

09903  
1983  
FL-PP-09903

LEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA  
CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO ÚMIDO - CPATU



EFEITOS DO USO DO SOLO NAS PROPRIEDADES  
FÍSICAS E NA PRODUTIVIDADE

Antonio Ronaldo Camacho Baena  
Pesquisador do CPATU

Elaborada para o Curso sobre Conser  
vação e Manejo de Solos da Amazônia  
12 - 23/09/83

Belém - Pará

## EFEITOS DO USO DO SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E NA PRODUTIVIDADE

À medida que o solo é usado com cultivos, suas características físicas são alteradas em graus variáveis com a natureza do próprio solo.

Assim, o conhecimento das características físicas do solo de uma determinada área de cultivo é necessário para o planejamento, estabelecimento e sistematização de dispositivos de controle das alterações que ocorrem, visando estruturas básicas de conservação do solo e da água.

O cultivo intensivo do solo provoca alteração das propriedades físicas do mesmo, com a conseqüente redução da porosidade total e macroporosidade, bem como o aumento da microporosidade. O efeito geral do cultivo é alterar a estrutura do solo, pois a maioria dos preparos, particularmente as capinas superficiais ou gradagens, provoca a pulverização do solo.

O grau de absorção de água pelo solo está intimamente relacionado com a intensidade da chuva, capacidade de infiltração e outras características, tais como: estrutura, textura, porosidade, conteúdo de matéria orgânica, etc.

Através da chuva, a água chega à superfície do solo. Parte desta água escorre sob a forma de deflúvio superficial, outra parte evapora e uma outra é transmitida em profundidade ficando armazenada de acordo com a capacidade de retenção de água pelo solo.

É óbvio, portanto, que a capacidade de infiltração do solo é de grande importância para determinar a quantidade de escoamento.

Na maioria dos casos, a velocidade de infiltração é muito mais importante do que a quantidade de chuva. Quando a capacidade de infiltração do solo é superior à precipitação não há escoamento superficial.

Machado e Brum (1978) estudaram o efeito de diferentes sistemas de cultivo na capacidade de infiltração de água em solo Latossolo Roxo Distrófico Textura argilosa, relevo ondulado, no Rio Grande do Sul.

Pelos resultados ilustrados pela Figura 1, verificou-se que a velocidade de infiltração máxima foi obtida no solo sob vegetação de mata, tratamento  $T_1$ , e a mínima, no solo cultivado pelo sistema convencional, tratamento  $T_4$ .

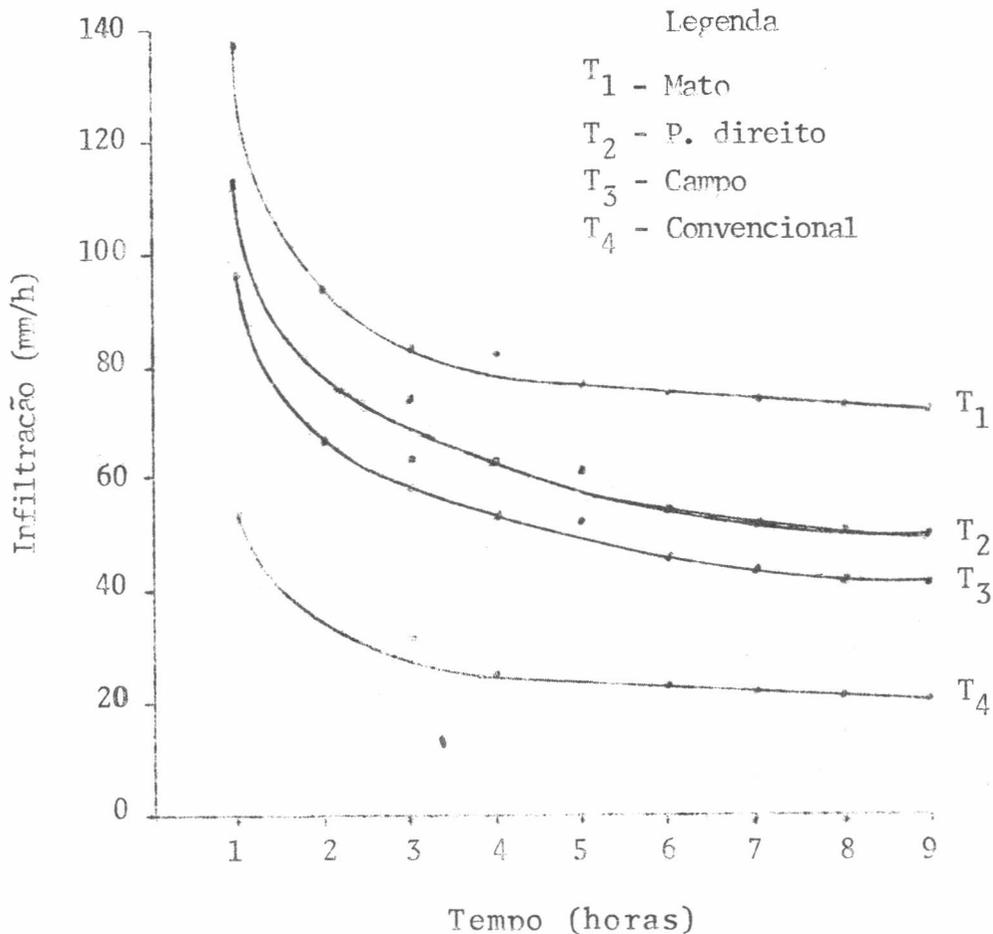


FIG. 1. Curvas de velocidade de infiltração para o solo da unidade Santo Ângelo submetido aos quatro tratamentos.

No período da primeira hora de determinação da capacidade de infiltração Quadro 1, observa-se uma diferença nos valores obtidos para os tratamentos  $T_1$  e  $T_4$ , de, aproximadamente, três vezes mais para o tratamento  $T_1$ . Da mesma forma, no período da última hora, observa-se um incremento de mais de três vezes em favor do tratamento  $T_1$ .

Quadro 1. Resultados da determinação da capacidade de infiltração do solo da unidade Santo Ângelo em condições de mato, campo virgem, plantio direto e convencional. Médias de seis repetições.

Tempo (hora)	T r a t a m e n t o s			
	( $T_1$ ) Mato mm	( $T_2$ ) Campo mm	( $T_3$ ) Plantio Direto mm	( $T_4$ ) Convencional mm
1 <sup>a</sup>	136,8	96,1	113,1	48,0
2 <sup>a</sup>	92,9	66,3	78,9	33,0
3 <sup>a</sup>	82,6	63,0	74,5	31,5
4 <sup>a</sup>	82,0	52,7	62,7	25,5
5 <sup>a</sup>	77,0	51,8	61,0	24,0
6 <sup>a</sup>	75,0	46,7	54,8	23,0
7 <sup>a</sup>	73,0	44,2	51,5	22,0
8 <sup>a</sup>	73,0	42,5	50,4	21,0
9 <sup>a</sup>	72,3	41,6	49,5	20,5
Médias	84,9	56,1	66,3	27,6

FONTE: MACHADO & BPON (1978)

Comparando-se o tratamento  $T_2$  com o  $T_3$ , verifica-se que houve uma pequena margem em favor do plantio direto, na primeira hora de infiltração.

As diferenças dos valores médios das taxas de velocidade de infiltração, durante a primeira hora de determinação, dos tratamentos  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  em relação ao tratamento  $T_4$ , são, respectivamente, de 2.8, 2.0 e 2.3 vezes maiores. Enquanto que, para os v

lores médios, durante as nove horas de determinação da capacidade de infiltração, as diferenças encontradas, na mesma ordem dos tratamentos, são de 3.0, 2.0 e 2.4 vezes maiores, respectivamente.

O comportamento do solo frente aos tratamentos e em relação à velocidade de infiltração, provavelmente, foi influenciado por diversos fatores concernentes às alterações das propriedades físicas do solo submetido ao uso e manejo intensivos pelo sistema convencional durante vários anos de cultivo.

Pelos resultados obtidos na caracterização das propriedades físicas do solo, Quadro 2, submetido aos respectivos tratamentos, parece ser lógico admitir-se que as variações na velocidade de infiltração encontradas, estão direta e inversamente relacionadas com os seguintes parâmetros: macroporosidade, conteúdo de matéria orgânica e compactação do solo.

A velocidade de infiltração é influenciada pela macroporosidade e os teores de matéria orgânica do solo; a velocidade de infiltração diminui com o aumento da compactação do solo. Outro fator que pode interferir na velocidade de infiltração é a umidade atual do solo. Entretanto, verificando-se os valores do teor de umidade natural do solo, Quadro 2, obtidos antes da determinação da capacidade de infiltração, observa-se que, praticamente, os valores são iguais para todos os tratamentos. Provavelmente, os teores de umidade do solo não influíram nos valores da capacidade de infiltração, no presente trabalho. O tipo de preparo do solo influencia certas condições físicas do mesmo, tais como, capacidade de infiltração da água e compactação, assim como, essas modificações ocorrem no solo após diversos anos de cultivo.

As conclusões são de que o solo com plantio direto apresentou maiores taxas de infiltração do que o solo com campo e com cultivo convencional, evidenciando a sua maior capacidade de controlar o escoamento superficial. Enquanto que a maior capacidade de infiltração verificou-se no solo com mato.

As diferenças das taxas de capacidade de infiltração

Quadro 2. Resultados da determinação da matéria orgânica, densidade do solo, umidade natural, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo da unidade Santo Ângelo, submetido aos tratamentos estudados. Média de três repetições\*

Tratamentos	Simb.	Prof.	Mat. org. %	Densidade de solo g/cm <sup>3</sup>	Umidade natural % volume	Porosidade %		
						Total	Micro.	Macro.
Solo com mato	T <sub>1</sub>	0-15	4,4 <sup>a</sup>	1,20 <sup>b</sup>	33,3	57,0 <sup>a</sup>	36,3	20,4 <sup>a</sup>
		15-30	2,8 <sup>a</sup>	1,25	35,0	55,7	32,4	23,3
Solo com campo	T <sub>2</sub>	0-15	3,4 <sup>a</sup>	1,24 <sup>b</sup>	33,0	55,6 <sup>a</sup>	41,2	14,4 <sup>b</sup>
		15-30	3,0 <sup>a</sup>	1,22	37,2	55,0	39,3	15,7
Solo com plantio direto	T <sub>3</sub>	0-15	3,4 <sup>a</sup>	1,21 <sup>b</sup>	37,3	54,7 <sup>a</sup>	40,4	14,3 <sup>b</sup>
		15-30	2,3 <sup>a</sup>	1,20	38,7	54,4	39,8	14,6
Sistema convencional	T <sub>4</sub>	0-15	1,5 <sup>b</sup>	1,35 <sup>a</sup>	37,4	49,4 <sup>b</sup>	42,5	6,9 <sup>c</sup>
		15-30	0,7 <sup>b</sup>	1,27	39,5	53,0	44,6	8,4

Nas colunas, médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\* MACHADO, J.A. e BRUM, A.C.R. Efeito de Sistemas de Cultivo em algumas propriedades físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, v.2, nº 2, 1978.

indicam um alto grau de compactação do solo submetido ao sistema convencional de cultivo, evidenciando a necessidade de implantação de técnicas mais racionais de cultivo do solo.

A intensiva exploração agrícola, associada com o alto nível de cultivações tem causado consideráveis preocupações acerca da possível redução da estrutura do solo e matéria orgânica. Um trabalho realizado num solo do Planalto do Rio Grande do Sul, mostrou que estes sistemas intensivos, seguindo a destruição da vegetação natural, causaram a redução do número de agregados estáveis em água (Quadro 3) que por seu turno diminui a taxa de infiltração. Foi sugerido que isto aumentaria o potencial de erosão deste solos.

Quadro 3. Influência da vegetação natural e culturas em várias propriedades do solo

	Matéria orgânica	Densidade do solo g/cm <sup>3</sup>	Peso de agregado 0,5 mm diâmetro como % do peso total solo	Média de infiltração em 9 horas-mm/horas
Solo de floresta contínua	5,8	1,07	92,1	148,3
Solo de pastagem contínua	3,2	1,33	90,8	119,3
Solo após 4 anos de cultivo	3,2	1,32	66,0	90,8
Solo após 8 anos de cultivo	3,1	1,40	58,2	17,4
Solo após 14 anos de cultivo	2,7	1,55	63,6	6,6

FONTE : MACHADO, 1976

A precipitação anual no Sul do Brasil é elevada, atingindo a 2.000 mm em alguns anos, mas o número médio de dias de chu

va por mês é baixo. Isto indica uma alta incidência de pesadas chuvas e é comum o registro de 30 mm por hora. Com base nisto, se tomarmos os dados de infiltração do Quadro 1, será claro que alguns solos não são capazes de absorver tais quantidades de chuvas, e o escoamento ocorrerá.

Uma considerável parte da área agrícola do Sul do Brasil é de topografia ondulada, com declives de mais de 20% e com comprimento de mais de uma centena de metros.

Este aspecto, juntamente com as precipitações elevadas e intensas causam sérios problemas de erosão nesta região. O cultivo em contorno e terraços ajudam a reduzir esses prejuízos, mas a erosão entre os terraços é um problema onde são realizadas movimentações de solo.

O Sistema de Plantio Direto ou "No tillage" é um método de cultivo no qual as sementes são semeadas no solo que não foi lavrado ou cultivado. O controle de ervas é realizado por herbicidas e a semeadura é feita por uma máquina capaz de semear no solo não preparado. O sistema foi primeiramente desenvolvido durante o início da década de 60, com a introdução de herbicidas de contato, não residuais como Paraquat e Diquat e desde então o sistema desenvolveu-se em várias partes do mundo. O Plantio Direto oferece ao fazendeiro, uma série de vantagens, sendo que o controle a erosão é uma das principais.

A técnica de Plantio Direto reduz consideravelmente o problema da movimentação do solo, devido ser a manutenção dos restos de culturas uma importante parte do sistema protegendo a superfície do solo contra impacto direto da gota de chuva. Em adição, a palha da cultura anterior juntamente com as raízes mortas, retém o solo, evitando que ocorra o escoamento de água, juntamente com as partículas do solo.

Muitos trabalhos têm recentemente sido feitos para mostrar que o Plantio Direto reduz a quantidade de escoamento e erosão do solo, em comparação com os sistemas convencionais de cultivo

vo, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4. Escorrimento e perda de solo por erosão em dois métodos de manejo, ocorrido durante o cultivo de trigo em 1977

Meses	Conv. sem palha		Plantio direto	
	Escor. mm	Solo erodido kg/ha	Escor. mm	Solo erodido kg/ha
Junho/Julho	153,0	12.113	56,7	510
Agosto/Setembro	87	1.415	32,4	190
Outubro/Novembro	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>241,0</b>	<b>13.573</b>	<b>89,1</b>	<b>700</b>

FONTE: Wünsche - CNPTrigo-EMBRAPA (1978)

Pode ser visto por estas figuras que a maior quantidade de perda de solos e escorrimento, ocorre, nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura e uma vez que a cultura esteja desenvolvida, a erosão é reduzida drasticamente. O valor dos restos de culturas na prevenção das perdas de solo, durante os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura, como mostrados em Plantio Direto, são óbvios.

Ensaio realizados em trigo e soja, comparando Plantio Direto e métodos convencionais de preparo do solo, tem mostrado produções equivalentes ou melhores em áreas com Plantio Direto. O Quadro 5, por exemplo, mostrara que após a primeira cultura, houve um significativo aumento de produção nas parcelas com Plantio Direto, em comparação com as parcelas convencionais em anos posteriores.

Quadro 5. Comparações entre produções em Plantio Direto e o Sistema Convencional de plantio

	Rendimento kg/ha			
	Soja 75/76	Trigo 76	Soja 76/77	Trigo 77
Convencional	2.393	2.202	2.276	865
Plantio direto	2.423	2.518	2.553	1.106

FONTE: PEREIRA & BOUGLÉ (1976)

Ocorre também uma notável mudança nas propriedades, físicas e químicas do solo. O Quadro 6 ilustra as mudanças nas propriedades químicas do solo, pelos resultados do solo, de uma área em Santo Ângelo, RS, após sete culturas consecutivas nos dois sistemas.

Quadro 6. Resultados de análises de solos, após sete culturas consecutivas em plantio direto e convencional em solo série Santo Ângelo

	Profundidade de amostragem cm	pH	Fósforo disponível ppm	Potássio disponível ppm	% Matéria orgânica
Plantio direto	0 - 5	4,8	40,5	200	6,7
Convencional	0 - 5	5,0	20,0	200	4,7
Plantio direto	5 - 15	4,9	10,5	55	4,5
Convencional	5 - 15	5,0	11,5	70	4,1

FONTE: BARKER & ROMAN (1978)

O Quadro mostra as grandes diferenças entre Plantio Direto e Plantio Convencional em níveis de Fósforo Disponível e Matéria Orgânica na superfície.

Na imensa região Amazônica o uso do solo e seus efeitos sobre a produtividade é assunto de pesquisa praticamente por ser iniciado. Atualmente os grandes projetos agrícolas, que envolvem grandes extensões, vêm-se como que praticamente obrigados ao uso de maquinário para os seus preparo de áreas, visto que pelo seu próprio tamanho e carência de mão-de-obra, no sistema tradicional os serviços dificilmente chegam ao seu término. Para o médio e pequeno produtor, o alto custo do preparo mecanizado é fator restringente para tal operação. De acordo com orçamento da COPAGRO de julho de 1981, o custo do preparo mecanizado em área de mata do Projeto Seringueira, no município de Mojú-PA era de cerca de Cr\$-150.000,00 por hectare (desmatamento, destocamento e enleiramento). No sistema tradicional de broca, derrubada, queima e coivara esta

va sendo feito na mesma região, à base de Cr\$-20.000,00 por hectare. O preparo de área para cultivo, por qualquer processo manual ou mecânico, causa modificações na estrutura do solo que refletem na sua produtividade.

No ano de 1979 em áreas de Terra da CODEAGRO, no distrito agropecuário da SUFRAMA-AM, localizada entre os kms 50 e 55 da Rodovia Manaus-Caracarái, sob mancha de solo do tipo Latossol Amarelo textura muito argilosa, relevo plano, foi iniciado um projeto de pesquisa, cujo objetivo era o de testar diferentes processos mecanizados de preparo de área, em comparação com o tradicional, a partir do desmatamento, tendo a seringueira como planta indicadora para se observar o comportamento do solo no decorrer do tempo. O Quadro 7 mostra os valores obtidos de densidade, porosidade e resistência entre os diversos tratamentos e a mata virgem.

A importância destes 3 fatores sobre a produtividade dos solos se fazem sentir principalmente no que diz respeito ao armazenamento de ar e água, e ao impedimento do sistema radicular das plantas.

Nesta mesma área, a velocidade de infiltração de água no solo sofreu modificações, conforme mostra o Quadro 8.

A infiltração em todos os processos de desmatamento sofreu uma redução considerável com o efeito da derruba. Considerando-se os aspectos de armazenamento de água e lixiviação, esta redução poderá ser benéfica, uma vez que a infiltração que era muito rápida em todas as áreas (> 25 cm/h) passou a ser média (1,7 a 6,7 cm/h). Sob o aspecto de runoff e erosão, poderá ser prejudicial, uma vez que durante as chuvas de alto potencial erosivo, a água não encontrando um escoamento rápido dentro do solo, começará a escorrer superficialmente.

É crença geral de que a estrutura do solo deteriora sob cultivo nos Trópicos. Algumas evidências indicam que o grau de mudanças na estrutura variam com as propriedades do solo e práticas de manejo.

Quadro 7. Efeito do preparo manual e mecanizado<sub>2</sub> sobre a densidade aparente (g/cc), porosidade total (%) e resistência (mm/cm<sup>2</sup>) em solo LA ma - CODEAGRO - AM.

Prof. cm	Mata Virgem			Processo Tradicional			Mecanizado 1			Mecanizado 2		
	Dens	Poros	Resist	Dens	Poros	Resist	Dens.	Poros.	Resist.	Dens.	Poros.	Resist.
0- 10	0,88	63	15,7	0,84	67	20,7	1,15	52	22,1	1,15	55	24,7
10- 20	1,08	57	22,3	0,94	64	21,3	1,04	59	26,3	1,18	53	25,3
20- 30	1,12	56	22,3	0,99	62	24,5	1,11	56	24,7	1,03	60	24,0
50- 60	1,07	59	22,3	1,08	59	25,6	1,04	58	20,7	1,15	54	24,3
80-100	1,06	60	23,3	1,08	59	25,3	1,06	59	24,4	1,19	53	26,0

M<sub>1</sub> = derruba com D6 e "Tree Pusher" + enleiramento com D8

M<sub>2</sub> = broca com D6 e lamina KG + derruba com D8 e "Tree Pusher"

Quadro 8. Velocidade de Infiltração (cm/h) em Solo Lama antes e depois da derruba

Época	Processo Tradicional	Derruba Manual Enleiramento Mecânico	Derruba e Enleiramento Mecânico
Antes da derruba	28 ± 7	35 ± 7	29,5 ± 5
Depois da derruba	4,5 ± 0,8	1,8 ± 1	3,5 ± 5

Experimento realizado no CPATU em solo do tipo AQA, usado intensivamente com experimentos anteriores, e portanto fortemente desgastado, mostra que a produção de feijão V-69 foi maior nas quadras preparadas mecanicamente (aração e gradagem) do que nas quadras preparadas manualmente (capina) (Quadro 9).

Quadro 9. Produção de Feijão V-69 (kg) em áreas (10 x 10 m) de preparo mecanizado (aração e gradagem) e manual (capina)

Quadra	1 9 8 0		1 9 8 1	
	MAN	MEC	MAN	MEC
1	6,26	9,80	2,55	6,09
2	7,00	11,05	3,11	6,32
3	6,95	10,35	5,23	8,13
4	5,03	9,18	1,48	8,57
Total	25,24	40,38	12,37	29,11
Média	6,31	10,05	3,09	7,28

Em ambos os anos 1980 e 1981, a produção foi maior nas quadras mecanizadas, ocorrendo um declínio acentuado na produtividade em ambos os Tratamentos no ano de 1981 em relação ao ano de 1980.

Os valores médios de porosidade e densidade entre as áreas mecanizadas e manuais são mostrados no Quadro 10.

Quadro 10. Valores médios de porosidade e densidade entre as áreas mecanizadas e de preparo manual - solo AQVA

Prof cm	1 9 8 0				1 9 8 1			
	Porosidade %		Densidade g/cc		Porosidade %		Densidade g/cc	
	MAN	MEC	MAN	MEC	MAN	MEC	MAN	MEC
0 - 15	37	39	1,67	1,63	36	33	1,68	1,73
15 - 30	38	40,5	1,65	1,60	36	35	1,69	1,69

Conforme podemos observar no Quadro 10, no ano de 1980 os valores de porosidade são mais altos e os de densidade mais baixos nas áreas mecanizadas, o que justifica a produção maior desta em relação a área de preparo manual. Do ano 1980 para 1981 observa-se um decréscimo na porosidade e um aumento na densidade em ambos os tratamentos o que justifica a queda de produção de 1981 em relação a 1980.

No ano de 1981, ao contrário do ano de 1980, observa-se valores mais baixos de porosidade e mais altos de densidade na área mecanizada em relação a área de preparo manual. Acontece que em 1980 a amostragem foi feita logo após o preparo da área para plantio, enquanto que em 1981 a amostragem foi feita após a colheita do feijão, portanto cerca de 2 meses após o preparo de área. Sobre este aspecto, Trowse & Baver (1965) estudando várias operações de cultivo no Havai reportam que a grade de disco, ao mesmo tempo que torna o solo solto, ela tem o efeito compactante, e as mesmas forças que causam a penetração do disco causam compactação. Observações em vários perfis onde a área tinha sido anteriormente gradeada indicam que, "após um determinado período de tempo", 50 a 70% do solo arado fora recompactado pelas gradagens subsequentes. Os experimentos mostram que a gradagem logo após a aração, comprime o solo nos interstícios, tornando-o tão denso quanto o solo antes de ser cultivado. A ação compactante do arado poderá ser prejudicial especialmente quando a profundidade de aração for constante,

formando uma camada compacta impermeável chamada "solo do arado".

Greacen (1958) reporta que um solo com porosidade de 60% nos 30 cms superficiais, produziu em sua primeira colheita de milho  $7 \text{ m}^3/\text{ha}$  depois de arado. No campo ao lado, com uma porosidade de 50,8%, a produção foi de apenas  $1,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Neste experimento, a adubação só obteve resposta depois de terem sido melhoradas as propriedades físicas dos solos.

É sabido que o transito de veículos e o peso de máquinas causam compressão no solo, compressão esta que implica na alteração do volume natural do solo. Esta transformação é de primordial importância na análise do efeito de máquinas e veículos nas propriedades físicas dos solos, tanto pelo ponto de vista do crescimento de plantas como da projeção de novas máquinas que minimizem estes efeitos.

Estudo de Reaves e Nichols (1955) mostram que o efeito da pressão de um pistão normal a superfície do solo distribui-se em vários vetores em forma de um bulbo de lâmpada, que são proporcionais a força da pressão aplicada.

As propriedades dinâmicas dos solos são expressas através de movimentos de solo que resultam de forças aplicadas externamente. Gill & Van den Berg (1967) definem dinâmica do solo como "a relação entre forças aplicadas ao solo e a reação resultante do solo". Os objetivos do preparo de área podem ser alcançados apenas através de aplicação de forças ao solo, através de sistema mecanizado ou mesmo manual. Desta maneira devemos-nos familiarizar com as propriedades dinâmicas do solo expressas nas operações de preparo de área, a fim de entendermos as relações entre propriedades físicas dos solos, cultivo e produtividade.

Investigações pioneiras de Nichols (1929) levaram a uma classificação de variáveis que devem ser consideradas quando se relaciona dinâmica do solo com operações de cultivo. Os fatores básicos que afetam a resposta do solo à força aplicada por ocasião do cultivo incluem textura, estrutura, porosidade, densidade, resistência, matéria orgânica e teor de umidade.

Experimento feito no CPATU no ano de 1978, utilizando Terra Roxa de Altamira, com densidades 1,36; 1,16 e 0,91 g/cc e porosidade 54, 61 e 68%, respectivamente, mostra que na 3a. semana após a germinação, o crescimento do milho (var. Br-104) é significativamente menor no solo de maior densidade e menor porosidade (Quadro 11).

Quadro 11. Crescimento do Milho (cm) em solo TRE com diferentes valores de densidade aparente e porosidade total

D.A. g/cc	P.T. %	17/08/78	24/08/78	31/08/78	04/09/78
1,36 a	54 a	25,6 a	44,7 a	49,3	50,6 a
1,16 b	61 b	28,4 a	48,8 a	55,9 ab	58,4 b
0,91 c	68 c	29,7	53,1	59,7 b	64,8 b

Valores seguidos por letras diferentes apresentam diferença significativa ( $\alpha = 0,05$ )

Tackett e Pearson (1964) estudando a penetração de raízes de algodão em solos compactados para diferentes densidades, encontraram que densidade acima de 1,5 causou acentuado decréscimo na penetração das raízes. Na densidade 1,3 o crescimento das raízes aumentou rapidamente.

Eavis e Payne (1968) estudando densidades de 1,1; 1,4 e 1,6 g/cc encontraram que a resistência a penetração das raízes aumenta com a densidade do solo e que a penetração é quase que inversamente proporcional ao nível do impedimento mecânico.

A maioria destes autores consideram 1,0 g/cc como densidade ideal para condições ótimas de desenvolvimento do sistema radicular, onde o impedimento mecânico não é um fator.

O Quadro 12 mostra valores médio de densidade aparente encontrado entre os principais solos da Amazônia, em condições naturais.

Quadro 12. Valores médios de dens. apar. (g/cc encontrados entre diferentes prof. nos diversos tipos de solos da Amazônia, em condições naturais

Prof. cm	T i p o   d e   s o l o						
	AQVA	LAm	LAA	LAmA	TRE	PVA	GPH
0 - 10	1,31 ab	1,49 a	1,40 a	0,98 a	1,17 a	1,07 a	0,91 a
10 - 20	1,28 a	1,56 a	1,47 a	1,12 a	1,38 b	1,24 a	1,15 a
20 - 30	1,35 abc	1,61 a	1,52 a	1,01 a	1,34 b	1,29 a	1,21 a
30 - 40	1,43 ba	1,60 a	1,49 a	1,06 a	1,37 b	1,27 a	1,20 a
40 - 60	1,40 abc	1,58 a	1,47 a	0,96 a	1,36 b	1,25 a	1,22 a
60 - 80	1,44 c	1,59 a	1,49 a	1,03 a	1,34 b	1,27 a	1,24 a
80 - 100	1,46 c	1,58 a	1,47 a	1,07 a	1,30 ab	1,25 a	1,33 a
Médias	1,38 bc	1,57 a	1,47 ab	1,03 f	1,32 cd	1,23 de	1,18 e

Valores seguidos da mesma letra verticalmente e horizontalmente entre as médias não a apresentam diferença significativa ( $\alpha = 0,05$ ).

Compactação refere-se ao aumento de densidade de um solo como resultado da aplicação de cargas ou pressões. Isto significa que um solo tem uma certa densidade ou estado de compactação antes da força adicional ser aplicada. Em outras palavras, compactação do solo é um estado dinâmico através do qual o estado de compactação deste solo é aumentado.

Trabalho de Chancellor, Schmidt e Sohne (1962) mostra que o efeito de uma pressão de  $12,5 \text{ kg/cm}^2$  causa uma diminuição na porosidade de 44 para 33% à 5 cm de profundidade. A porosidade à profundidade de 9,1 cm mostrou-se igual a da superfície.

Baver (1972) reporta que o problema de compactação de solo em canaviais no Havaí, devido ao transporte de veículos para remoção da cana cortada, foi amenizado pelo uso de um novo veículo mais leve, cuja pressão exercida pelos pneus no solo, é de aproximadamente  $0,42 \text{ kg/cm}^2$  quando carregado.

Um estudo de várias operações de cultivo, conduzido por Trowse e Baver (1965b) no Havaí mostra que quase todos os implementos agrícolas causam alguma espécie de compactação, principalmente quando o solo trabalhado apresenta-se úmido. Todas as operações reduziram a permeabilidade do solo e restringiram o crescimento e proliferação das raízes.

Experimentos de Parker e Jenny (1945) mostram que o efeito compactante do cultivo mecanizado, apesar de ocorrer também com o solo seco, é mais pronunciado quando o solo encontra-se com um teor de água próximo a capacidade de campo ( $pF 2,54$ ). A densidade de um solo sob um esforço compactante constante, aumenta progressivamente com o teor da água até um máximo e daí então decresce com mais adição de água. Este máximo é conhecido como o conteúdo de água ótimo para compactação, e o conteúdo ideal de umidade no solo para as plantas, diminui a medida que aumenta o estado de compactação do solo. Nestes experimentos a infiltração de água no solo aumentou consideravelmente depois de todas as operações mecanizadas terem sido suspensas.

Compactação causada por tráfego de veículos e máquinas foi estudado por Trowse e Baver (1965a) no Hawai, e os resultados se fazem sentir principalmente na velocidade de infiltração e mudanças na porosidade do solo. A velocidade de infiltração diminuiu de 7,9 cm/h na área cultivada mecanicamente, e isto deve ser em função da diminuição em 62% de porosidade nos 14 cm superficiais. A densidade do solo aumentou consideravelmente nos 15 cm de superfície, embora o efeito de compactação na obstrução dos poros maiores, continuou até uma profundidade de 51 cm. A superfície compactada aparentemente torna-se mais espessa a medida que o número de operação de cultivo aumentam.

Em muitas circunstâncias, a absorção de nutrientes do solo é limitada por um excesso ou falta de água, deficiência de oxigênio, ou inadequada proliferação de raízes resultantes de densidades altas que impedem o seu crescimento. A combinação do aumento da densidade e diminuição da aeração não restringe apenas a proliferação de raízes e sua absorção normal de nutrientes, mas também impede a atividade microbiológica.

Moura e Buol (1972) compararam os efeitos de 15 anos de cultivo anual em solo latossólico e observaram que a infiltração decresceu de 82 para 12 cm/h com o cultivo intenso. O decréscimo de infiltração foi associado com uma marcante diminuição de macroporos em ambos horizontes A e B. Compactação por máquinas foi considerada a causa do decréscimo da macroporosidade. A diminuição da velocidade de infiltração de 82 para 12 cm/h pode ser considerada benéfica para a área em questão, por causa da redução na percolação e perda por lixiviação.

Os efeitos da derrubada da mata foram avaliados por Cunningham (1963) num solo franco arenoso de Ghana. Os resultados indicam nos 7,5 cm da superfície, um decréscimo na macroporosidade de 37 para 32%, na microporosidade de 15 para 10%, e na porosidade total de 52 para 42%.

No Senegal, onde experimentos tem sido feitos para corrigir a compactação do solo, a densidade do solo decresceu de 1,6

para 1,4 g/cc nos primeiros centímetros da superfície, com cultivo manual superficial. Com aração mecânica, os mesmos valores foram alcançados à profundidade de 10 a 30 cm (Charreau e Nicou, 1971; Charreau 1972). Aumentos significantes de produção foram obtidos tanto com cultivo manual superficial como com cultivo mecanizado profundo. Os resultados são mostrados no Quadro 13.

Quadro 13. Efeitos do cultivo superficial e da aração profunda na produção de várias culturas em solos podzólicos textura arenosa do oeste da África (Ton./ha)

Cultura	Sem Cultivo Dens. 1,6 g/cc	Cultivo Manual Dens. 1,4 g/cc (5 cm)	Aração mecânica profunda (25-30cm) Dens. 1,4 g/cc (30 cm)
Milheto	1,35	1,74	1,60
Sorgo	1,72	2,42	1,88
Milho	2,22	3,49	3,21
Arroz	1,39	2,36	2,80
Algodão	1,32	1,67	1,80
Amendoim	1,53	1,77	1,76

FONTE : Nicou 1972

Nestes solos, decréscimos de 0,1 g/cc na densidade aparente, tiveram um efeito benéfico no desenvolvimento de raízes e produtividade das culturas.

Estudos em solos completamente diferentes suportam as observações de Nicou de que pequenas mudanças na densidade tem efeito marcante no desenvolvimento de raízes. Em um estudo da compactação causada por trator sobre o desenvolvimento da raiz de cana-de-açúcar no Hawaí, Trowse e Humbert (1961) mostram que pequenas mudanças na densidade causaram as raízes de se desenvolverem apenas superficialmente, enquanto que uma compactação maior causou impedimento total no desenvolvimento das raízes (Quadro 14).

Quadro 14. Densidade aparente de vários solos do Havai e o desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar

Tipo de Solo	Densidade aparente (g/cc) na qual as raízes:		
	Cresceram Normalmente	Cresceram <u>super</u> ficialmente	Não Cresceram
Low Humic Latossol (Ustox)	1,02	1,12	1,52
Hidrandept (Andept)	0,58	0,70	1,08
Gray Hydromorphic (Aquept)	1,17	1,32	1,76

