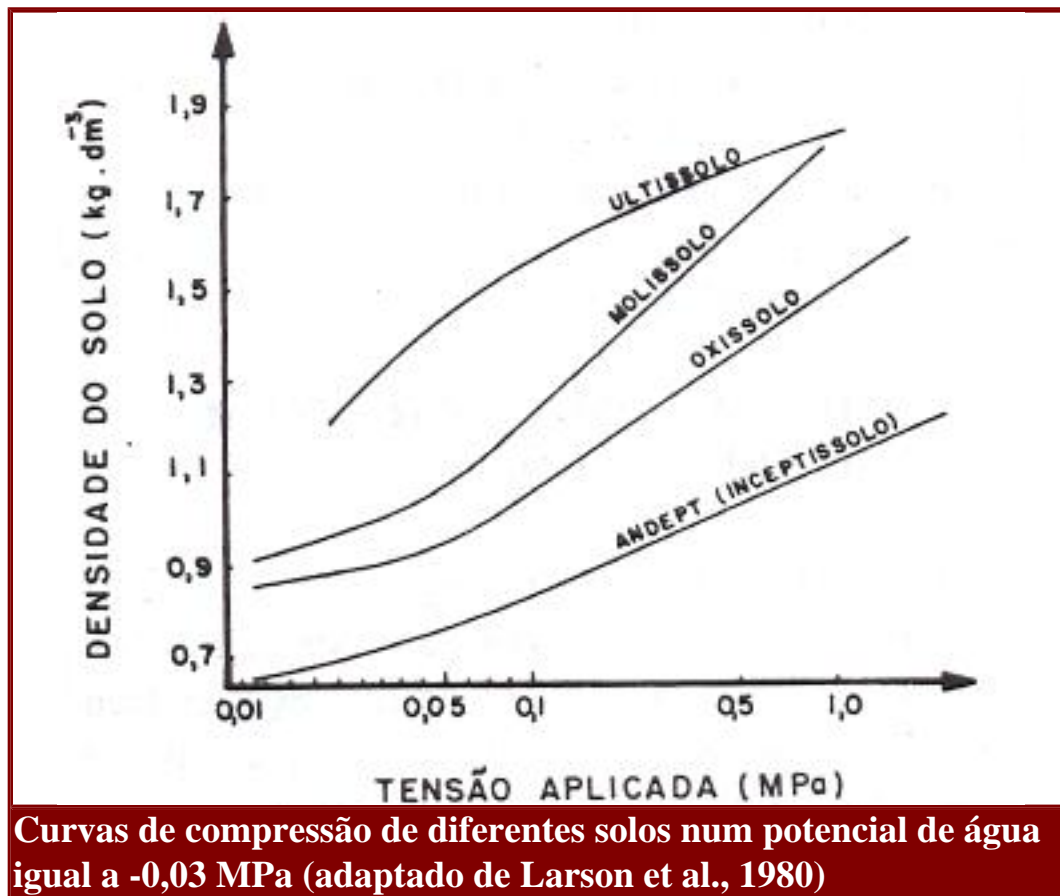
## EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM ATRIBUTOS DO SOLO

por Otávio Antonio de Camargo e Luis Reynaldo F. Alleoni

As modificações de importância agrônômica que ocorrem em solos compactados dizem respeito aos seguintes fatores: aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes. Num determinado tempo e local, um desses fatores pode tornar restrito o desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta.

A profundidade máxima de efeito da compactação imposta por máquinas e implementos agrícolas, independentemente do tipo de solo e do peso da maquinaria, não excede 0,50 m, segundo Daniel & Maretti (1990). Esses autores consideram como camada compactada, "a porção do perfil de solo que, em sua extensão superficial ou subsuperficial, apresenta valores de densidade e/ou resistência à penetração superiores aos valores obtidos a 0,50 m de profundidade". Portanto, deve-se tomar tal profundidade como referência para avaliação de camadas de solo compactado.

É importante ressaltar que os solos reagem diferentemente a uma mesma pressão aplicada. Larson et al. (1980) dividiram os solos em quatro grandes grupos, conforme a variação de suas densidades com a tensão a que foram submetidos (Figura abaixo):



**a) solos derivados de cinzas vulcânicas (Andepts)**, tendo a alofana como mineral de argila predominante: mesmo sob altas pressões, têm densidades relativamente baixas;

**b) solos altamente intemperizados (oxissolos)**, com alto teor de óxidos de ferro: têm densidades com valores médios sob baixas tensões e, devido a seu índice de compressão não ser tão alto, apresentam densidades que variam de média a moderadamente altas a tensões elevadas;

**c) solos contendo arguas expansíveis (molissolos)**: possuem densidades médias a baixas tensões e densidades moderadamente altas a tensões elevadas;

**d) solos de textura grosseira (ultissolos)**, com tamanho variado de partículas, normalmente apresentam densidades altas em todas as tensões.

### Influência na água do solo

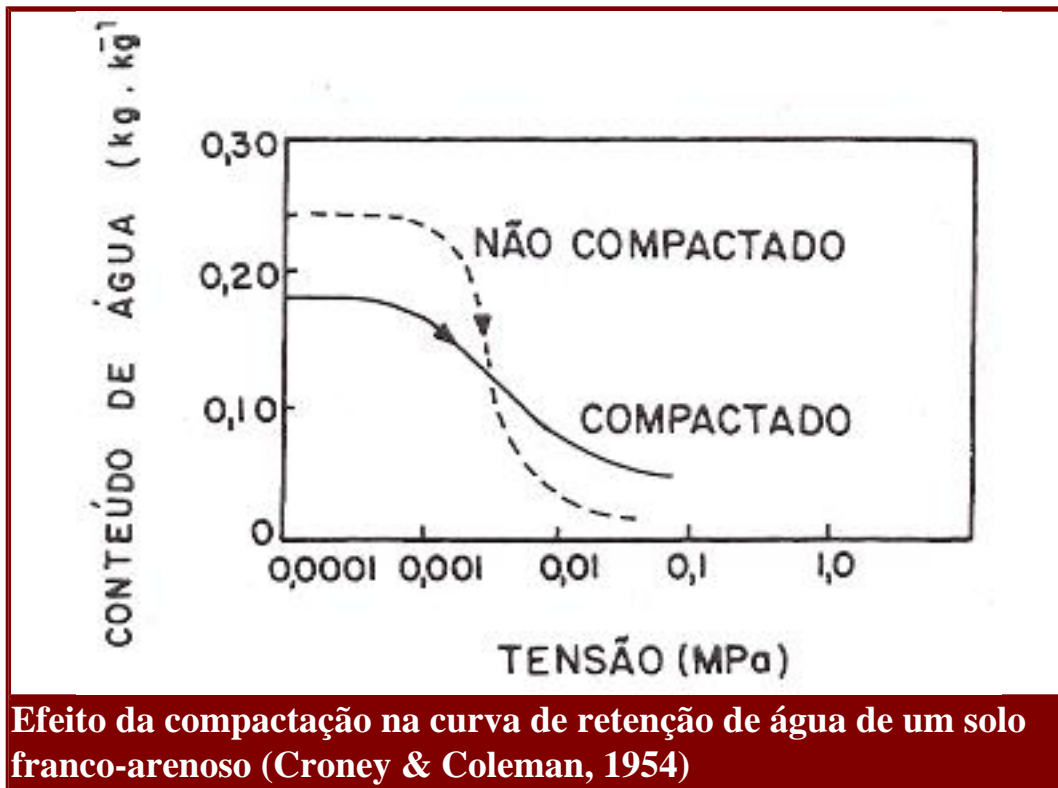
O tamanho dos poros determina o potencial de água neles retida e, conseqüentemente, a sucção necessária para esvaziá-lo. Quanto maior o tamanho do poro, menor será a sucção a ser aplicada para retirar a água, e quanto menor o tamanho do poro, consideravelmente maior será a sucção necessária. Solos de classes distintas apresentam diferentes distribuições do tamanho de poros e, assim, quantidades variáveis de água retirada a determinada sucção. Na tabela abaixo, observa-se que enquanto no podzólico vermelho-amarelo uma sucção de 0,003 MPa esvaziou mais de 60% dos poros, no latossolo roxo a mesma sucção esvaziou menos que 20%.

#### Distribuição de poros em dois solos e sucção necessária para retirar a água nos diferentes tamanhos de poros (adaptada de Grohmann, 1960)

| Tamanho do poro | LR* | PV* | Sucção  |
|-----------------|-----|-----|---------|
| mm              | %   |     | MPa     |
| < 0,02          | 77  | 31  | > 0,015 |
| 0,02 a 0,05     | 1   | 2   | 0,015   |
| 0,05 a 0,10     | 2   | 5   | 0,006   |
| 0,10 a 0,20     | 4   | 21  | 0,003   |
| > 0,20          | 16  | 41  | 0,001   |

\* LR= latossolo roxo; PV = podzólico vermelho-amarelo

Esta relação entre a sucção aplicada e a quantidade de água contida no solo é expressa, graficamente, pela curva de retenção da água no solo. Um exame desta curva para solos não compactados e compactados (Figura abaixo) mostra que, em condições de saturação, a quantidade de água retida pelo solo diminui com a compactação, seguindo de perto a diminuição na porosidade total. Portanto, a baixas tensões, uma amostra compactada retém menos água do que uma não compactada.



Essa relação se modifica a altas tensões, nas quais um solo compactado retém mais água. A quantidade de água retida pelo solo a tensões acima de 0,01 MPa é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas. A compactação, de maneira geral, aumenta a quantidade de água contida na faixa de disponibilidade para as plantas (aproximadamente entre 0,01 e 0,1 MPa, segundo Sanchez, 1981). Entretanto, há casos em que isso não corre, como no trabalho de Stone et al. (1994). Esses autores avaliaram a evolução de alguns atributos físico-hídricos de um latossolo vermelho-escuro argiloso, após sete cultivos sucessivos, sob pivô central com arroz e feijão e observaram que a água disponível na camada superficial, 0-0,20 m, diminuiu de 10,6 para 8,0 mm, enquanto na camada de 0,20-0,40 m, o decréscimo foi de 9,0 para 7,2 mm. A interpretação da disponibilidade, contudo, não é simples, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo podem dificultá-la.

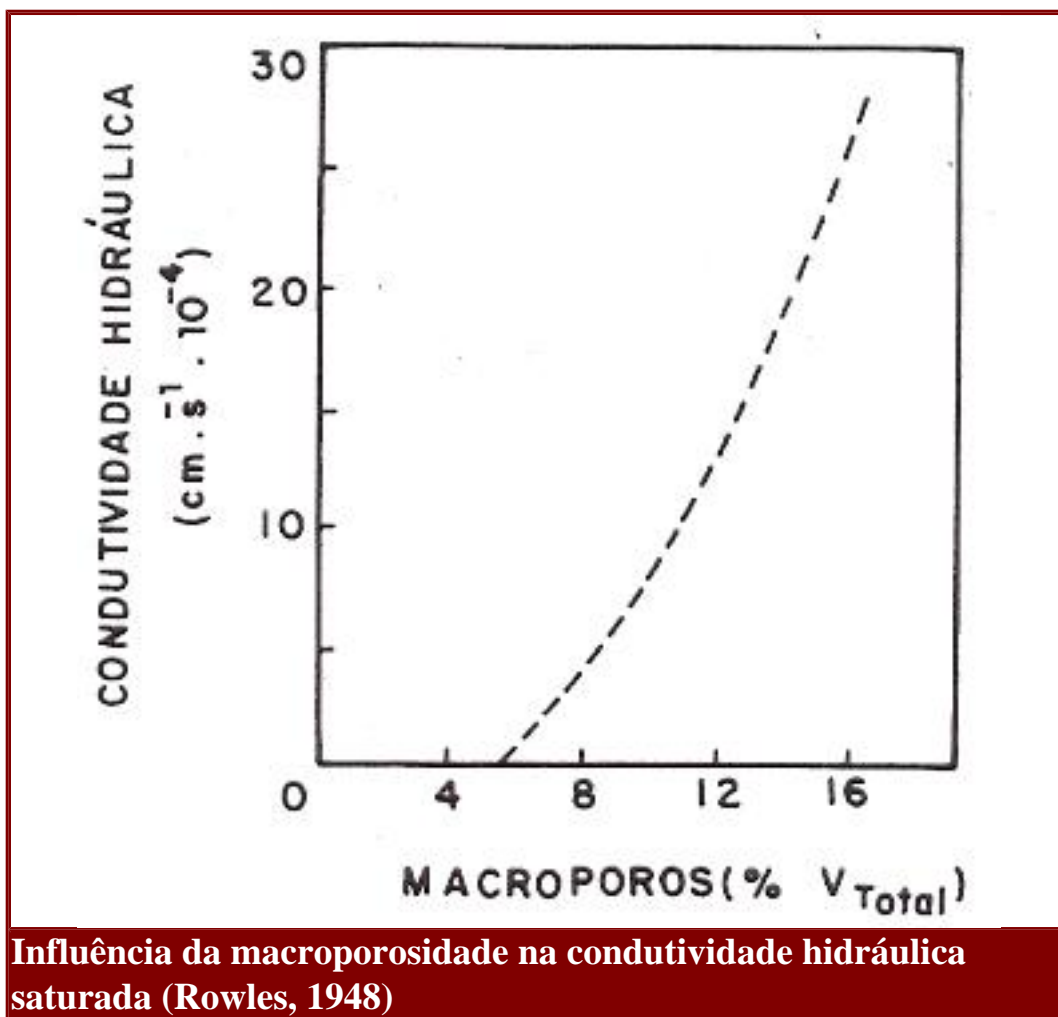
A redução da água facilmente disponível pode ser de alta ocorrência em condições de campo, podendo aparecer sintomas de estresse hídrico devido ao arranjo compacto das raízes, ainda que o valor obtido de água disponível não leve a esta conclusão. O comprimento de raízes de milho por unidade de volume foi cerca de vinte vezes menor na entrelinha compactada de um solo franco-argiloso do que na linha e na entrelinha não compactada como pode ser observado na tabela abaixo (Tardieu, 1988).

**Comprimento das raízes de milho por unidade de volume (Cv) sob a linha, sob a entrelinha não-compactada (ELNC), sob a entrelinha compactada (ELC) (adaptada de Tardieu, 1988)**

| Ano | Camada | Cv                  |      |     |
|-----|--------|---------------------|------|-----|
|     |        | Linha               | ELNC | ELC |
|     | cm     | cm.cm <sup>-3</sup> |      |     |

|              |       |      |      |      |
|--------------|-------|------|------|------|
| <b>1985</b>  | 0-20  | 0,85 | 0,85 | 0,00 |
|              | 21-40 | 0,32 | 0,43 | 0,02 |
|              | 41-60 | 0,17 | 0,18 | 0,01 |
|              | 61-80 | 0,05 | 0,03 | 0,01 |
| <b>Média</b> |       | 0,35 | 0,37 | 0,01 |
| <b>1987</b>  | 0-20  | 1,58 | 1,26 | 0,05 |
|              | 21-40 | 0,79 | 0,92 | 0,05 |
|              | 41-60 | 0,25 | 0,30 | 0,03 |
|              | 61-80 | 0,08 | 0,15 | 0,06 |
| <b>Média</b> |       | 0,67 | 0,66 | 0,05 |

O volume de água que flui num tubo por unidade de tempo é proporcional à quarta potência do raio do tubo. Assim, se o diâmetro de um tubo diminui 1/3 do tamanho original, o volume do fluxo diminuirá para 1/81 do original. Como a compactação diminui a quantidade de poros grandes, ela tem grande influência na transmissão da água em um solo saturado. É sabido, em mecânica de solo, que o logaritmo da condutividade hidráulica aumenta linearmente com o tamanho dos poros. No exemplo próxima figura, observa-se que quando o volume de macroporos é reduzido à metade (de 16 para 8%) a condutividade hidráulica cai aproximadamente sete vezes (de 28 para 4  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ).



Foi constatada diminuição da condutividade hidráulica com aumento da densidade do solo (Tabela abaixo). A taxa de infiltração em solos compactados também é diminuída, podendo trazer alguns inconvenientes, como aeração deficiente e aumento do escoamento superficial de água, capaz de acelerar o carreamento de partículas do solo e até de certos fertilizantes e alguns defensivos agrícolas (Beltrame et al., 1981 e Coleti & Demattê, 1982)

### Condutividade hidráulica e densidade em três tipos de solo (Beltrame et al., 1981; Coleti & Demattê, 1982)

| Densidade           | Condutividade hidráulica | Densidade                        | Condutividade hidráulica | Densidade                                 | Condutividade hidráulica |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| kg.dm <sup>-3</sup> | mm.dia <sup>-1</sup>     | kg.dm <sup>-3</sup>              | mm.dia <sup>-1</sup>     | kg.dm <sup>-3</sup>                       | mm.dia <sup>-1</sup>     |
| <b>Planossolo</b>   |                          | <b>Latossolo vermelho-escuro</b> |                          | <b>Latossolo vermelho-escuro argiloso</b> |                          |
| 0,92                | 177,2                    | 0,93                             | 172,5                    | 1,25                                      | 3,0                      |
| 0,99                | 91,2                     | 1,13                             | 37,3                     | 1,40                                      | 0,8                      |
| 1,16                | 76,3                     | 1,19                             | 4,7                      | 1,60                                      | 0,2                      |
| 1,31                | 38,2                     | 1,31                             | 0,3                      | 1,65                                      | 0,1                      |

Ciclos de umedecimento e secamente parecem melhorar a infiltração em solos compactados, sem atingir, no entanto, a condição original de solo não compactado (Akram e Kemper, 1979). A Condutividade hidráulica de um solo não saturado, com umidade baixa, ou seja, mais baixa do que a "capacidade de campo", é maior para um solo compactado do que para um não compactado (Kemper et al., 1971), ao contrário do que acontece para a condutividade hidráulica do solo saturado. Isso acontece porque a compactação aumenta o número de poros pequenos que permanecem cheios de água quando o solo está com um conteúdo médio do líquido (Ghildyal & Satyanarayama, 1965).

### Influência na atmosfera do solo

Num solo submetido à compactação, pode ocorrer pulverização de agregados secos, compressão ou deformação de agregados úmidos ou simples aproximação, o mais perto possível, de suas partículas. Seja qual for o mecanismo, a compactação promove uma diminuição na porosidade livre de água, com conseqüente decréscimo em sua permeabilidade (Tabela abaixo). A baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais (Dewit, 1978), e essa concentração de raízes leva a planta a utilizar a água localizada apenas nos primeiros centímetros do solo, podendo causar problemas de deficiência hídrica em períodos de seca (Agnew & Carrow,) 1985).

### Comparação da permeabilidade ao ar num solo pouco e muito compactado, com água retida a 0,05 MPa (Erikson, 1982)

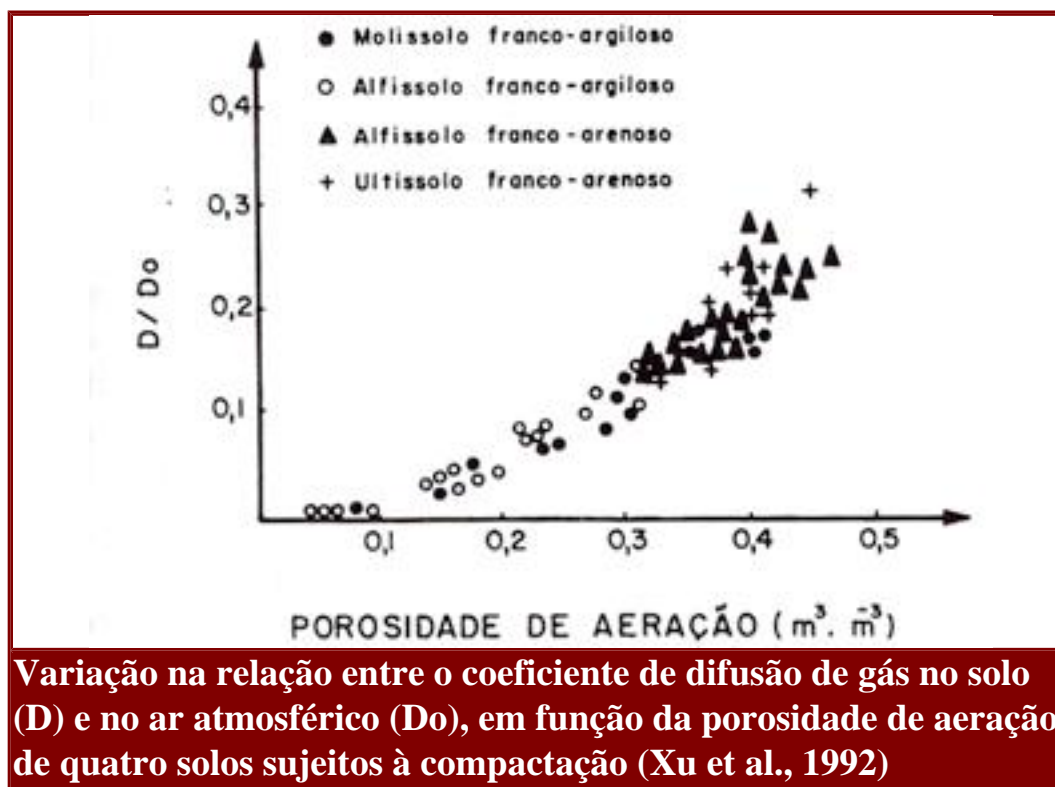
| Profundidade | Permeabilidade ao ar  |                        |
|--------------|-----------------------|------------------------|
|              | Solo pouco compactado | Solo muito compactado* |
| cm           | cm.min <sup>-1</sup>  |                        |

|       |     |      |
|-------|-----|------|
| 0-5   | 716 | 36,0 |
| 6-10  | 502 | 1,5  |
| 11-15 | 393 | 7,5  |
| 16-20 | 150 | 0,7  |

\* compactação acentuada nas camadas de 6-10 e de 16-20 cm

Se o solo estiver saturado, condição fácil de ser atingida em camadas compactadas, a difusão do oxigênio, ou sua troca com a atmosfera, será muito prejudicada. Como a raiz consome este elemento, seu teor poderá então diminuir muito no ar do solo, a tal ponto que a planta comece a sofrer sua deficiência.

A difusão do oxigênio do ar atmosférico para dentro da atmosfera do solo é muito importante para se manter esse elemento em níveis suficientemente altos para o crescimento radicular adequado. Essa difusão depende muito do espaço poroso livre de água ou porosidade de aeração. Quanto mais arenoso for um solo, maior será a presença de poros grandes e contínuos. Com isso, maior deve ser a razão entre o coeficiente de difusão de gases no solo e no ar atmosférico (Figura abaixo).

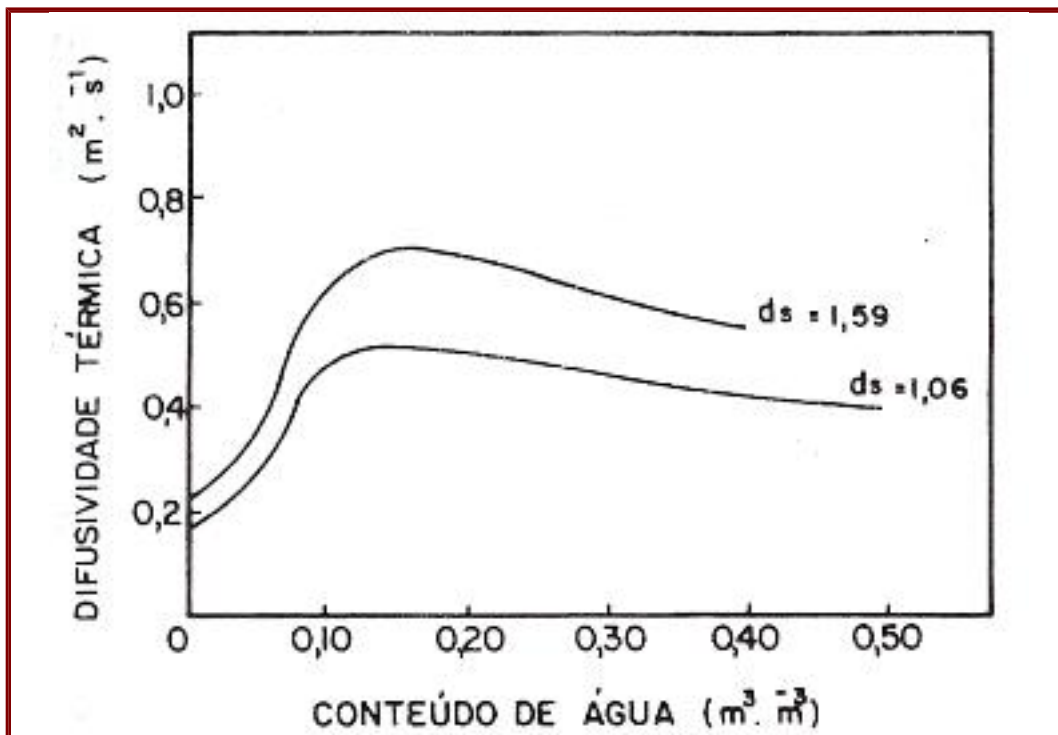


Muitos estudos têm sido feitos para avaliar as relações entre o coeficiente de difusão de gás e alguns atributos de fácil mensuração no solo. Xu et al. (1992) investigaram o efeito da compactação na relação entre o coeficiente de difusão de gás no solo e no ar atmosférico ( $D/D_o$ ) em dois solos de textura arenosa e dois de textura mais fina (Figura acima). Os dois solos franco-arenosos apresentaram poros de aeração maior que  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  e razão entre coeficientes difusão ( $D/D_o$ ) maior que 0,15, chegando até a 0,3. Nos solos franco-argilosos, a maior parte dos valores de porosidade de aeração foi inferior a  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . Conseqüentemente, a difusão de gás no solo diminuiu, chegando praticamente a zero em porosidades inferiores a 0,1.

Os maiores coeficientes foram encontrados nos de textura grosseira, refletindo a presença de poros contínuos maiores. Este valor é considerado crítico, pois há concordância nos meios acadêmicos que valores abaixo de  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  podem ser prejudiciais à atividade biológica das raízes e dos microrganismos (Cassel, 1991). Em latossolos roxos álicos gaúchos, submetidos ao manejo convencional de cultivo (aração superficial + duas ou mais gradagens com queima de resteva de trigo) por quinze anos seguidos, a macroporosidade foi inferior a  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  na profundidade de 0,15 a 0,30 m, comparada com  $0,19 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  em solo sob mata natural (Cintra et al., 1983).

### Temperatura e calor

O fluxo de calor é relacionado à compactação do solo, uma vez que a condutividade térmica de um meio poroso depende da distribuição e da condutividade das fases sólida líquida e gasosa. A umidade de solo influi mais do que sua densidade na condutividade térmica. Entretanto, para um mesmo conteúdo de água, a condutividade térmica do solo com densidade alta é maior do que em um com densidade baixa. A difusividade térmica obedece mais ou menos à mesma evolução (Figura abaixo). A faixa mais comum de umidade de solos argilosos, como é o caso do solo em questão, situa-se entre  $0,1$  e  $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . Na próxima figura, vê-se que a difusividade térmica do solo de maior densidade foi, em média, 40% superior a do solo menos denso, confirmando, com uma observação de campo, a afirmativa anterior dependendo da profundidade, a variação de temperatura será maior quanto maior for a difusividade térmica; sendo assim, em solos compactados essa variação é maior.



**Difusividade térmica num solo argiloso em diferentes graus de umidade, sob dois níveis de compactação ( $ds$  = densidade do solo, em  $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) (adaptada de Duin, 1963)**

## Nutrientes da solução do solo

O papel da solução do solo como fonte de nutrientes e a maneira como sua concentração é mantida nas vizinhanças de raiz é assunto de muita relevância na nutrição de plantas. Como já foi citado, as raízes ocupam apenas uma pequena fração do volume total do solo, sendo a velocidade com que os nutrientes alcançam a superfície radicular muito importante para sua absorção. Os nutrientes atingem os lugares de absorção da raiz se movimentando com a água, para satisfazer as exigências transpiratórias da planta (fluxo de massa) ou se movendo independentemente do movimento da solução (difusão) para a superfície de absorção, já que, como, são absorvidos na superfície radicular, há uma exaustão nessa região, criando um gradiente de concentração com a solução do solo mais distante da raiz.

Não é fácil determinar exatamente a influência da compactação sobre os mecanismos de movimento iônico. Como mencionado anteriormente, a condutividade hidráulica do solo saturado é maior em solos menos compactados. Para um mesmo solo, em condição não saturada, a diminuição do conteúdo de água provoca uma queda menos acentuada da condutividade hidráulica num solo compactado que num solo não compactado. Assim, por exemplo, se a condutividade do solo não saturado aumenta com a compactação, o fluxo de massa será maior, carreando mais rapidamente os íons da solução. Nesse caso, por esse mecanismo, a compactação aumentará o transporte de íons até a superfície absorvedora. Isto ocorre com o íon nitrato, por exemplo, dado que o fluxo de massa é muito importante para seu movimento.

Mandal et al. (1990), trabalhando em um solo franco arenoso ( $680 \text{ g.kg}^{-1}$  de areia,  $240 \text{ g.kg}^{-1}$  de silte e  $80 \text{ g.kg}^{-1}$  de argila), estudaram o efeito dos níveis moderadamente compactado ( $d_s=1,79 \text{ kg.dm}^{-3}$ ), altamente compactados, ( $d_s=1,85 \text{ kg.dm}^{-3}$ ) e sem compactação ( $1,52 \text{ kg.dm}^{-3}$ ), na lixiviação de nitrato, aplicado na forma de nitrato de potássio ( $20 \text{ kg.ha}^{-1}$  de nitrogênio). Após sucessivas irrigações observou-se que à medida que se aumentou a compactação, a concentração mais alta de nitrato foi encontrada em menores profundidades, e que a perda de nitrato por lixiviação foi três a quatro vezes menor no solo altamente compactado, quando comparado ao solo sem compactação. Concluiu-se, neste trabalho, que em solos de textura grosseira, a adubação nitrogenada pode ser economizada por compactação mecânica.

Ainda com relação ao nitrogênio, é sabido que o cultivo pode influenciar as flutuações com o decorrer do tempo, da atividade de enzimas desnitrificadoras no solo. Considera-se, a princípio, que a compactação do solo provoca um aumento na denitrificação. O tráfego de trator em inceptissolo úmido provocou perdas de N por denitrificação de duas a quatro vezes maiores que no solo "testemunha" (Bakken et al., 1987). O conteúdo de água durante a compactação foi o fator determinante de seu efeito, tanto na denitrificação, quanto a distribuição do tamanho dos agregados resultantes.

A influência da compactação na difusão de nutrientes (movem-se principalmente por difusão, no solo, íons que reagem com a superfície das partículas, como é o

potássio, em certas condições, e o fósforo) ainda não é muito clara. Existem experimentos nos quais a compactação aumenta, e outros nos quais ela diminui o coeficiente de difusão dos íons. O coeficiente de difusão do rubídio (substituindo o potássio) chegou a aumentar três vezes, para uma mesma umidade, com o aumento da densidade de um solo franco-arenoso de 1,36 para 1,95 kg.dm<sup>-3</sup> (Graham-Bryce, 1965).

Cornish et al. (1984) observaram que a compactação, medida pela variação da densidade do solo, afetou de maneira contrastante a habilidade de raízes de centeio de extraírem fósforo do solo. No valor mais alto de densidade, mais fósforo foi colocado em contato com as raízes, aumentando, assim, potencialmente, sua disponibilidade. Entretanto, houve redução no comprimento das raízes, devido à menor taxa de alongação, reduzindo a virtual disponibilidade do elemento para planta. O conteúdo de água foi o fator determinante, em condições de campo, da preponderância de um efeito sobre o outro.

As raízes menores que aparecem num solo compactado exsudam uma quantidade abundante de mucilagem que as une às partículas adjacentes do solo (Baligar et al., 1975). A íntima conexão entre a raiz e o solo, nestas circunstâncias, pode aumentar a habilidade de as raízes extraírem nutrientes pouco solúveis do solo. A habilidade da aveia em absorver manganês, por exemplo, num solo deficiente neste elemento, foi maior num solo compactado, no qual as planta cresceram bem mais rápido (Passioura & Leeper, 1963). Dentro de uma mesma cultura, o efeito da compactação na concentração dos nutrientes das plantas pode variar, dependendo sistema de manejo adotado. Pedrotti et al. (1994) estudaram o efeito de três níveis de compactação (1,3; 1,6 e 1,9kg.dm<sup>-3</sup> na absorção de nutrientes pelo arroz irrigado, arroz de sequeiro, milho e soja, num planossolo gaúcho.

### Teores de nitrogênio, fósforo e potássio de quatro culturas submetidas a diferentes níveis de compactação de um latossolo gaúcho (adaptada de Pedrotti et al., 1994)

| Cultura               | Teor de N         |                   |                   | Teor de P        |                  |                  | Teor de K         |                    |                   |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                       | d1*               | d2                | d3                | d1*              | d2               | d3               | d1*               | d2                 | d3                |
| <b>Arroz irrigado</b> | 45,0 <sup>a</sup> | 42,3 <sup>a</sup> | 41,0 <sup>a</sup> | 5,0 <sup>a</sup> | 4,3 <sup>b</sup> | 3,5 <sup>c</sup> | 40,2 <sup>a</sup> | 37,0 <sup>b</sup>  | 34,0 <sup>c</sup> |
| <b>Arroz sequeiro</b> | 44,9 <sup>a</sup> | 40,1 <sup>b</sup> | 36,6 <sup>b</sup> | 4,6 <sup>a</sup> | 3,7 <sup>b</sup> | 2,6 <sup>c</sup> | 34,4 <sup>a</sup> | 31,7 <sup>b</sup>  | 28,1 <sup>c</sup> |
| <b>Soja</b>           | 57,2 <sup>a</sup> | 54,4 <sup>a</sup> | 48,7 <sup>b</sup> | 2,5 <sup>a</sup> | 2,4 <sup>a</sup> | 2,1 <sup>b</sup> | 31,4 <sup>a</sup> | 29,3 <sup>ab</sup> | 28,8 <sup>b</sup> |
| <b>Milho</b>          | 40,1 <sup>a</sup> | 35,8 <sup>b</sup> | 33,5 <sup>b</sup> | 2,7 <sup>a</sup> | 1,9 <sup>b</sup> | 1,9 <sup>c</sup> | 56,5 <sup>a</sup> | 53,7 <sup>b</sup>  | 50,2 <sup>c</sup> |

\* d1 = 1,3 kg.dm<sup>-3</sup>; d2 = 1,6 kg.dm<sup>-3</sup>; d3 = 1,9 kg.dm<sup>-3</sup>

\*\* médias seguidas da mesma **letra**, na horizontal, por elemento, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

Observou-se que o arroz de sequeiro e o milho foram as culturas nas quais a absorção de nutrientes foi mais influenciada pelo aumento na densidade do solo. Em relação ao nitrogênio, somente no arroz irrigado não houve efeito deletério do aumento da compactação na concentração do elemento, enquanto no arroz de sequeiro e no milho houve diminuição no teor foliar já no segundo nível de compactação. Os teores foliares de fósforo decresceram com a compactação do solo, em maior ou menor

intensidade, em todas as culturas, sendo, somente na soja, o nível 2 de densidade não prejudicial. Para o potássio, a tendência de decréscimo no teor foliar foi mais constante em todas as culturas. Nas condições do ensaio, parece não ter havido correlação entre o aumento do coeficiente de difusão do potássio, em solos compactados, proposto por Graham-Bryce (1965), e o teor do elemento nas folhas

Com o cultivo, o solo se torna solto (descompactado), sua porosidade total aumenta, e novas superfícies de sua massa são expostas. Como consequência, aumenta-se a chance de mineralização da matéria orgânica, liberando nutrientes que poderão ser absorvidos pelas plantas. Já se observou a diminuição de até quatro vezes do teor de nitrogênio nativo mineralizado com o aumento da densidade global de um solo textura franco-argilosa (Whisler et al., 1965).

### **Compactação de solos arenosos**

Embora se considere que os solos de textura mais grosseiras apresentem alguma resistência à compactação, deve-se atentar para o fato de que eles são suscetíveis a três mecanismo que ocorrem, frequentemente, em condições de campo : a compactação superficial, a formação de "pans" (camadas horizontais endurecidas) devido ao tráfego e/ou cultivo com máquinas e implementos, e a impermeabilização superficial. A aplicação de uma força externa em materiais arenosos pode rearranjar as partículas mais finas, forçando-as a se assentarem nos vazios do solo (Mantovani, 1987), sendo que este processo pode resultar em valores de densidade superiores a  $2,0 \text{ kg.dm}^{-3}$ .

Camadas adensadas na subsuperfície de solos arenosos são resultado da fraca estrutura que possuem, de modo que uma pequena força aplicada pode compactá-los facilmente. Uma vez formados, os "pans" permanecem até que mecanicamente quebrados nos cultivos subsequentes.

A camada de selamento ou impermeabilização superficial também é consequência do fraco grau de estruturação solos arenosos, que possuem poucos agregados estáveis em água, os quais se esboroam facilmente quando umedecidos. É comum a identificação, nestes solos, de um sistema radicular rodeado pelo "pan" subsuperficial e pela camada de impermeabilização superficial quando há um período seco entre a semeadura ou plantio e a emergência ou brotação

### **LITERATURA CITADA**

DANIEL, L.A. & MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M. da, coord. Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 4., Jundiaí, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p.22-33.

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. Compression of agricultura! soils from eight soil orders. *Sói] Sei. Soe. Am. J.*, Madison, 44: 450-457, 1980.

- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 19:319-328, 1960.
- CRONEY, D. & COLEMAN, J.D. Soil structure in relation to soil suction ( $\rho F$ ). *J. Soil Sei.*, London, 5:75-84, 1954.
- SANCHEZ, P.A. Suelos dei trópico: características y manejo. San José, Inst. Interam. Coop. Agric. 1981. 633p.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. & ZIMMERMANN, F.J.P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 18:533-539,1994.
- TARDIEU, F. Analysis of the spacial variability in maize root density. III. Effect of a wheel compaction on water extraction. *Plant Soil*, Dodrecht, 109:257-262, 1988.
- ROWLES, W. Physical properties related to structure of Saint-Rosalie clay and their seasonal variation. *Scientif. Agr.*, Ottawa, 28:558-573, 1948.
- BELTRAME, L.F.S.; GOLDIN, L.A.R & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5:145-149, 1981.
- COLETI, J.T. & DEMATTE, J.L.I. Compactação artificial em solos. Experiências e dados informativos. *Álcool e Açúcar*, São Paulo, 2:34-38, 1982.
- AKRAM, M. & KEMPER, W.D. Infiltration of soils as affected by the pressure and water content at the time of compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 43:1080-1086, 1979.
- KEMPER, W.D.; STEWART, B.A. & PORTER, L.K. Effects of compaction on soil nutrient status. In: BARNES, K.K., org. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, ASAE, 1971. p.178-189.
- GHILDYAL, B.P. & SATYANARAYAMA, T. Effects of soil compaction on the physical properties of four different soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, NewDelhi, 13:149-155, 1965.
- DEWIT, M.C.J. Morphology and function on roots and shoot growth of crop plants under oxygen deficiency. In: HOOK, D.H. & CRAWFORD, R.M.M., eds. *Plant life in anaeróbio envi-ronment*. *Ann Arbor Sei. Publ.*, Ann Arbor, 1978. p.269-297.
- AGNEW, M.L. & CARROW, R.N. Soil compaction and moisture stress preconditioning in Kentucky Bluegrass. I. Soil aeration, water use and root responses. *Agron. J.*, Madison, 77:872-878, 1985.
- ERIKSSON, J. Soil compaction and root environment. Uppsala, Swedish University of Agricultura! Sciences, 1982. 138p. (Relatório, 126)
- XU, X.; NIEBER, J.L. & GUPTA, S.C. Compaction effect on the gás diffusion coefficient in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 56:1743-1750, 1992.
- CASSEL, D.K. Mechanical properties and tillage requirements of sandy soils. *Adv. Agron.*, New York, 1 :39-50, 1991.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um

latossolo roxo do Rio Grande do Sul. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7:323-327,1983.

DUIN, R.H.A. van. The influence of soil management on the temperature wave near the soil surface. Wageningen, Inst. Land and Water Manag. Rés., 1963. 28p. (B. Técn., 29)

MANDAL, D.K.; KAR, S. & SHARMA, S.K. Effect of compaction on nitrogen mobility in coarse textured lateritic soil. J. Indian Soc. Soil Sci., NewDelhi, 38(1): 145-147, 1990.

BAKKEN, L.R.; BORRESEN, T. & NJOS, A. Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification and yield (*Triücum aestivum*). J. Soil Sci., London, 38:541-552, 1987.

GRAHAM-BRYCE, U. Diffusion of cations in soils. Vienna, Int. Atom. Ener. Agency, 1965. p.42-56. (Tech. Rep. Ser., 48)

CORNISH, P.S.; SÓ, H.B. & McWILLIAM, J.R. Effects of soil bulk density and water regime on root growth and uptake of phosphorus by ryegrass. Austr. J. Agric. Rés., Melbourne, 35:631-644, 1984.

BALIGAR, V.C.; BASH, V.E.; HARE, M.L. & PRICE, J.A. Soybean root anatomy as influenced by soil bulk density. Agron. J., Madison, 67:842-844, 1975.

PASSIOURA, J.B. & LEEPER, G.W. Soil compaction and manganese deficiency. Nature, London, 200:29-30, 1963.

PEDROTTI, A.; VAHL, L.C. & PAULETTO, E.A. Absorção de nutrientes em diferentes níveis de compactação de um planossolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTI-LIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. Anais, Petrolina, EMBRAPA/CPATSA, 1994. p.302-304.

WHÍSLER, F.D.; ENGLE, C.F. & BAUGHMAN, N.M. The effect of soil compaction on nitrogen transformation in the soil. Wageningen, W. Vá. Agr. Expt. Sta. 1965. 12p. (Boletim, 5161)

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. In f. Agropec., Belo Horizonte, 13(147):52-55, 1987.



**Otávio Antonio de Camargo**, formado em engenharia agrônômica (1967) e mestre em Agricultura (1972) pela Esalq-USP e PhD pela Universidade da Califórnia (1978). É pesquisador do IAC desde 1969 (atualmente nível VI), professor colaborador da Esalq-USP desde 1990 e bolsista de produtividade do CNPq desde 1970. Já foi do Comitê externo de avaliação de diversos Centros e de programas da Embrapa e do CNPq. Tem diversos livros, capítulos de livros e boletins editados e é autor de aproximadamente

uma centena de artigos científicos em revistas nacionais e internacionais. É editor associado da Revista Brasileira de Ciência do Solo desde 1979, revisor de diversas revistas nacionais e internacionais e assessor científico da FAPESP e do CNPq, entre outras agências financeiras, desde 1980.

Contato: [Otávio Camargo](#)



**Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni**, formado em engenharia agrônoma, (1985), mestre (1992) e doutor (1996) em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas, e Livre-Docente em Química do Solo (2000), todos pela ESALQ/USP, além de Pós-Doutorado na Universidade da Florida (2005-2006). Trabalhou como pesquisador científico no Centro de Tecnologia da Copersucar e no Instituto Agrônomo de Campinas, e como docente na Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel (Bandeirantes- PR) e na Universidade de Marília. É professor da Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP desde 1997 e bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq desde 1998. É Editor-Chefe da revista Scientia Agricola e é autor de aproximadamente 50 artigos científicos em revistas nacionais e internacionais. É assessor científico da FAPESP e do CNPq, entre outras agências financeiras, desde 1999.

Reprodução autorizada desde que citado o autor e a fonte

Dados para citação bibliográfica(ABNT):

CAMARGO de, O. A.; Alleoni, L.R.F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>.

Acesso em: 29/5/2006

Publicado no InfoBibos em



Envie para um amigo

**Veja Também...**

