

# CAUSAS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

*por Otávio Antonio de Camargo e Luis Reynaldo F. Alleoni*

As forças que atuam no solo podem ser classificadas em externas e internas. Forças externas resultam do tráfego de veículos, animais ou pessoas, assim como do crescimento de raízes grandes que empurram as partículas do solo para forçar sua passagem, podendo até causar compactação. As forças internas resultam de ciclos, como congelamento e de gelo, umedecimento e secamento, e expansão e contração da massa do solo. Quando expressas como pressão, essas forças provavelmente têm a mesma ação no sistema, não sendo necessária distinção entre elas.

Cabe ressaltar a ação de fatores pedogenéticos derivados da evolução do solo, os quais podem causar seu adensamento em camadas subsuperficiais. Materiais muito finos são arrastados da superfície do solo, preenchendo partes dos poros das camadas inferiores. O processo de translocação de argila ocorre quando a chuva e/ou a água de irrigação caem sobre um solo seco, dispersando parte do material fino que, permanecendo em suspensão, é arrastado conforme a água caminha perfil abaixo, através dos vazios do solo. Se o subsolo estiver seco, a água que desce será absorvida pela massa do solo, e a argila em suspensão, filtrada depositada preenchendo os espaços porosos.

Graças ao mecanismo de dispersão, alguns fatores adicionais favorecem a translocação de argila, como: ausência de agentes cimentantes, como óxidos e carbonatos; valores de pH entre 4,5 e 6,5, sem excesso de cálcio e magnésio, com baixo teor de alumínio trocável (que é um cátion floculante nas concentrações mais comuns); pH alto, associado a níveis elevados de sódio trocável e ponto de carga zero (PCZ) pelo menos de meia a uma unidade mais baixo que o pH do solo. Se os valores de pH e PCZ estiverem muito próximos, ocorrerá diminuição da repulsão entre as partículas de argila carregadas negativamente, resultando em rápida floculação.

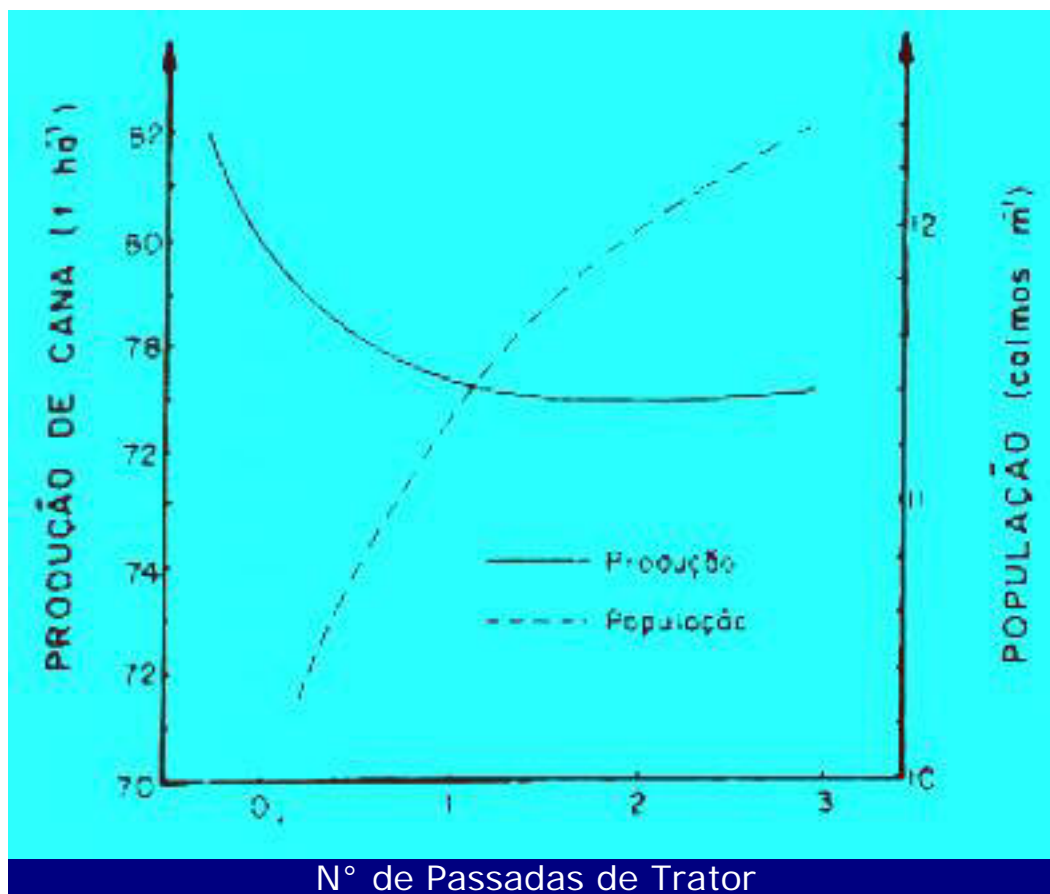
O rearranjo de partículas primárias e de agregados por implementos de tração e cultivo, principalmente a compressão causada por tráfego de veículos, processa-se em fases que, em condições de campo, ocorrem separadamente:

**Fase 1** - Preparo do solo: nesta fase, grande parte da é consumida para destruir os agregados, sendo os implementos de cultivo especificamente desenhados com esta finalidade, desagregando o solo em diferentes graus;

**Fase 2** - Tráfego posterior de máquinas e implementos: os veículos e implementos que trafegam sobre um solo preparado aplicam quase a totalidade de sua energia no sentido de empurrar as partículas do solo umas contra as ou gerando um arranjo compacto. Quanto maior a pulverização do solo por ocasião do preparo, maior será o potencial da compactação posterior.

Segundo Jorge (1983), até 1940, um trator pesava, em média, menos que três toneladas, enquanto as máquinas trafegam atualmente pelos solos cultivados podem pesar mais que quinze, como acontece com colhedoras e caminhões carregados. Na cultura de citros, a mecanização é muito intensa, havendo pomares que acumulam, ao longo de sua existência, trezentas passadas de máquinas por entrelinha (Stolf, 1987). Quando o solo encontra-se úmido, há uma tendência de os valores de densidade do solo serem cada vez maiores com o aumento do número de passadas. Além disso, o efeito se manifesta em camadas mais profundas do solo, à medida que o número aumenta.

Em culturas perenes ou semiperenes, como a cana-de-açúcar, um preparo inadequado do solo pode ocasionar decréscimos na produção que serão extensivos a todo o ciclo de cultura, já que, via de regra, a produção das soqueiras é intimamente ligada à produção de corte anterior. O decréscimo na produção de cana-de-açúcar num campo de demo tração foi obtido por Fernandes et al. (1983). Após o primeiro corte, um latossolo vermelho-escuro argiloso com  $0,32 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  (32%) de água foi compactado em diferentes níveis uma, duas e três passadas de um caminhão com apenas eixo traseiro e 16.000 kg de massa.



Influência das condições físicas do solo sobre a produção agrícola e a população de colmos de cana-de-açúcar (adaptada de Fernandes et al. 1983)

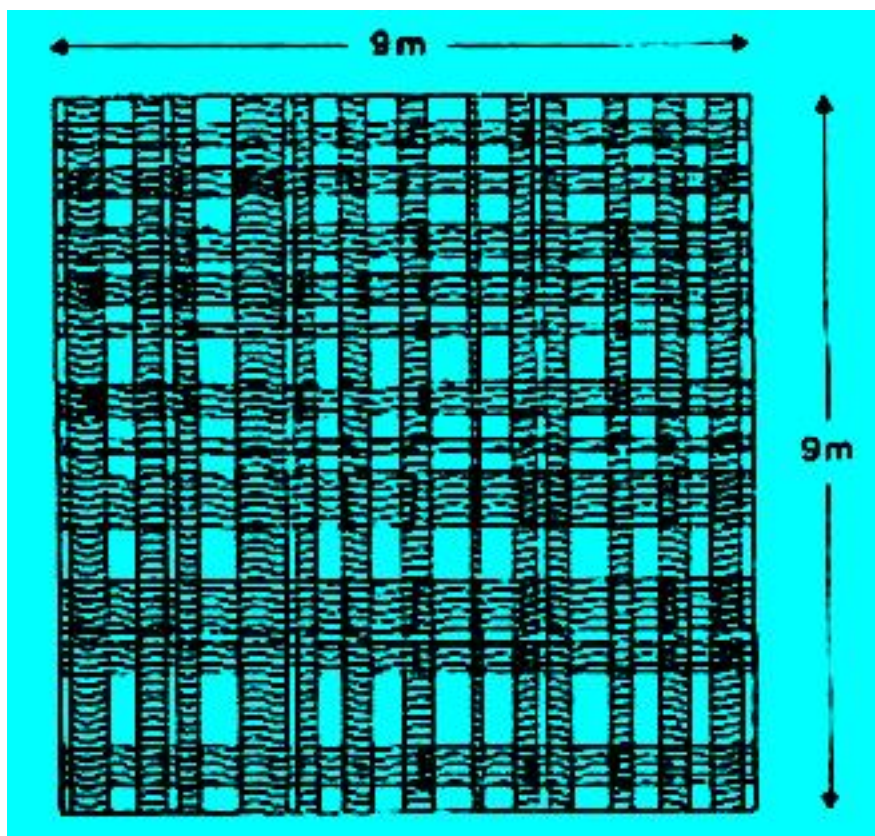
Nota-se que embora a população de colmos tenha aumentado, talvez devido

ao maior contato da terra úmida com o tolete, houve queda de aproximadamente 10 t.ha<sup>-1</sup> entre o nível máximo compactação e a testemunha sem compactação.

Quando as condições de umidade são ótimas e a pressão de contato é elevada, uma única passada de determinado veículo pode ser suficiente para dificultar, ou até impedir, o crescimento das raízes (Trowse Jr., 1978). Considera-se que a maior parte dos danos causados pela compactação ocorre nas primeiras passadas das máquinas e implementos. À medida que o número de passadas no mesmo local aumenta, há aumento cada vez menos acentuado na compactação, seguindo uma escala logarítmica (Jakobsen & Greacen, 1985).

Num experimento realizado por Coleti & Demattê (1982) empregou-se chuva simulada. Foi constatado pelos autores que aproximadamente 50 a 60% da compactação se manifestou com as primeiras passadas, mesmo quando o número chegou a cinco ou dez.

Em condições de campo, as marcas dos rodados de tratores e veículos ficam encobertas por operações subseqüentes. Com isso, é necessário levar em conta que a área de um terreno que recebe a carga de máquinas e implementos é bem maior do que se suspeita ao observar a superfície do terreno. Na figura abaixo, há um exemplo em que 91% da área cultivada foi coberta pelas operações de distribuição de adubo, duas gradagens e semeadura. Uma maneira de observar esse efeito é por fotos aéreas, tiradas após cada operação procedendo-se à sobreposição dessas fotos. Tem-se observado que a quase totalidade da área tem, pelo menos, uma passagem de trator com os implementos.



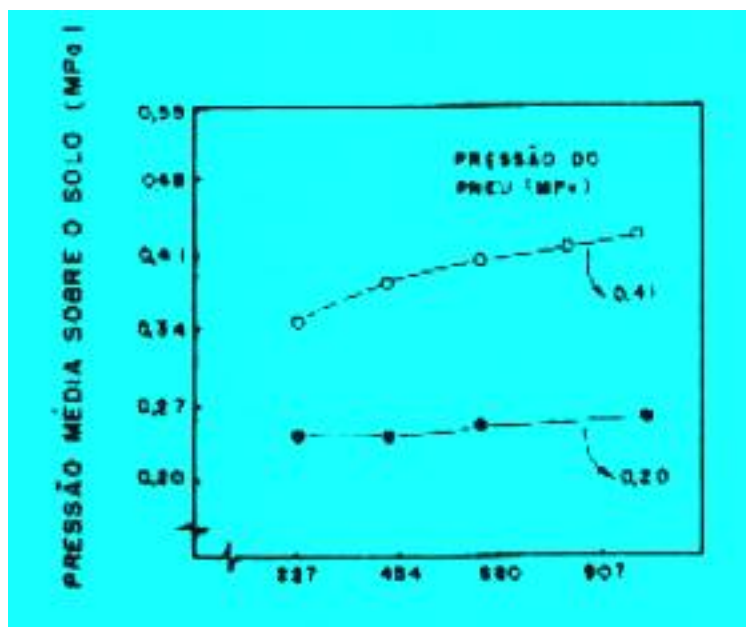
Exemplo do padrão de marcas deixadas pelos rodados de veículos num sistema de preparo convencional de solo para plantio de cevada (distribuição de fertilizantes + duas gradagens + semeadura), cobrindo 91% da área (Soane, 1975).

## Pressão de rodas e esteiras

As características das rodas e esteiras e as da superfície solo determinam a pressão que será ali exercida. A distribuição da pressão na massa do solo é determinada muito mais pela configuração das pressões na superfície do que pelas suas características físicas. Pode-se considerar, basicamente, as pressões causadas por pneus e as causadas por esteiras.

**a) Pneus:** quando se considera a compactação sob pneus, é importante destacar que o solo agrícola dificilmente resiste às cargas aplicadas, sem se deformar permanentemente .

A pressão média que o pneu exerce sobre a superfície é aproximadamente igual à pressão interna dos pneus, como pode ser observado na próxima figura. Nota-se que, tanto na pressão do pneu de 0,20 como no de 0,41 MPa, a pressão média no apresentou pequena variação, mesmo com o aumento de quatro vezes na carga vertical sobre o pneu (de 227 para 907 kg).



Relação entre a pressão nos pneus e a pressão sobre a superfície do solo num caminho firme (adaptada de Sohme, 1952).

Quando uma carga vertical aplicada sobre um pneu aumenta e sua pressão interna permanece constante, ele se achata de tal maneira que o produto da pressão média pela área de contato fica igual à carga vertical. Por outro lado, se a carga é a mesma, mas a pressão interna do pneu diminuí, ele se achata o suficiente para aumentar a área de contato.

É importante destacar que à medida que a agricultura foi evoluindo, as máquinas foram ficando cada vez maiores e mais pesadas, e houve diversas tentativas para se aumentar a largura dos pneus, a fim de manter constante a pressão sobre a superfície do solo. Entretanto, quando se trata de grandes máquinas, a carga aplicada por eixo parece sobrepujar a influência da pressão do pneu na compactação, principalmente na camada superficial, de 20 a 50 cm (Taylor & Burt, 1987). Hakansson & Danfort (1981) consideram que cargas superiores a 6 toneladas por eixo podem causar séria compactação abaixo de 40 cm.

Diversos experimentos foram realizados com o objetivo de quantificar o efeito da compactação causada por pneus em diversos atributos do solo.

Trouse (1966) observou que veículos com pressão de contato de até 0,03 MPa tiveram pouca influência na taxa de infiltração de água de um solo tropical, reduzindo-a de 50 para 48 mm.h<sup>-1</sup> após uma única passada. Uma carregadora com pressão de contato três vezes maior (0,092 MPa) reduziu a taxa para 3 mm.h<sup>-1</sup>, um caminhão com 0,7 MPa de pressão a reduziu para 2 mm.h<sup>-1</sup>.

Os efeitos da compactação, no momento da semeadura, pelas rodas de um trator de 63,4 kW (85 HP) (com massa de 4.400 kg e pneus traseiros de 43 cm de largura), num latossolo roxo muito argiloso foram estudados por Sidras & Viera (1984). No sistema convencional de preparo (uma aração + duas gradagens), foram encontradas as maiores variações nos atributos avaliados. Observaram-se, na região compactada, aumentos na densidade do solo, na retenção de água, na porcentagem de poros menores que 10 µm (considerados microporos pelos autores) e na produção de diversas culturas, mostrando que o efeito da compactação não é sempre adverso com respeito à produção. Os autores também quantificaram diminuição na porosidade total, na porcentagem de poros maiores que 10 µm e na taxa de infiltração do solo.

Influência da compactação do solo pelas rodas do trator, na semeadura, em alguns atributos físicos de um latossolo roxo distrófico muito argiloso e na produção de algumas culturas (adaptada de Sidras & Vieira, 1984)

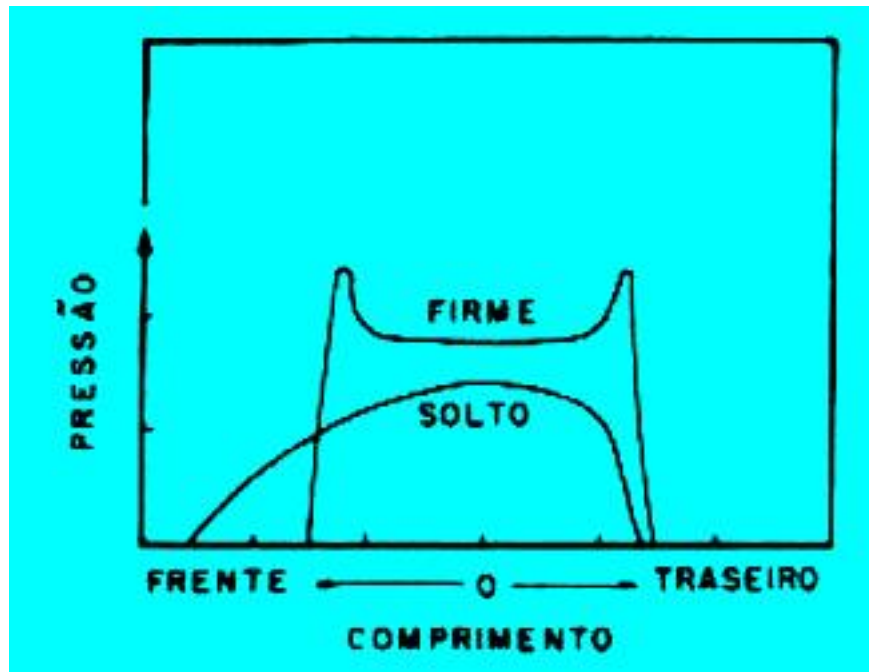
Atributo	Sem compactação		Com compactação	
	Profundidade (cm)			
	0-6	12-20	0-6	12-20

Densidade do solo (kg. dm <sup>-3</sup> )	0,85	0,99	1,20**	1,16**
Porosidade total (%)	68,70**	63,50**	55,90	57,20
Conteúdo de água - 0,03 MPa (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	25,60	29,90	37,60**	36,90**
Conteúdo de água - 0,01 MPa (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	23,60	28,20	35,90**	33,90**
Grãos de trigo - 1982 (g.m <sup>-2</sup> )	195		215*	
Grãos de trigo - 1983 (g.m <sup>-2</sup> )	473		727**	
Grãos de soja - 1982/83 (g.m <sup>-2</sup> )	272		359**	
Nabo forrageiro - 1983 (g.m <sup>-2</sup> )	891		1094*	
(massa seca)				

\* Diferenças significativas a 5% de probabilidade, entre sem e com compactação respectivamente;

\*\* Diferenças significativas a 1% de probabilidade, entre com e sem compactação.

Outros fatores influem no efeito de pressão de pneus na compactação dos solos, de tal maneira que existem certos desvios, um deles produzido pelas paredes rígidas do pneu, cujas forças tendem a se concentrar nas arestas da área de contato, aumentando sobremaneira a pressão nessas regiões. Outro desvio ocorre quando o pneu desliza sobre um muito solto: a região que fica na frente da área de contato não tem rigidez suficiente para se opor à pressão do pneu, tomando valores abaixo desta e se estendendo por uma distância maior que aquela alcançada em solo mais firme.



Distribuição da pressão longitudinal ao movimento da máquina em solo com dois graus diferentes de estabilidade.

**b) Esteiras:** Para trator de esteira, costuma-se calcular a pressão na superfície do solo, dividindo-se o peso da carga (ou peso total da máquina) pelo produto da largura da esteira pela distância entre os eixos. Existe, na prática, uma diferença na pressão vertical ao longo da esteira, tornando-a desuniforme, registrando-se pressões maiores um pouco atrás do centro da distância entre os eixos, as quais podem atingir valores duas a três vezes superiores à pressão média.



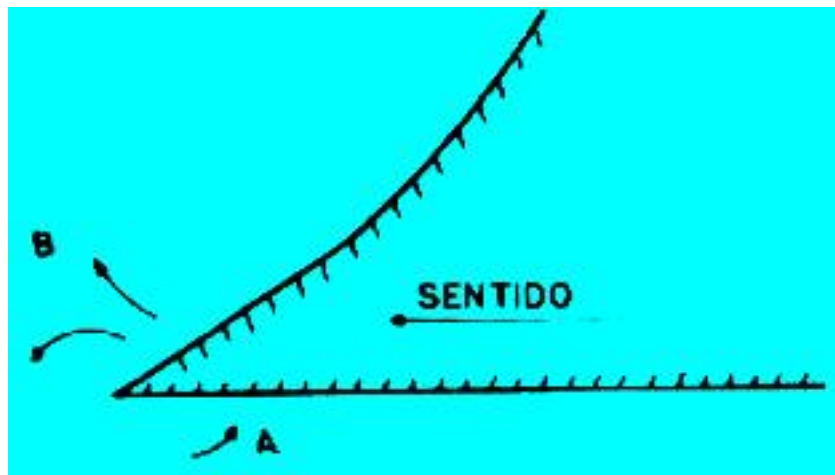
Pressão Vertical sob uma esteira.

Comparando-se pneu com esteira de mesma largura e mesma carga, pode-se afirmar que, a dada profundidade no solo, a tensão causada pelo pneu é sempre maior que a causada pela esteira. Reaves & Cooper (1960) mostram que a 25 cm de profundidade no eixo vertical da carga, a pressão causada no solo por um trator de pneu com 0,8 MPa de pressão é de 0,096 MPa, enquanto para uma esteira de 30,5 cm de largura, essa pressão é de aproximadamente 0,035 MPa, ou seja, quase três vezes menor.

Novos tratores agrícolas com esteira de borracha têm sido apresentados ao mercado consumidor nos últimos anos. Este sistema combina a mobilidade e velocidade dos pneus de borracha com a eficiência e o bom desempenho das esteiras. Estes tratores podem apresentar até cinco eixos de cada lado, diminuindo assim a carga por eixo e, conseqüentemente, causando menor compactação.

## Pressão de equipamentos

Equipamentos que trabalham sob a superfície do solo frequentemente geram elevadas pressões. No caso de uma aiveca – Figura abaixo- em que se tem um gume cego, o solo é forçado para frente e para baixo (B). Não podendo escapar para cima na parte inferior (A) de apoio da ferramenta no solo, essa região é compactada durante o movimento. Essa situação é sensivelmente agravada se forem usadas ferramentas com corte não afiado ou se o coeficiente de fricção ou adesão na interface solo-metal for alto ou, ainda, se a inclinação das ferramentas não estiver apropriadamente ajustada.



Movimentação das partículas do solo submetido a trabalho com uma aiveca.

## Condições com tendência a maximizar a compactação

### A) Operações em momento impróprio

Seja qual for a operação agrícola, se efetuada em situação de solo com conteúdo de água inadequado, haverá deterioração de seus atributos físicos, especialmente, estrutura e agregação.

### B) Montagem incorreta e modelo inadequado dos implementos.

O uso de implementos cujos modelos sejam adequados, ou dos implementos existentes na propriedade agrícola montagem correta, é essencial à manutenção da agregação do solo. É importante manter contato permanente com a equipe de assistência técnica das empresas de máquinas e implementos, assim como é fundamental o treinamento cada vez mais especializado dos tratoristas e operadores de máquinas, a fim de garantir uma boa qualidade no serviço exe-

cutado.

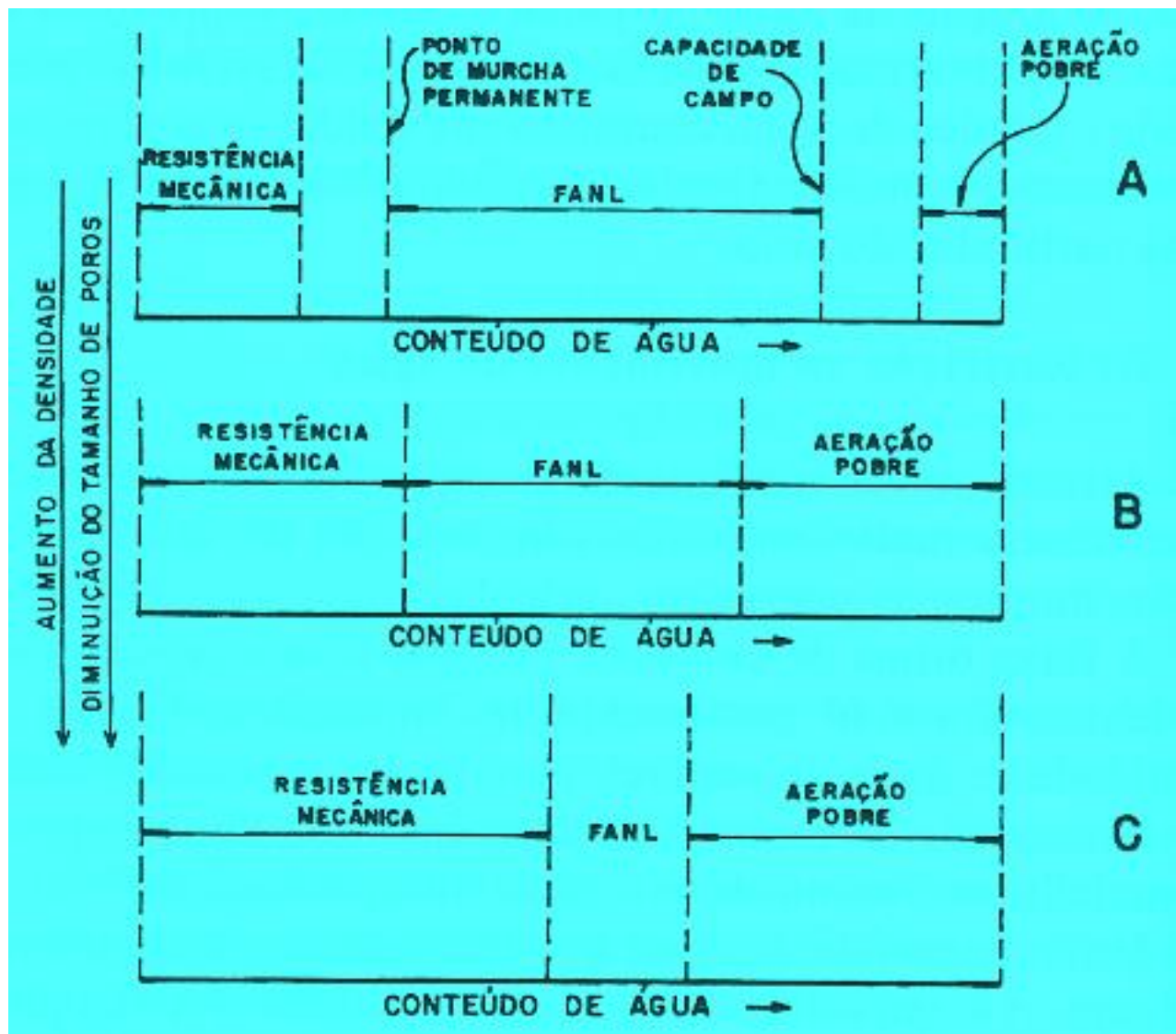
### **C) Cultivos excessivos**

A quantidade exagerada de operações aumenta muito a tendência à compactação. Em conseqüência do tráfego de máquinas e da movimentação do solo por implementos sobre o mesmo local, produz-se um número muito grande de pequenos agregados que, em certas condições, são menos estáveis que os grandes, facilitando sua deterioração e formação de crosta na superfície do terreno. Conseqüentemente, diminui a infiltração de água no perfil e acelera o processo de erosão. A pulverização devida a cultivos excessivos expõe a matéria orgânica do solo, causando sua oxidação acelerada e diminuindo o teor desse material que ajuda a manter agregadas as partículas do solo.

### **D) Restrição ao movimento de água**

A restrição ao movimento de água é provavelmente a conseqüência mais danosa da compactação de solos muito úmidos durante as operações agrícolas.

A faixa ótima de conteúdo de água para o crescimento de plantas tem sido geralmente determinada com base na quantidade de água disponível, cujo limite superior é usualmente associado à "capacidade de campo" e o limite inferior é associado ao "ponto de murchamento permanente" ou ao mais baixo conteúdo de água que não reduza o crescimento da planta. A faixa ótima de água não limitante (FANL) pode ser afetada pela aeração e/ou pela resistência mecânica, particularmente em solos com alta densidade e vazios exclusivamente pequenos (Letey, 1985). O baixo conteúdo de oxigênio no ar destes solos pode limitar o crescimento das raízes já na "capacidade de campo", sendo, então, exigido menor conteúdo de água do que o limite para aeração adequada. Por outro lado, uma alta resistência mecânica, provocada pela compactação, que restrinja o crescimento das raízes pode ocorrer num solo cujo conteúdo de água seja maior que o limite usado para determinação da água disponível. Em outras palavras, a FANL pode ser reduzida em alguns solos pela pobre aeração e/ou pela alta resistência mecânica imposta a raiz. Na figura a seguir, na qual há aumento de densidade e diminuição de macroporos do caso A para o C, podem ser observados três esquemas ilustrando o comportamento da FANL.



Relações entre o comportamento de água e os fatores que restringem o crescimento das plantas, com aumento da densidade e decréscimo no tamanho dos poros, indo de A para C (Letey, 1985).

À medida que a densidade do solo aumenta, a FANL torna-se mais estreita (esquema A). Já no esquema B, o intervalo de água não limitante passa a ser mais estreito, devido ao aumento da resistência mecânica e à diminuição na aeração. Finalmente, no esquema C, observa-se a redução drástica na FANL, provocada pela maior resistência mecânica e pela aeração ainda mais deficiente.

Nos latossolos, a FANL para o crescimento das raízes é muito estreita, pois o intervalo entre a "capacidade de campo" e o "ponto de murchamento permanente" é pequeno (Freitas, 1992), e o impedimento mecânico ocorre a tensões relativamente baixas. Esses solos requerem um manejo muito cuidadoso para que condições favoráveis ao pleno desenvolvimento das plantas sejam mantidas (Letey, 1991).

## LITERATURA CITADA

COLETI, J.T. & DEMATTE, J.L.I. Compactação artificial em solos. Experiências e dados informativos. Álcool e Açúcar, São Paulo, 2:34-38, 1982.

FERNANDES, J.; RIPOU, T.C. & MILAN, M. A compactação do solo e a brotação das sequeiras. Álcool & Açúcar, São Paulo, 3(12):12-17, 1983.

FREITAS, P.L. de. Manejo físico do solo. In: COSTA, C.V. & BORGES, L.C.V., coord. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Goiânia, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p. 117-139.

HAKANSSON, I. & DANFORS, B. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ISTVS, 7, Calgary, 1981. Proceedings, 1981, vol. I p.239-253.

JAKOBSEN, B.F. & GREACEN, E.L. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. Soil Till. Res., Amsterdam, 5:55-70, 1985.

JORGE, J.A. Compactação do solo: causas, conseqüências e maneiras de evitar sua ocorrência. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 22p. (Circular, 117)

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. Adv. Soil Sci., New York, 1:277-294, 1985.

LETEY, J. The study of soil structure: science and art. Austr. J. Soil Res., Melbourne, 29(6):699-707, 1991.

REAVES, C. A. & COOPER, A. W. Stress distribution in soil under tractor roads. J. Agric. Eng. Soc., Bunkyo, 41:20-31, 1960.

SIDIRAS, N. & VIEIRA, MJ. Comportamento de um latossolo roxo distrófico compactado pelas rodas de um trator na semeadura - rendimento de três culturas. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19:1285-1293, 1984.

SOANE, B.D. Studies on some soil physical properties in relation to cultivations and traffic. In: SOIL PHYSICAL CONDITIONS AND CROP GROWTH. London, 1975. p. 160-183 (Min. Agric. Fish. Food Tech. Bull., 29)

SOHME, W. Die Verformbarkeit des Ackerbodens. Grundlagen d. Landtechnik, Dusseldorf, 3:51-59, 1952.

STOLF, R. A compactação do solo e perspectivas de subsolagem em citrus. Laranja, Cordeirópolis, 8:283-308, 1987.

TALOR, H.T. & BURT, E.C. Total axle load effects on soil compaction. J. Terramech, Hannover, 24: 179-186, 1987.

TROUSE JR., A.C. Alteration of the infiltration permeability capacity of soils by vehicular traffic. In: PANAMERICAN SOIL CONSERVATION CONGRESS, L, São Paulo, 1966. Anais, São Paulo, ISSS, 1966. p. 1103-1109.

TROUSE JR., A.C. Root tolerance to soil impediments. In: Crop tolerance to subtropical land

conditions. Madison, ASA/ CSSA/SSSA, 1978. p. 193-232.



**Otávio Antonio de Camargo**, formado em engenharia agrônoma (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 Flórida (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. **Causas da Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em: 29/5/2006

---

Publicado no InfoBibos em 09/05/2006



---

[Veja Também...](#)

