

ALTERAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS DE UM LATOSSOLO ROXO
SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

POR

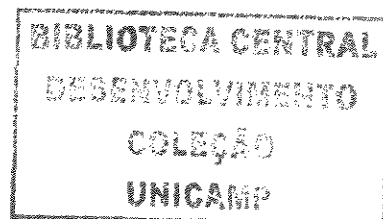
JOSÉ RICARDO DE FREITAS LUCARELLI

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
Agrícola, UNICAMP, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração:
Água e Solo.

Campinas - SP
Novembro - 1997



UNIDADE	P&C
Nº CHAMADA:	F/UNICAMP
	L962a
V. EX.	
TOMBO DO	59381
PROD.	16-117-2004
C	☐
D	☒
PREÇO	11,00
DATA	21-08-04
Nº CPO	

BIB ID - 136475

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

L962a

Lucarelli, José Ricardo de Freitas

Alterações em características de um latossolo roxo
submetido a diferentes sistemas de manejo. / José
Ricardo de Freitas Lucarelli.--Campinas, SP: [s. n.], 1997.

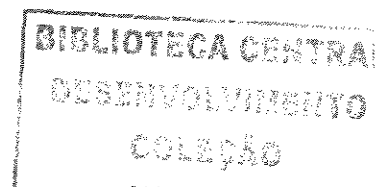
Orientador: Carlos Roberto Espíndola

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Solos - Conservação. 2. Solos - Compactação. 3.
Solos - Manejo. I. Espíndola, Carlos Roberto. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Dedico este trabalho a Rosiane, minha companheira amorosa
e ao Gabriel e a Clara pela felicidade e amor.

687074000



AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola, pela confiança, orientação e apoio na realização desse trabalho e pelo relacionamento amigo.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel, por ceder a utilização dos talhões coletores, pelas observações e sugestões ao longo do trabalho e pelo exemplo de vontade com que ministra as aulas.

Ao Dr. Francisco Lombardi Neto, pesquisador do Instituto Agrônômico, pelo ensinamento e motivação no lidar com a “conservação do solo”.

Aos pesquisadores da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico, Dr.^a Sônia Carmela F. Dechen, Dr. Sidney Rosa Vieira e Dr.^a Isabella C. De Maria, pela atenção dispensada sempre quando solicitados.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), pela oportunidade e confiança para a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Água e Solo da FEAGRI, pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Rosiane, pelas horas de sono “perdidas” na correção do meu trabalho.

À minha mãe e meu pai (*in memoriam*), pelo exemplo de vida, dedicação e carinho à minha formação profissional.

À técnica de apoio à pesquisa, Maria Angela Manzi da Silva, da comissão editorial do Instituto Agrônômico, pela revisão bibliográfica.

À técnica de laboratório Luzia Aparecida Felisbino da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico pelo apoio na realização das amostras.

A todos os companheiros de serviço, indistintamente, pela boa vontade com que sempre se dispuseram a colaborar e pelo convívio proporcionado ao longo do caminho.

A todos os amigos de pós-graduação e graduação, que ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, pela alegria no nosso convívio.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 EFEITO DOS SISTEMAS DE PREPARO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO	5
3.2 APLICAÇÕES DA MICROMORFOLOGIA EM ESTUDOS DE POROSIDADE E ESTRUTURA DO SOLO.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	22
4.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO EXPERIMENTO	23
4.3 DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS - MACRO E MICROMORFOLOGIA	27
4.4 DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS	29
Resistência do solo à penetração	29
Análise granulométrica	29
Estabilidade de agregados em água	30
Densidade do solo, curva de retenção de água e porosidade (total, macro e micro)	30
Infiltração pelo método do anel duplo concêntrico	32

Análises químicas de rotina (complexo trocável do solo).....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA	34
5.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E À INFILTRAÇÃO	42
5.3 PERDAS DE NUTRIENTES (P, K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺), MATÉRIA ORGÂNICA E TERRA.....	48
5.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO ERODIDO	54
5.5 ESTABILIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS.....	56
5.6 DENSIDADE, POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA	63
5.7 MICROMORFOLOGIA	69
6. CONCLUSÕES	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Balanço hídrico da região de Campinas, 1956 a 1987 segundo normas climatológicas da seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônômico (IAC).....	23
FIGURA 2. Vista aérea dos talhões coletores no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP.....	24
FIGURA 3. Esquema do talhão e localização da trincheira aberta para avaliação morfológica.....	25
FIGURA 4. Esquema de amostragem para retirada dos anéis.....	31
FIGURA 5. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos convencionais.....	43
FIGURA 6. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos conservacionistas.	45
FIGURA 7. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos testemunhas.	46
FIGURA 8. Taxa de infiltração (mm/hora) para os tratamentos.....	47
FIGURA 9. Perda de solo em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa (média de seis anos).....	49
FIGURA 10. Valores de diâmetro médio ponderado (dmp) dos horizontes que sofrem ação dos diferentes sistemas de preparo (T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa).....	59
FIGURA 11. Distribuição (%) dos agregados estáveis em água nas suas respectivas classes em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa	62
FIGURA 12. Retenção de água sob diferentes pressões no perfil do solo em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de discos “morro abaixo e T8 - enxada rotativa.	64

FIGURA 13. Densidade do solo (mg/m^3) para os horizontes em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa	68
FIGURA 14. Foto com aumento de 25 vezes (A) e de 100 vezes (B). Foto (A): percebe-se a presença de microagregados ovais e subarredondados, com porosidade interagregados, policôncava. Foto (B), detalhe da foto (A): forma dos microagregados e sua porosidade.	70
FIGURA 15. Foto com aumento de 25 vezes - horizonte Ap do plantio direto. Observa-se porosidade tubular ao centro e interagregados policôncavos irregulares interligados.	72
FIGURA 16. Foto com aumento de 100 vezes. Detalhe de um microagregado isolado em forma esferoidal de atividade biológica.	73
FIGURA 17. Foto com aumento de 100 vezes. Observa-se um grande canal de atividade biológica com os microagregados a sua volta adensados.	74
FIGURA 18. Foto com aumento de 25 vezes. Foto (A): horizonte superficial; foto (B): região compactada - grade aradora. Notar a forma e disposição dos microagregados do horizonte superficial (A) e a massa compacta de plasma sem a estrutura anterior e porosidade fissural.	76
FIGURA 19. Foto com aumento de 25 vezes. Foto (A) horizonte superficial, foto (B) região mais adensada - escarificador. notar a forma e disposição dos microagregados do horizonte superficial (A) e a maior coalescência dos microagregados em relação à estrutura anterior com o aparecimento de zonas com porosidade fissural.	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Análises granulométricas e químicas de rotina.....	37
QUADRO 2. Descrição macro-morfológica.....	39
QUADRO 3. Valores médios de taxa de infiltração (mm/hora) para os tratamentos ⁽¹⁾	48
QUADRO 4. Quantidade de terra perdida nos anos agrícolas 90/91; 91/92; 92/93; 93/94; 94/95; 95/96 (média de seis anos).....	49
QUADRO 5. Perdas de matéria orgânica e nutrientes em função das perdas totais de solo por hectare de cada talhão	50
QUADRO 6. Concentração de nutrientes e de matéria orgânica no solo do talhão, 0- 20cm (S) e no material erodido (E)	53
QUADRO 7. Taxa de enriquecimento nos diferentes sistemas de preparo do solo	53
QUADRO 8. Análise granulométrica do solo erodido	55
QUADRO 9. Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo ⁽¹⁾	58
QUADRO 10. Distribuição (%) nas classes (mm) dos agregados estáveis em água.....	61
QUADRO 11. Distribuição da VPT (macro e microporosidade) ao longo do perfil nos tratamentos	65
QUADRO 12. Valores da densidade (mg/m ³) dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo	66

**“Há o suficiente no mundo para todas as necessidades humanas;
não há o suficiente para a cobiça humana.”**

Mahatma Gandhi

RESUMO

O grande crescimento da população no mundo faz com que sejam abertas novas fronteiras agrícolas, e que haja uma maximização do uso do solo nas áreas já cultivadas. Quando pensamos em agricultura nos dias de hoje, não a dissociamos da idéia da motomecanização, principalmente nas regiões cuja prática agrícola é mais desenvolvida.

Por esses aspectos, torna-se importante o estudo das modificações que a motomecanização acarretará na estrutura do solo. O presente trabalho teve por objetivo avaliar tais modificações em oito distintos sistemas de manejo do solo motomecanizado.

O trabalho foi realizado no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola/UINCAMP, em área de Latossolo Roxo em oito talhões coletores de solo e de água, com os seguintes tratamentos motomecanizados: grade aradora; sistema alternado; escarificador; plantio direto; arado de disco; roçado; arado de discos “morro abaixo” e enxada rotativa. A cultura desenvolvida durante a experimentação foi o milho de pipoca.

Analisaram-se vários parâmetros, para observar modificações nas propriedades do solo. Verificou-se que os tratamentos que mais promovem a mobilização do solo e considerados como convencionais, (grade aradora, arado de disco e enxada rotativa) induzem em seu perfil a formação de uma camada subsuperficial compactada, causando baixa taxa de infiltração. Esses tratamentos provocaram, ainda, maiores perdas de solo, de nutrientes e de matéria orgânica por erosão. A estabilidade e a quantidade de agregados de maior diâmetro sofreram redução nos tratamentos

convencionais, exceto usando-se o arado de disco, cujos valores, considerados esses parâmetros, estiveram acima do esperado. Quando analisadas a porosidade e a retenção de água, esses tratamentos convencionais também apresentaram baixos valores, confirmando, pois, sua ação prejudicial sobre o solo, uma vez que o alteram de forma negativa, quando comparados aos tratamentos considerados conservacionistas (plantio direto, alternativo e escarificador).

Os tratamentos roçado e plantio direto, apresentaram uma zona com valores altos de densidade, não trazendo, porém, consequência danosa para a infiltração de água que, nesses casos foi a mais elevada, em razão de os agregados mostraram-se maiores e mais estáveis nos primeiros horizontes e a retenção de água também foi maior nessa zona para tensões até 6 kPa.

Assim, todos os sistemas induzem a alterações em propriedades do solo, modificando sua estrutura, porém o plantio direto, escarificador e o roçado causam menos impactos negativos ao solo e, em consequência ao meio ambiente..

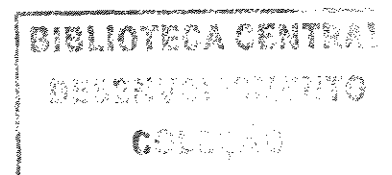
SUMMARY

The growing world population imposes a need of new agricultural frontiers. Also, it is needed an intensive use of the cultivated soil. Nowadays, the idea of agriculture is associated with mechanization, especially in well-developed regions.

Studies of soil structure modifications are important. This research work had the objective to evaluate the soil structure modifications using eight different soil management conditions.

This work was developed at FEAGRI/UNICAMP in eight units of soil and water collector. The plots have an Oxisoil (a clay latosol). The different systems defines the treatments as: T1-conventional system with heavy arrow, T2-equipment alternation system, T3-reduced system with scarifier, T4-direct drilling system, T5-conventional system with disc plough, T6-natural vegetation with no mobilization, T7-conventional system with disc plough worked on a down hill direction, and, T8-rotary tiller system.

Many soil parameters were analyzed to observe the properties modification. The management methods that provoke the most soil mobilization are conventional system with heavy arrow, conventional system with disc plough and rotary tiller system. These systems influence the formation of compacted layers in the soil profile. Also, it induces infiltration rate decrease. These treatments also caused larger soil erosion, nutrients and organic matter loss. The stability of aggregates and larger aggregates were reduced when was used the conventional treatments. When the conventional system with disc plough were used, that values for aggregates stability were greater than the expected.



When porosity and water retention were analyzed, the conventional treatments also presented low values. These values showed that these treatments cause prejudicial modifications in the soil structure when compared with treatments designated as conservation treatments.

The treatments direct drilling system and natural vegetation treatment with no mobilization present a compacted layer, but they had not any problem with infiltration rate. The infiltration rates in these treatments were the higher ones found in this experiment. Also, for these treatments, the aggregates were bigger and more stables in the higher horizons and the water retention pressure were higher in this zone (6 kPa).

The results showed that any of these treatments provoke soil structure modifications. The treatments that caused the lowest modification in the soil structure were reduced system with scarifier direct drilling system and natural vegetation with no mobilization causing the least impact to ambient.

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo, vem ocorrendo de uma forma muito intensa, e a mecanização agrícola, em busca de uma produtividade cada vez maior, é um dos fatores que tem contribuído, em grande escala, para alterações na estrutura do solo, trazendo-lhe, muitas vezes, conseqüências indesejáveis.

É previsível que solos sob vegetação natural revelem determinadas características que são modificadas quando passam a ser utilizados para as diversas modalidades de exploração agrosilvopastoris, especialmente em função de operações motomecanizadas de preparo e de manejo.

O uso intensivo de um solo agrícola pode ocasionar certas alterações consideradas como positivas ou benéficas, por possibilitarem melhores condições para o desenvolvimento das plantas, mas, em geral, a utilização de equipamentos agrícolas que promovem sua mobilização costumam alterar de forma negativa suas características.

O sistema de preparo é, sem dúvida, um dos fatores que têm maiores condições de provocar alterações nas características naturais do solo. A utilização de equipamentos de vários tamanhos e modelos sem a devida orientação

técnica pode intensificar tais modificações, especialmente no que se refere ao estado físico do solo.

Pode-se afirmar que as agravantes finais mais nocivas causadas pelas diversas alterações no solo pelos diferentes sistemas de preparo e manejo sejam a erosão e as perdas de água. A erosão é, sem dúvida, um dos problemas mais graves do mundo atual. Milhões de hectares de terras que antes se prestavam ao cultivo, são, hoje, áreas depauperadas, enquanto outros milhões de hectares vêm sofrendo o mesmo processo.

Grandes civilizações, no passado, estiveram fadadas ao desaparecimento por causa do declínio da fertilidade de suas terras. O Brasil é um país “jovem”, com uma agricultura relativamente recente, cuja prática vem revelando um grande esbanjamento dos seus recursos naturais e que, diante dos sistemas de preparo e manejo, vem perdendo constantemente parte do seu solo (em geral a porção mais fértil); a menos que se venha a utilizar de forma mais adequada as nossas terras, haverá um dia em que se enfrentará uma séria escassez de terras cultiváveis, aumentando, ainda mais, o custo de produção de alimentos.

O prejuízo é maior ainda se se levar em consideração que juntamente com o solo e com a água estão também nutrientes, produtos agroquímicos e calcário, que podem poluir os mananciais. Outra consequência importante, não só para o meio rural como para o meio urbano, é o assoreamento de rios e represas. O entupimento da calha dos rios provoca o elevamento do nível da água nos períodos chuvosos e conseqüentes enchentes, assim como o baixo nível nos períodos secos, ocasionando, muitas vezes, a escassez hídrica, principalmente em áreas muito populosas e industrializadas.

Portanto, os sistemas de manejo do solo podem alterar para pior ou para melhor as condições do solo, mas, certamente, a decisão está a cargo do homem,

que tem a capacidade de descobrir e aplicar aqueles que comprovadamente sejam os mais adequados.

Porosidade, densidade, agregação, distribuição e estabilidade de agregados, taxa de infiltração, disponibilidade de água e nutrientes, temperatura do solo, quantidade de matéria orgânica e atividade biológica são alguns dos parâmetros influenciáveis pelos diferentes sistemas de manejo. O ideal para o solo seria o uso e o manejo que estabelecessem uma associação conveniente desses parâmetros, de modo a possibilitar condições cada vez melhores para o desenvolvimento vegetal, promovendo, conseqüentemente, menores perdas de material sólido e de água e, por fim, maior produtividade associada à qualidade ambiental.

Procurando tomar esses parâmetros como guias para as modificações impostas pelo uso e manejo do solo, é que se concebeu a presente pesquisa, buscando analisar, de maneira prioritária, o fator prática de manejo, notadamente, diferentes sistemas de preparo do solo.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo verificar as principais modificações que diferentes sistemas de preparo e manejo causam em algumas características do solo. Para tanto, serão comparadas e quantificadas alterações em certas características físicas, químicas e biológicas, em oito diferentes sistemas de preparo motomecanizado de um Latossolo Roxo.

Procurou-se verificar também os efeitos dos diferentes tipos de preparo do solo nas quantidades de terra e nutrientes perdidos por erosão, utilizando parcelas experimentais de talhões coletores de solo e água do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas (SP).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Efeito dos sistemas de preparo sobre as características do solo

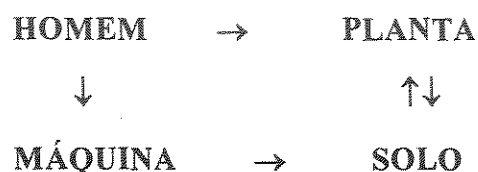
Desde que o homem começou a viver em grupos, fixando-se à terra, começou a intensificar o cultivo de plantas, para delas tirar o seu proveito. No início, as ferramentas utilizadas eram rudimentares e pequenas, exigindo grande esforço físico dos homens e dos animais subordinados. Até cerca de um século, as ferramentas usadas para preparo do solo eram utensílios simples, como a charrua, a enxada, o enxadão, a pá, a foice, a grade de destorroar, o ancinho e a carreta de rodas.

Por volta do ano 1700, viria a ocorrer uma das principais descobertas da humanidade, auxiliando o desenvolvimento/produção: a máquina a vapor. Com sua descoberta, a força do trabalho aumentou: uma só máquina a vapor, com potência de 100 cavalos de força, passou a fazer o trabalho de 3.600 homens. Tal descoberta possibilitou o transporte em grandes quantidades, por trilhos ferroviários e pelo mar.

A máquina a vapor não podia ser utilizada em estradas, pois era muito pesada. Tendo em mente que era necessário desenvolver um motor mais leve e compacto, Nikolaus August Otto criou, por volta de 1880, o motor de combustão interna, que foi idealizado para funcionar com gás de carvão. Com modificações, os motores OTTO passaram a funcionar com gasolina e óleo diesel, movimentando carros, caminhões, ônibus e *tratores*.

Assim, o homem começou a utilizar mais intensivamente o solo para a agricultura, com tratores e implementos agrícolas, promovendo maior grau de mobilização, aspecto esse que se intensificou neste nosso século, especialmente depois da 2.^a Guerra Mundial.

O sistema solo-máquina-planta, extremamente dinâmico, sofre, além dos fatores chuva, vento, energia solar e insumos, a influência cada vez mais forte do homem, que se constitui em um quarto fator do sistema (DALLMEYER, 1990), conforme a seguinte esquematização:



Segundo esse autor, nas explorações agrícolas, a ação do homem no sistema é ampliada pela troca crescente de operações manuais, ou seja, de baixo conteúdo energético, ou por operações mecanizadas, de alto conteúdo energético (kw/ha).

Muitas são as operações agrícolas usuais para que um determinado produto possa chegar à fase de comercialização, e a maioria delas, se não opera diretamente com o solo, está sobre ele trabalhando, exercendo algum tipo de modificação na sua estrutura.

MACHADO et al. (1981) estudaram o efeito de anos de cultivo sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, por comparação a solos de mata e campo nativo; observaram que a partir do oitavo ano de cultivo, ocorreram alterações na densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Essas alterações foram consideradas como negativas, contrapondo-se à manutenção das características desejáveis do solo. A matéria orgânica também revelou

drástica redução, com o passar do tempo de cultivo, quando comparada com os teores dos horizontes superficiais da mata nativa.

CINTRA et al. (1983) desenvolveram estudos visando detectar alterações nas condições de um Latossolo Roxo, em três áreas de cultivo intensivo com trigo e soja, em preparo convencional, por mais de 15 anos, efetuando comparações com uma área de mata nativa. Foram detectadas reduções na porosidade, na matéria orgânica e na taxa de infiltração dos solos cultivados.

Em geral, as pesquisas indicam que as operações agrícolas, com maior ênfase para as de preparo do solo, afetam a estrutura do solo, em graus variados. Como as características do solo estão interligadas, a modificação em uma delas normalmente leva a mudanças em todas as outras. Assim, uma alteração na estrutura do solo pelo sistema de preparo provocará mudanças na porosidade, densidade, retenção e armazenamento de água, agregação, etc. A definição de preparo do solo apresentada por CASTRO (1989) considera sua manipulação física, química (aplicação de calcário, principalmente) ou biológica, com o objetivo de otimizar as condições para a germinação e emergência das sementes, assim como o desenvolvimento das plântulas.

Segundo o mesmo autor, o preparo do solo não é uma tecnologia simples, mas compreende um conjunto de técnicas que, quando usadas de maneira correta, propicia alta produtividade das culturas a baixo custo. Quando usadas de maneira incorreta, as técnicas podem, em poucos anos de uso intensivo, levar à destruição desse material (solo) que demorou milhões de anos para se formar. Tais técnicas podem, ainda, levar a uma degradação física, química e biológica de forma paulatina, diminuindo seu potencial.

É importante lembrar que as técnicas e implementos de preparo do solo foram, em geral, desenvolvidas na Europa, trazidas às regiões tropicais das Américas e aqui aplicadas. Tais técnicas provocam grande mobilização do solo, deixando-o praticamente sem cobertura, exposto a temperaturas elevadas e a

precipitações de altas intensidades e energias. O resultado desses sistemas costuma ser uma degradação elevada do solo pela erosão, associada a uma compactação mecânica, que reduz a capacidade de uso.

Os especialistas em preparo do solo vêm questionando a utilização de sistemas de preparo que provocam acentuado revolvimento, pois essas técnicas são as que mais contribuem para a erosão. Por isso, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de procurar alternativas de preparo com mínimo prejuízo da produtividade.

As técnicas de preparo do solo podem ser enquadradas, basicamente, em dois grupos, a saber: (a) sistema reduzido ou conservacionista e (b) sistema convencional. O sistema convencional, que utiliza implementos como arado de discos, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda a área a ser cultivada, onde o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo. Por outro lado, os sistemas de preparo reduzidos, como o plantio direto, têm como princípio o mínimo ou o não revolvimento do solo; o escarificador promove o arrasto de hastes que cortam o solo, tornando-o mais frouxo, ou seja, quebrando superficialmente a sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície do terreno.

ALLMARAS & DOWDY (1985) consideram sistemas conservacionistas aqueles métodos de preparo e plantio nos quais pelo menos 30% do solo estejam cobertos por restos vegetais após o preparo e semeadura.

SIDIRAS et al. (1984) afirmam que os sistemas conservacionistas para preparo do solo constituem um meio em potencial para reduzir as perdas de água por evaporação e erosão, possibilitando o aumento de água no solo.

A quantidade de resíduos na superfície do terreno, segundo CASTRO (1989), pode chegar a 70% com o uso do escarificador. Naturalmente, não se

deve esperar que solos sob cultivo mantenham as características físicas, químicas e biológicas originais (sob vegetação natural), mas deve-se procurar manejá-los de modo a alterar o mínimo possível essas características.

Diversos são os trabalhos que atestam o efeito dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo em suas propriedades físicas, químicas e biológicas. De um modo geral, o cultivo do solo, segundo Russel & Russel, citados por MACHADO & BRUM (1978), causa a destruição de sua estrutura, pois a maioria dos tipos de preparo, particularmente as capinas superficiais ou gradagens executadas em tempo seco, provoca a pulverização do mesmo.

Freqüentemente, as propriedades físicas do solo têm sofrido mais efeitos negativos do que positivos em suas características, quando submetidos a diferentes sistemas de preparo, por comparação ao seu estado natural.

Estudos recentes indicam que uma cobertura com resíduos de cultura diminui praticamente a zero as perdas de solo e mantém seu conteúdo de matéria orgânica e umidade, além de outros benefícios, tal como a boa estruturação. Alguns sistemas conservacionistas, como o plantio direto e o escarificador, possibilitam o acúmulo de resíduos na superfície do solo, os quais ajudam a manter a água no corpo do solo, pois auxiliam a diminuir as perdas por evaporação e a aumentar a taxa de infiltração (DERPSCH et al., 1986).

Em sistemas de plantio direto, são comuns altos valores de densidade do solo, que estariam em contraposição a maiores valores de taxas de infiltração, por comparação ao sistema convencional, em que a superfície normalmente é menos adensada. Entretanto, os efeitos danosos das gotas de chuva são aí atenuados pela resistência à desagregação das partículas, bem como os resíduos na superfície desempenham papel fundamental e positivo na infiltração de água no corpo do solo. DERPSCH et al. (1986) estudaram três sistemas de preparo: plantio direto, escarificador e convencional, em um Latossolo Roxo, com três níveis de infiltração básica: 45 mm/h

(= 100%), 35 mm/h (= 78%) e 26 mm/h (= 58%) respectivamente, tendo constatado que a taxa de infiltração foi inversamente proporcional ao grau de mobilização do solo.

A infiltração de água é um parâmetro afetado por diversas variáveis, como a textura, a porosidade, a condutividade hidráulica, a distribuição dos agregados, a cobertura vegetal, a densidade etc. Algumas delas são intrínsecas ao perfil do solo (seus constituintes), enquanto outras não o são, como é o caso da cobertura morta.

Solos manejados sob sistemas conservacionistas, como o plantio direto e o escarificador, diferenciam-se daqueles que são submetidos a outros sistemas, como o manejo convencional, pois sofrem menos revolvimento, mantêm, ou têm aumentada a matéria orgânica, permanecendo mais bem estruturados e com maior infiltração de água, conforme dados obtidos por REINERT et al. (1984). O aumento de matéria orgânica proporcionado pelos sistemas reduzidos ocasiona maior atividade da fauna e da flora, o que é benéfico, aumentando a porcentagem de macroporos, conforme comprovação de LAL et al. (1980), em experimentos com diferentes taxas de casca de arroz na superfície; 18 meses depois dessa aplicação, observaram-se valores crescentes da porosidade total (48 a 59%), acompanhando o crescimento das doses de palha, sendo similar para os macroporos, com uma variação de 18 a 38%.

CINTRA et al. (1983) realizaram estudos e mostraram que as taxas finais de infiltração para áreas cultivadas eram, aos 120 minutos, de 0,6 e 6,3 cm/h. enquanto para a mata nativa, a taxa final foi de 34,3 cm/h.

ROTH et al. (1987) estudaram diferentes sucessões de culturas em Latossolo Roxo e observaram que o sistema de preparo convencional com aração resultou em uma redução de 50% da capacidade de infiltração, com a formação de crosta ou selamento superficial.

Um parâmetro importante a ser considerado no manejo de solos é a preservação da estabilidade dos agregados e do seu padrão de distribuição por

tamanho. Agregados estáveis revelam menores problemas com desagregação por impactos de gotas de chuva, portanto menores problemas de selamento superficial e maiores índices de infiltração de água. Em geral, solos de mata natural apresentam agregados maiores em suas camadas superficiais, estáveis em água (FERNANDES & ESPÍNDOLA, 1994), por comparação com aqueles sob condições de cultivo.

Em geral, os sistemas de preparo que mobilizam menos o solo e que mantêm boa quantidade de restos culturais conseguem ampliar o número de agregados maiores e mais resistentes à ação da chuva. Isso se deve à própria ação do implemento, que não pulveriza o solo, mantendo, já no preparo, além de agregados maiores, maior quantidade de matéria orgânica, que serve para melhorar a estabilidade dos próprios agregados; assim, a infiltração de água nesses tipos de preparo é, com frequência, facilitada.

ROTH & MEYER (1983), estudando a infiltração em um Latossolo Roxo sob três sistemas de preparos (convencional, escarificador e plantio direto), observaram que a taxa final de infiltração mais elevada correspondeu aos sistemas de plantio direto e escarificador. O predomínio de agregados de tamanhos grandes também se mostrou mais intenso nesses dois sistemas, tendo-se atribuído o fato à sua pequena destruição mecânica, à maior concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} e à presença de material orgânico em decomposição.

A estabilidade de agregados em água foi reduzida em 60% em um solo Podzólico-Vermelho Amarelo cultivado por 14 anos, quando comparado com a distribuição no solo virgem (GOMES et al., 1978).

ELTZ et al. (1989) consideram que o possível aumento no tamanho dos agregados estáveis em água pelo sistema de plantio direto, em relação ao convencional, seja devido à não destruição mecânica desses agregados pelos implementos de preparo do solo, à maior densidade do solo na superfície e à proteção que os resíduos oferecem sobre a superfície. O mesmo resultado foi observado por

BEZERRA (1978), que verificou um efeito desagregante nos sistemas de preparo sobre a estrutura do solo, tendo o emprego do arado de discos e da grade pesada induzido maior redução do tamanho dos agregados do que o sistema de semeadura direta.

Outro processo danoso, provocado pelo uso intensivo de alguns implementos de preparo do solo, que pode influenciar a infiltração de água, é o aumento da densidade em camadas subsuperficiais, comumente chamadas de camadas compactadas, “pé-de-arado” ou “pé-de-grade”, DANIEL et al. (1995).

O grande número de implementos propicia diferentes profundidades de trabalho e intensidade de movimentação de um solo, havendo áreas agrícolas que recebem o mesmo tipo de preparo por um longo tempo, o que vai ocasionar a formação de uma crosta superficial provocada pela desagregação do solo e uma camada subsuperficial compactada, provocada pelo órgão ativo do implemento, quando trabalhada sempre na mesma profundidade e em condições inadequadas de umidade. Essa ação cortante do implemento exerce, ao mesmo tempo, uma pressão na área de contato implemento/solo, muitas vezes cisalhando-o, sendo ainda aumentada a pressão nesta área pela ação exercida pelo rodado do trator. O resultado é o aumento da densidade nessa camada.

Implementos de preparo do solo providos de haste atuam de forma diferente, evitando a compactação de uma camada subsuperficial; com isso, a distribuição dos esforços torna-se mais uniforme no perfil.

SIDIRAS et al. (1984), comparando o sistema de plantio direto com o sistema de preparo convencional (aração e duas gradagens), concluíram que o plantio direto, ainda que recente, possibilita um aumento na retenção de água da camada superficial e uma diminuição no gradiente de densidade do solo dentro do perfil.

Entre os sistemas conservacionistas, o plantio direto e o cultivo mínimo acarretam, muitas vezes, valores de densidade do solo maior ou igual aos convencionais (HAMMEL 1989; BRUCE et al. 1990; HILL 1990; ALBUQUERQUE et

al. 1995), mas a infiltração de água é muito maior, assim como sua disponibilidade, uma vez que os poros apresentam tamanhos maiores.

Segundo CASTRO (1989), em áreas sob sistema de preparo convencional, realizados sempre a uma mesma profundidade, é comum formar-se gradativamente uma camada subsuperficial compactada. Essa camada pode ficar muito densa, o que acarretará diminuição da taxa de infiltração de água e dificuldade na penetração de raízes, reduzindo o desenvolvimento da planta ou por falta ou por excesso de água, e por deficiência na nutrição. O mesmo autor verificou que o solo superficial preparado fica bastante desagregado, levando ao selamento superficial por ocasião das chuvas, o que irá impedir uma adequada infiltração; além disso, anos sucessivos de cultivo convencional tendem a reduzir, cada vez mais, a velocidade de infiltração, chegando a níveis que comprometem seriamente o crescimento das plantas.

Já VOORHEES et al. (1989), estudando três diferentes tipos de solo, não encontraram diferenças consistentes na produtividade de grãos de milho, afetados pela compactação da camada subsuperficial e da superfície, indicando que em algumas situações a maior densidade do solo pode não ser prejudicial para a produtividade das culturas.

DANIEL et al. (1994) observaram que ferramentas que provocam maior grau de mobilização do solo, como arado de disco, grade aradora e enxada rotativa, proporcionaram valores mais elevados de resistência do solo à penetração, indicando a presença de camadas compactadas. Comentam, ainda, que a compactação ou “dureza” do solo está intimamente ligada à umidade, e que uma possível compactação pode ser mascarada pela elevada umidade do solo no momento da amostragem.

Em experimento visando comprovar a influência da umidade na compactação e também no desenvolvimento da cultura, Jones et al., citados por ROSOLEM et al. (1994), afirmam o seguinte: quando um solo está em condições ótimas

de umidade, a densidade do solo precisa ser aumentada em $0,4 \text{ g/cm}^3$, ou mais, para que haja uma redução no crescimento do sistema radicular a praticamente zero.

VOORHEES & LINDSTRON (1984) afirmam que são necessários três a quatro anos para que um solo sob condições de manejo conservacionista desenvolva uma porosidade mais favorável na camada de 0-15 cm, por comparação com solos arados e gradeados em uso contínuo.

A semeadura direta ou plantio direto provoca uma compactação superficial (VOORHEES & LINDSTRON, 1983), ao passo que nos preparos convencionais, o aumento da densidade ocorre em uma camada subsuperficial. A camada subsuperficial compactada prejudica não apenas o desenvolvimento radicular, pela maior resistência, como também pela redução da área foliar e pelo suprimento deficiente de oxigênio, o que vai acarretar uma redução da pressão do crescimento das raízes (Eavis et al., citados por ROSOLEM et al., 1994).

ROSOLEM et al. (1994), em estudo sobre diferentes níveis de compactação e calagem, concluíram que o aumento da densidade na camada de 15 a 18,5 cm causou concentração das raízes na camada superficial e diminuição no crescimento radicular na camada mais profunda, prejudicando, ainda, a absorção de nutrientes por unidade de área de raiz.

A capacidade de infiltração de água em um solo também é afetada pelo selamento superficial. Quando preparado pelo sistema convencional, o solo é bastante desagregado e pulverizado. Quando ocorre a primeira chuva, por estar seco e mais solto, este solo absorve mais rapidamente a água, mas a ação das gotas nas partículas do solo, que já está desagregado pela ação mecânica e com teor de matéria orgânica baixo, causa maior desestruturação, acarretando um entupimento dos poros pelas partículas. Esse bloqueio dos capilares do solo provoca o selamento superficial e o escoamento da água, que não consegue infiltrar-se.

Solos que apresentam uma cobertura morta, ao serem preparados para plantio, têm a vantagem de absorver os impactos das gotas de chuva, mantendo a capilaridade e oferecendo uma resistência à velocidade de escoamento da água, proporcionando-lhe mais tempo para infiltração.

Em sistemas de preparo convencional, implementos com discos reduzem o grau de cobertura do solo e pulverizam os agregados superficiais, afetando as condições da superfície. Essa ação mecânica, somada à redução do teor de carbono orgânico em solos cultivados intensamente, diminui a estabilidade dos agregados superficiais. Disso decorre o aparecimento de crostas ou selamento superficiais após uma chuva e, conseqüentemente, uma redução na capacidade de infiltração (MERTEN, 1994).

A matéria orgânica é um dos constituintes mais importantes do solo, haja vista sua ação sobre as características químicas e físicas, o que lhe confere importância na estruturação/agregação.

Tal importância é citada por BRADY (1989), segundo o qual a matéria orgânica interfere nas propriedades do solo, da seguinte forma: agindo sobre a cor, auxiliando a granulação, reduzindo a plasticidade, aumentando a capacidade de retenção de água, elevando a CTC e funcionando como suprimento e disponibilidade de nutrientes, ainda que em pequena quantidade, em relação aos outros constituintes do solo. Para o autor, os solos cultivados vão ter sempre uma ação diminuidora sobre o teor de matéria orgânica, cuja influência atinge muito além da camada arável; relata caso em que a uma profundidade até de 45 cm o teor de matéria orgânica foi menor devido ao cultivo. CARON et al. (1994) comentam que a estabilidade estrutural é sensivelmente reduzida pela diminuição do carbono orgânico nas camadas superficiais dos solos cultivados, porém essa influência pode ser detectada até mesmo cerca de 100 cm da superfície, em solos tropicais.

Em termos de fonte natural de matéria orgânica para os solos, os principais fornecedores são os próprios vegetais, que o fazem por meio de suas folhas, raízes e caules, ou seja, componentes que em uma cultura comercial constituem-se basicamente nos resíduos deixados depois da colheita.

Para que se possa melhorar a estruturação de um solo é necessário conhecer os fatores que promovem sua agregação, estabilidade e resistência à ação da água, posto que a estabilidade estrutural é função da resistência que tenham seus agregados.

MARSHALL (1962) define estrutura do solo como o arranjo de suas partículas e dos espaços porosos. Isso compreende o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados quando as partículas primárias são agrupadas. Segundo Yoder, citado por FERNANDES (1993), a agregação do solo é um dos mais importantes atributos a serem considerados pelo pesquisador que estuda cultivo, controle de erosão e outros problemas ligados à física de solos.

HARRIS et al. (1966) e STEVENSON (1982) afirmam que são vários os constituintes orgânicos e inorgânicos do solo a participarem da união de partículas na formação de agregados. Como exemplo são citados polímeros orgânicos, óxidos de ferro e manganês e argila coloidal. Segundo os autores, os óxidos de ferro e manganês são os maiores responsáveis pela estabilização de agregados em subsuperfície de certos solos, também confirmado por BATES (1984). Já a agregação de partículas por substâncias orgânicas, como polissacarídeos de origem microbiana e micélio de fungos, tendem a ser responsáveis predominantemente pela estabilização dos agregados da superfície, mostrando a importância que os sistemas de preparo que possibilitam maior quantidade de vida microbiana desempenham na agregação e no selamento superficial.

Os restos culturais incorporados ao solo têm uma decomposição mais rápida, pois são mais facilmente atacados pelos microorganismos. Por isso, são

importantes os sistemas de preparo que possibilitam maior quantidade dos restos culturais na superfície, pelos acréscimos de matéria orgânica. A mesma constatação é apresentada por LYNCH & PANTING (1980) os quais afirmam que diferentes sistemas de preparo do solo promovem graus de mobilização distintos, provocando alterações nas taxas de aeração e disponibilidade de nutrientes. Esse aumento temporário na aeração e na disponibilidade de nutrientes, pela quebra dos agregados, morte de parte da biomassa e a incorporação de resíduos, resulta em estímulos à população microbiana. Porém, esse estímulo é por um período curto, sendo comum em épocas que sucedem ao preparo do solo, vindo a decrescer depois disso.

Já nos sistemas de preparo em que os restos culturais ficam na superfície, o contato com os microorganismos é menor, assim como sua taxa de decomposição, o que possibilita uma atividade microbiana estável e uniforme durante todo o ciclo da cultura.

De acordo com MERTEN (1994), os implementos de preparo do solo que revolvem e incorporam os resíduos aceleram a decomposição da matéria orgânica, reduzindo, com isso, a atividade biológica. É certo que modificações no ambiente exercem influência não só no número, como também na diversidade biológica, pois o resíduo deixado pelas culturas muitas vezes é pequeno, e a monocultura proporciona uma faixa mais estreita de material de origem vegetal do que o encontrado geralmente na natureza.

O mesmo resultado é referido por ANGERS et al. (1992), os quais relatam que em um solo arado a matéria orgânica sofre um decréscimo de 40 a 50% na faixa de 0-6 cm, acompanhado de um decréscimo na estabilidade dos agregados.

Segundo McCALLA (1967) e VIEIRA (1985), o plantio direto, por propiciar uma quantidade de resíduos da cultura sobre o solo, promove o acúmulo de matéria orgânica na camada mais superficial e reduz as flutuações térmicas e hídricas,

resultando em uma população de microorganismos maior do que a encontrada em solo com sistema de preparo convencional.

CASTRO (1989), em trabalho realizado em um Latossolo Roxo com os sistemas de preparo plantio direto, escarificador e convencional, observou que o teor de matéria orgânica é maior no primeiro sistema, ficando o escarificador como intermediário e o convencional por último.

É sabido que os efeitos dos resíduos na superfície do solo contribuem para melhorar a sua estrutura, aumentando a infiltração de água e protegendo-o contra a erosão, por isso a importância de sistemas de preparo que deixam maior quantidade de resíduos sobre o solo.

CARPENEDO & MIELNICZUK (1990) estudaram um Latossolo Roxo sob quatro tratamentos - convencional, plantio direto, escarificador e pastagem - tendo amostrado também área próxima com campo e mato nativo. O solo sob cultivo apresentou menor agregação do que aquele sob campo e mato nativo, e entre os sistemas, o plantio direto apresentou maior estabilidade de agregados em água do que sob preparo convencional. O predomínio de microporos deu-se nos dois preparos, convencional e escarificador e em pastagem, campo e mato nativo ocorreu um predomínio de macroporos.

ROTH et al. (1991), analisando fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo, verificaram que os agregados sob sistemas de preparo convencional não possuem muita resistência, quando comparados com agregados de área recentemente desmatada. Outra constatação interessante foi a de que a calagem aumentou a estabilidade dos agregados. O teor de carbono orgânico e a soma de íons alumínio mais cálcio foram os que mais se correlacionaram com o índice de estabilidade de agregados, fato também observado anteriormente por ROTH & MEYER (1983).

3.2 Aplicações da micromorfologia em estudos de porosidade e estrutura do solo

Com os trabalhos de CHAUVEL et al. (1976) e COLLINS (1985), o papel da estrutura do solo passou a ter maior importância, uma vez que a microscopia óptica permite a observação do solo em escalas menores, ou seja, pode-se visualizar sua estrutura, o arranjo interno de suas partículas, a disposição e formas de agregação.

BENNEMA et al. (1970), estudando aspectos da estrutura (macro e micro) de horizontes óxicos ou latossólicos no Sul e Sudeste do Brasil, constataram que os latossolos usualmente se mostram muito porosos, com estrutura grumosa e/ou granular, além de não revelarem concentrações de argila por iluviação.

A estrutura floculada, característica nos solos tropicais e principalmente nos latossolos, é denominada de estrutura microagregada. Essa estrutura arredondada e de tamanhos milimétricos e menores, é formada, sobretudo, pela organização das argilas, óxidos de ferro e alumínio além da matéria orgânica e das partículas de quartzo que são os principais constituintes dos solos tropicais (MELFI, 1985).

A micromorfologia vem-se mostrando como uma técnica muito eficiente e útil para observação das alterações possíveis que o manejo está acarretando na microestrutura do solo, a qual influencia a macroestrutura.

O estudo micromorfológico foi feito de forma a caracterizar os tipos e formas dos poros. Sendo assim, pôde-se separar diferentes tipos de poros ou vazios: poros tubulares que são originados pela atividade biológica e que aparecem na forma de canais e cavidades, os resultantes de empilhamento dos microagregados (poros interagregados) e os poros internos dos agregados (poros intra-agregados) que não são visíveis nesta escala de observação.

A porosidade intra-agregados é formada pelo arranjo das partículas de argila, óxidos de ferro e alumínio dentro dos microagregados.

Segundo KERTZMAN (1996), a forma e o tamanho dos microagregados permanecem os mesmos tanto no solo natural (sob mata), como no solo compactado pelo cultivo agrícola, indicando que a organização interna dos agregados não é afetada, mas sim a disposição dos poros interagregados.

Estudando Latossolo Roxo em Guaíra, Estado de São Paulo, Kertzman, citado por FERNANDES (1993), observou uma distribuição homogênea de grãos de quartzo (esqueleto) ao longo do perfil, os quais representavam menos de 10% da área total da lâmina delgada. O plasma (fração argila granulométrica, material orgânico, sais, materiais de alteração menores que 2μ) estava organizado em elementos estruturais subarredondados ou microagregados com orientação do tipo asséptica. Não foi observada nenhuma feição pedológica em especial, e a principal variação foi quanto à organização espacial dos microagregados e da porosidade resultante na camada de 0 a 40 cm e abaixo de 40 cm.

KERTZMAN (1996), ao trabalhar em um Latossolo Roxo da região de Guaíra (SP), constatou que os horizontes superficiais em solo cultivado mostraram uma organização mais densa, com os agregados mais próximos, quando comparados aos subsuperficiais e aos horizontes da área de mata. A porosidade também foi mais fraca nesses horizontes, com a porosidade interagregados menor e ausência de canais e cavidades, indicando que há uma compactação em função do manejo. Abaixo de 40 cm, os horizontes apresentavam, com mais frequência, poros, canais e cavidades, estes dois últimos de secções ovóides correspondentes à sua forma tubular, com paredes bem definidas por uma assembléia mais densa. Esses poros e canais encontravam-se preenchidos por material microagregado, indicando maior atividade biológica.

FERNANDES (1993) comparou solo cultivado e solo com mata nativa em Latossolos argilosos, tendo observado que o cultivo convencional com soja afetou as propriedades físicas do solo. A análise micromorfológica permitiu constatar que neste sistema de cultivo houve uma degradação estrutural, que foi expressa pelo

rearranjo destas unidades estruturais, apresentando-se muito próximas umas das outras, em áreas isoladas, não se distinguindo, porém, os seus limites. Já as estruturas dos solos sob mata apresentaram-se individualizadas, ou ligadas por braços de plasma. As secções delgadas (visão micro) mostraram este rearranjo, que foi indiretamente expresso pelos dados de infiltração, macro e microporosidade e densidade global (visão macro).

Entre os solos argilosos estudados, o Latossolo Vermelho-Escuro sob soja apresentou-se estruturalmente mais desagregado e com horizonte mais compactado do que o Latossolo Roxo com o mesmo cultivo, provavelmente em função dos menores teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro, o que foi confirmado pela análise micromorfológica, que mostrou um adensamento quando as unidades estruturais apresentaram-se muito próximas, tendo sido também observada alteração na forma e no tamanho dos poros. Em algumas áreas isoladas, observou-se compactação, caracterizada pela completa desintegração dos agregados, que apresentaram o aspecto de uma massa contínua. Também se verificou que os teores mais elevados de matéria orgânica em cultura perene contribuíram para maior estabilização estrutural.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: latitude 22°48'57" sul , longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640 m.

Conforme a classificação climática de Köppen, a região de estudo é definida como uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica um clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. As temperaturas do mês mais quente e do mais frio são, respectivamente, superiores a 22°C (fevereiro) e menores que 18°C (junho). A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso estando entre outubro a março (1.048 mm), o que representa 75% do total de chuva anual. Já o período mais seco ocorre de junho a setembro, quando há uma deficiência hídrica no solo (7 mm). A figura 1 mostra o balanço hídrico da região de Campinas.

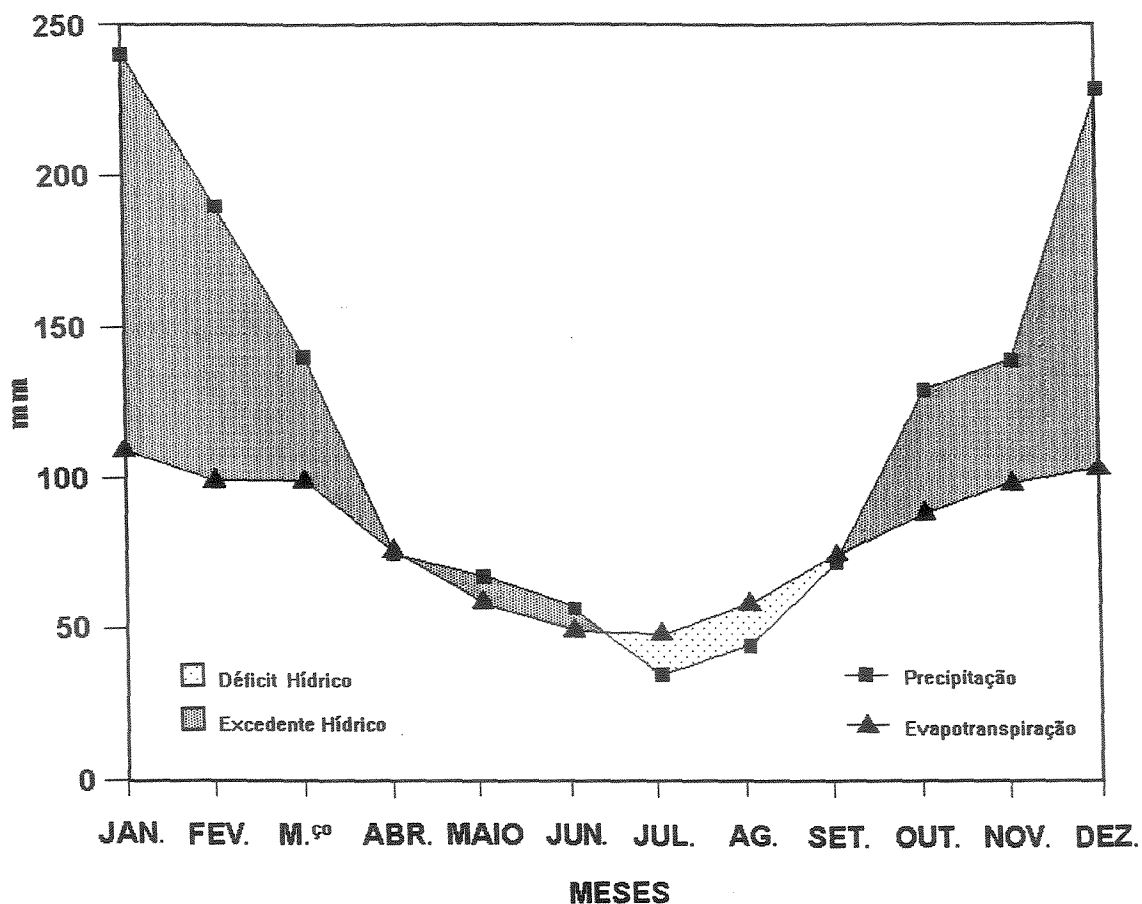


Figura 1. Balanço hídrico da região de Campinas, 1956 a 1987 segundo normas climatológicas da seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônômico (IAC)

4.2 Características da área do experimento

O presente trabalho foi instalado em 1986, em área de Latossolo Roxo distrófico textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (OLIVEIRA et al., 1979) o que corresponde, na classificação norte-americana, a um solo Typic Haplorthox, localizada no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação norte-sul e exposição oeste, contendo oito talhões com coletores de terra e água escoados pelo deflúvio (Figura 2).

A partir de 1986, nos anos agrícolas de 86/87, 87/88, 88/89 e 89/90, todos os talhões foram manejados identicamente quanto ao preparo do solo, (subsolagem, aração e gradagens de destorroamento e nivelamento), com o principal objetivo de homogeneizá-los quanto à ausência de camadas superficiais e subsuperficiais de solo compactado.

Durante os anos agrícolas de 90/91, 91/92, 92/93, 93/94 e 94/95 (ensaios I, II, III, IV e V) cada um dos talhões recebeu sucessivamente seus respectivos tratamentos, mais adiante descritos, condicionando seus manejos em função do sistema de preparo e cultivo de solo. A cultura a ser desenvolvida foi o milho de pipoca.



Figura 2. Vista aérea dos oito talhões coletores no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP.

Os talhões tem área útil de 600 m², confinada a jusante de uma rampa de 30 m de comprimento por uma soleira concentradora de 20 m de largura. As laterais e a extremidade de montante dos talhões coletores foram providas de chapas metálicas, com o objetivo de confinar a água precipitada em sua área útil (Figura 3). A soleira concentradora desempenhou a função de conduzir o deflúvio para tanques de decantação e armazenamento.

Dada a natureza dos talhões, com diferentes tipos de preparo do solo, pôde-se mensurar e comparar os efeitos que essas práticas de manejo provocam na estrutura do solo, com a vantagem de poder associar tais efeitos às perdas de solo e água.

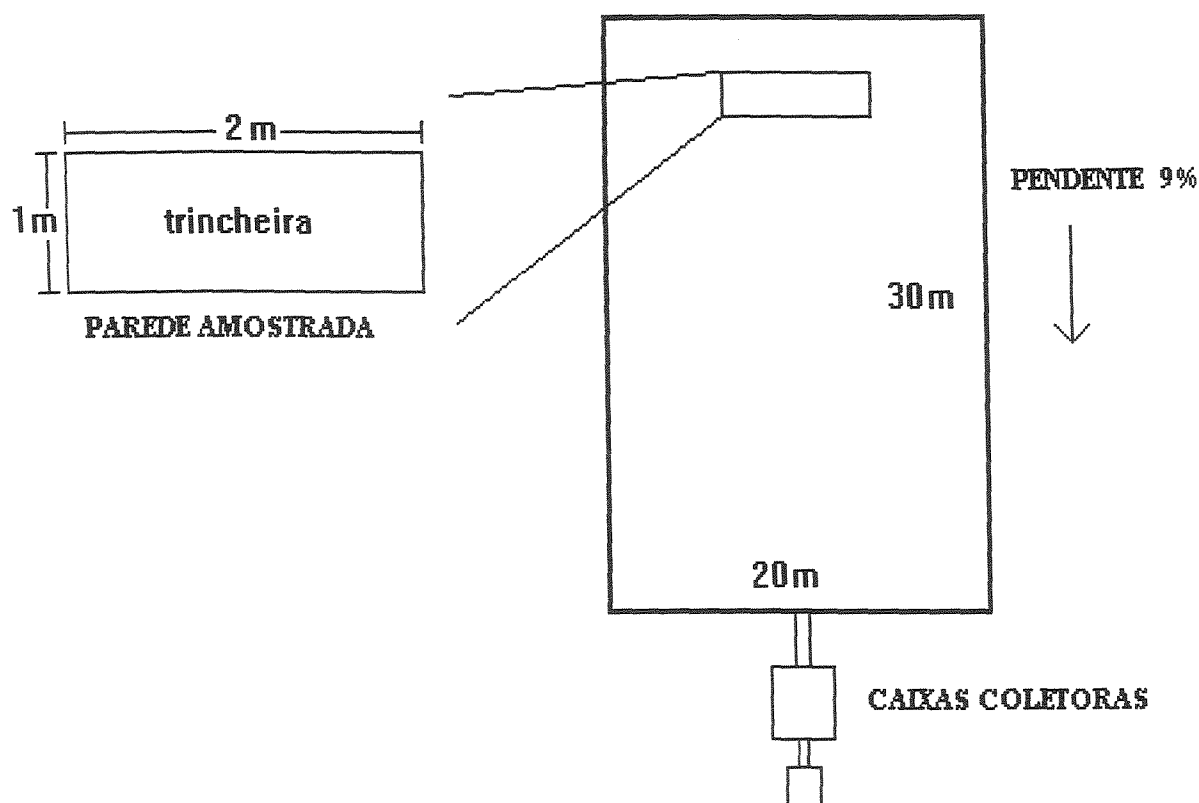


Figura 3. Esquema do talhão e localização da trincheira aberta para avaliação morfológica

Para condicionar cada talhão ao seu método de manejo, cada um deles vem sendo trabalhado respeitando o mesmo preparo e cultivo, sob oito distintos sistemas, os quais definem os seguintes tratamentos:

T1. Sistema Convencional com Grade Aradora: uma gradagem pesada a 20 cm de profundidade, com grade de 16 discos de 24" e uma outra gradagem pesada, seguida de uma gradagem de destorroamento/nivelamento na época de semeadura;

T2. Sistema Alternado de Equipamentos: primeiro ano com grade aradora; segundo ano com arado de discos; terceiro ano com arado de aivecas e quarto ano com escarificador. A alternância verificada a cada quatro anos determina um ciclo. As condições operacionais com cada equipamento são idênticas às dos demais tratamentos similares;

T3. Sistema Reduzido com Escarificador: para incorporação de inços foi utilizada uma grade aradora de dezesseis discos de 24", a 10 cm de profundidade. À época de semeadura, foi realizada a operação com escarificador de cinco hastes flexíveis a 30 cm de profundidade, seguida de uma gradagem leve de destorroamento/nivelamento;

T4. Sistema de Plantio Direto: para controle de ervas daninhas aplicou-se, antes da semeadura, 1,5 l/ha de Paraquat, procedendo-se a uma roçada dez dias após. A semeadura foi realizada com semeadora adubadora para sistema de plantio direto, sem que houvesse mobilização prévia do solo;

T5. Sistema Convencional com Arado de Discos: arado reversível de três discos de 26" com uma aração de incorporação a 20 cm de profundidade. À época de

semeadura, realizou-se uma segunda aração a 25 cm de profundidade, seguida de duas gradagens leves para destorroamento e nivelamento;

T6. Talhão Roçado sem Mobilização: esta parcela experimental foi utilizada como testemunha de área sem qualquer tipo de mobilização do solo, ou seja, sua vegetação espontânea, predominantemente capim-colonião, foi controlada por uma roçada inicial e posteriormente deixada em pousio durante todo o período;

T7. Talhão Mobilização "morro abaixo": esta parcela teve como objetivo servir de testemunha para possível erosão máxima causada pelo preparo de solo com arado reversível de três discos de 26", com aração no sentido da pendente, o mesmo ocorrendo com a aração e as gradagens de destorroamento e nivelamento prévias à semeadura;

T8. Sistema de Rotavação: o preparo do solo foi realizado com uma única operação de rotavação a 18 cm de profundidade, com uma enxada rotativa de rotor fixo, cuja operação promove a incorporação de inços, destorroamento e nivelamento.

O solo erodido de cada talhão foi armazenado nas caixas coletoras. Durante o período agrícola foram feitas três coletas de solo erodido correspondente a cada tratamento. Em cada coleta do material erodido foi descontado a umidade por meio da média de três amostras para obter o resultado final da quantidade de solo erodido.

4.3 Descrições morfológicas - macro e micromorfologia

Para as descrições macro e micromorfológicas foram abertas trincheiras em cada talhão, localizadas na sua parte superior e centralizada, com as dimensões de 2 x 1 m e 1,5 m de profundidade, conforme figura 3. Efetuou-se a descrição macromorfológica dos perfis com base no *Manual de Descrição e Coleta de*

Solo no Campo (LEMOS & SANTOS, 1984), com separações de horizontes e coletas de material para análise química, granulométrica, amostras indeformadas com anéis volumétricos e agregados de cada horizonte. Atenção especial foi dada à atividade biológica, quando da descrição dos perfis, no que se refere à mesofauna e cavidades encontradas.

Para a descrição micromorfológica, coletaram-se monolitos indeformados, em caixas de papel-cartão no tamanho de 12 x 8 cm e 4 cm de profundidade, em locais previamente estudados, com cuidado redobrado para com os horizontes nos quais os implementos mobilizam o solo e em relação àqueles que mostraram um máximo desenvolvimento radicular. Essas amostras foram secas ao ar, depois levadas à estufa, para secagem mais adequada e posterior impregnação a vácuo com resina T-208 Reforplas e monômero de estireno, na proporção 2:1, e quatro gotas de catalisador peróxido de metil-etilcetona (peroxol) para cada 500 ml de solução. Depois de secos, os monolitos foram seccionados, para confecção de lâminas delgadas a serem observadas em microscópio petrográfico (CASTRO, 1985). As interpretações da análise microscópica seguiram as recomendações de CASTRO⁽¹⁾. Além dos aspectos ligados à fase porosa do solo, relacionados aos aspectos de compactação, foram observadas feições ligadas à ação biológica, notadamente as presenças de pelotas fecais e/ou orais dos mesorganismos, com a finalidade de poder observar as alterações que os sistemas de preparo e manejo do solo oferecem à micro e mesofauna.

⁽¹⁾ CASTRO, S.S. (compilador) Micromorfologia de Solos - apostila mimeografada - Apoio IPT - CAPES/COFECUB p/ DG-USP (no prelo).

4.4 Determinações físicas e químicas

Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RSP) foi avaliada por perfil penetrográfico, utilizando-se um penetrógrafo de molas marca Soil Control, com haste de 0,6 m de comprimento e cone tipo B, segundo norma da ASAE S-313.

Com base nos perfis penetrográficos, expressos em kgf/cm^2 , e determinados por média aritmética de seis repetições de penetração, no sentido diagonal, em cada um dos talhões, obtiveram-se os valores de índice de cone a 0,0; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 e 0,60 m de profundidade. Concomitantemente, determinaram-se os valores de teores de água no solo às mesmas profundidades, com o objetivo de caracterizar o estado hídrico do solo no momento da avaliação de sua resistência à penetração.

A resistência do solo à penetração foi obtida sempre depois do preparo, para evidenciar se as variações de densidade que alguns preparos ocasionam podem influir significativamente nas perdas de solo.

Análise granulométrica

Para determinar os teores de areia, silte e argila em cada horizonte amostrado, utilizou-se o método da pipeta, de acordo com CAMARGO et al. (1986), com o uso de soda (NaOH) e calgon (hexametáfosfato de sódio) como dispersantes químicos, além de aparelho de agitação rotacional de Wiegner, com garrafas de Sthoman, por 16 horas.

Determinaram-se, também, as frações granulométricas do solo erodido, buscando-se visualizar a verificação da possível seleção que cada sistema de preparo proporciona ao material erodido.

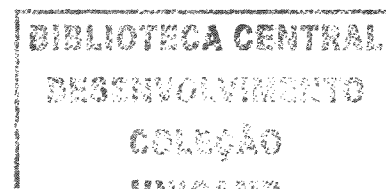
Estabilidade de agregados em água

Efetuuou-se a análise com base em amostras retiradas de cada horizonte, avaliando-se a estabilidade por meio do seu diâmetro médio ponderado (DMP), pelo método de porcentagem de agregados via úmida, segundo CAMARGO et al. (1986). Esse tipo de análise pressupõe que, mediante o umedecimento dos agregados, ocorra uma expansibilidade diferencial interna, o que provocará uma quebra nas regiões onde houver menor força de união das partículas do agregados.

Primeiramente as amostras foram passadas em peneiras de 6,35 - 2,00 mm, em seguida procedeu-se à pesagem de 20 g dos agregados que ficaram retidos, os quais foram então umedecidos. Depois de 5 minutos, essa nova amostra foi colocada para agitação em água em um conjunto de peneiras com tamanhos de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm, com uma movimentação vertical de 40 rpm, por um tempo de 30 minutos; logo após, os agregados foram retirados de cada peneira, colocados para secar em estufa a 105°C durante 24 horas e, posteriormente, pesados para cálculo de porcentagem. Por diferença, obteve-se o peso dos agregados que passaram pela peneira de 0,125 mm.

Densidade do solo, curva de retenção de água e porosidade (total, macro e micro)

Para realização dessas análises, utilizaram-se anéis volumétricos de 100 cm³, em três repetições para cada horizonte. Também foram repetidas as amostragens com os anéis à profundidade de 40 cm em outras duas áreas dos talhões, uma na parte central e outra na parte inferior, em três repetições para cada amostragem. A retirada até essa profundidade serviu para caracterizar a área de atuação dos implementos e de máximo desenvolvimento radicular para culturas anuais. Em todas as trincheiras, os anéis foram coletados sempre na mesma parede, no sentido da pendente (Figura 4).



Os anéis foram cravados com macaco hidráulico, para evitar, ao máximo, rupturas por pancadas. Depois de retirados, os anéis foram limpos, protegidos por tampas de alumínio e acondicionados para o transporte até o laboratório.

De posse dessas amostras, realizou-se a análise de retenção de água, cujos resultados permitiram calcular, além dos parâmetros de retenção de água, a porosidade total, macro e microporosidade e a densidade do solo. Essas análises foram realizadas no laboratório da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico (IAC).

O volume de poros totais (VPT), macro e microporosidade foram determinados pelo método direto, que consiste em utilizar os valores obtidos na curva de retenção de água para os cálculos.

Obteve-se o VPT considerando-se o valor de saturação, pois se presume que, quando a amostra está saturada, todos os seus poros foram preenchidos por água. A macroporosidade foi obtida pela diferença da umidade saturada e a umidade na pressão de 6 kPa e a microporosidade foi considerada como sendo a umidade obtida em 6 kPa.

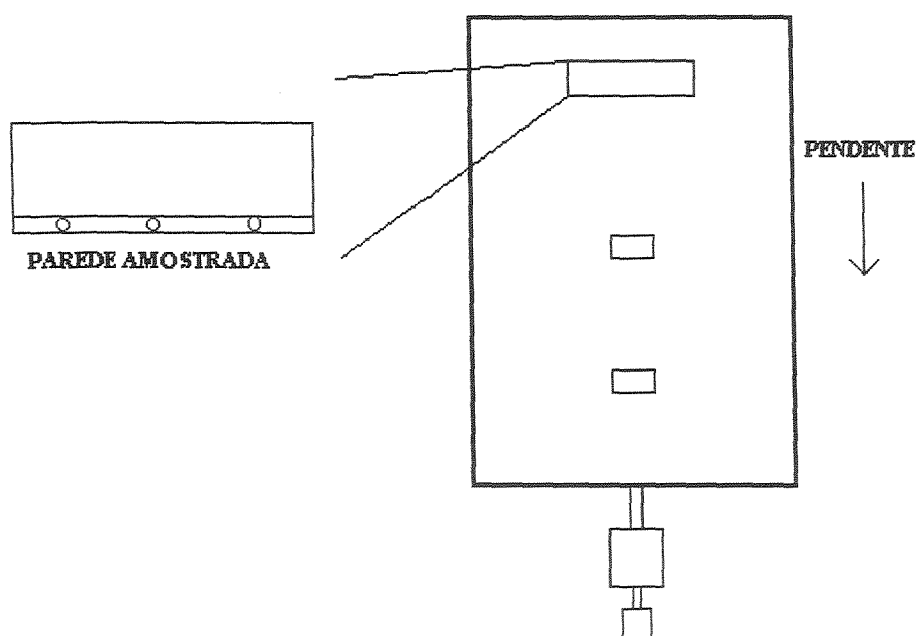


Figura 4. Esquema de amostragem para retirada dos anéis

Infiltração pelo método do anel duplo concêntrico

A determinação da taxa de infiltração foi adaptada mediante método do anel duplo concêntrico descrito por BERTRAND (1965). Esse método se baseia em dois anéis concêntricos de diâmetros diferentes que são enterrados a uma profundidade de 5 cm e alimentados com água em seus interiores, de forma a obter uma lâmina constante de água nos dois cilindros. A água do cilindro externo controla o movimento lateral da água do cilindro interno, sendo, por isso, importante manter sempre a mesma altura de lâmina nos dois cilindros. A altura de lâmina de água colocada nos cilindros foi de 6 cm.

O anel menor é alimentado por um reservatório que possui o mesmo diâmetro e, por isso, a leitura da taxa de infiltração feita na escala do reservatório é direta, fornecendo os milímetros de água infiltrada por unidade de tempo considerado.

$$\text{Infiltração (mm/min)} = L_2 - L_1 \text{ (mm)} / \text{tempo (min)}$$

onde: L_1 = leitura anterior da escala; L_2 = leitura atual da escala.

Obtiveram-se os valores de infiltração por meio de seis repetições em cada tratamento, considerando-se o valor médio. O tempo de infiltração foi de duas horas, sendo a distribuição do tempo para leitura da seguinte forma: nos primeiros minutos até completar cinco minutos, depois a cada cinco minutos até completar 30 minutos, duas leituras a cada 15 minutos acumulando um tempo de 60 minutos e duas leituras de a cada 30 minutos para perfazer um tempo total acumulado de 120 minutos. As épocas de leitura foram por volta de duas semanas depois de instalada a cultura.

Trabalhos preliminares mostraram que no solo trabalhado o tempo de duas horas já mostrava uma boa estabilização da infiltração com a tendência para cada tratamento, motivo este para ser utilizado o tempo de duas horas.

Análises químicas de rotina (complexo trocável do solo)

Procedeu-se às análises químicas em todos os horizontes amostrados, como também no solo erodido, para caracterizar os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio pelo método de extração com resina trocadora de íons. Determinaram-se, também, o teor de matéria orgânica via colorimétrica e o pH em cloreto de cálcio em água. Com base nesses resultados, calculou-se a saturação por bases (V%) e a capacidade de troca catiônica (CTC). Realizaram-se as análises, segundo RAIJ & QUAGGIO (1983).

As amostragens dos horizontes foram realizadas uma única vez como de costume quando se faz as descrições morfológicas. Para o solo erodido, quando era realizado a coleta do solo das caixas para determinar a quantidade de solo erodido, era coletado uma amostra desse material para determinar as quantidades de nutrientes e matéria orgânica perdidas. Esse processo foi repetido em todas as vezes em que o material erodido foi coletado.

Os resultados da análise química permitiram o cálculo da Taxa de Enriquecimento (TE) do material erodido, mediante a divisão da concentração do elemento no material erodido pela concentração do elemento no solo.

$$TE = C_E / C_S$$

onde:

C_E = Concentração do elemento no material erodido;

C_S = Concentração do elemento no solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Descrição macromorfológica

A descrição macromorfológica foi feita em cada tratamento como forma de se verificar alguma alteração visível em nível macroscópico. As características que mais chamaram a atenção foram aquelas ligadas à estrutura, consistência e atividades biológicas. A estrutura, por descrever a forma, tamanho e coesão dos agregados, foi a que mais se destacou.

As descrições macromorfológicas, análises granulométricas e químicas (rotina) para os diferentes tratamentos estão descritas nos quadros 1 e 2.

Para o horizonte Ap dos tratamentos convencionais: grade aradora (0-15 cm); arado de discos (0-10 cm) e enxada rotativa (0-18 cm), observou-se a predominância de material granular ou pequenos blocos geralmente sem muita coesão. Isso evidencia o efeito causado à estrutura do solo pelos implementos que provocam um revolvimento muito grande.

Nos tratamentos conservacionistas: sistema alternado (0-21 cm); escarificador (0-26 cm) e plantio direto (0-13 cm), verificou-se, nos dois primeiros, que a profundidade do horizonte Ap é maior, mostrando que a camada trabalhada pelos implementos é bem profunda; verificou-se, também, que nesses três sistemas de preparo,

a estruturação é mais desenvolvida, pois são encontrados blocos médios com uma coesão dos agregados de forma moderada.

No que se refere aos tratamentos testemunhas: roçado (0-13 cm) e arado de discos “morro abaixo” (0-16 cm), tem-se que para o primeiro ocorre uma estrutura onde são encontrados blocos grandes, médios e pequenos, que possuem uma coesão moderada, ou seja, uma estrutura com um desenvolvimento bom. O segundo tratamento, por sua vez, possui blocos de tamanhos médios e pequenos que se desfazem em granular, demonstrando, assim, a fragilidade desses agregados em relação ao talhão testemunha roçado.

Quanto ao horizonte Ap2, pôde-se encontrá-lo nos tratamentos grade aradora, arado de discos e plantio direto. Este horizonte coincide com a faixa da camada compactada para os tratamentos mencionados acima, onde são encontrados blocos grandes, médios e pequenos com um grau de coesão forte. A consistência é muito dura quando seco e firme quando úmido para o tratamento da grade aradora. Para os tratamentos arado de discos e plantio direto a consistência é dura quando seco e firme quando úmido.

Para o horizonte AB, os tratamentos sistema alternado, escarificador, arado de discos, arado de discos “morro abaixo” e enxada rotativa apresentaram blocos oscilando entre grandes, médios e pequenos com uma consistência muito dura a dura quando seco e muito firme a firme quando úmido. Pelo predomínio dessas características, fica evidenciado que se trata de ainda, ser uma camada com maior densidade, ou mais adensada.

Quanto aos horizontes inferiores, os tratamentos mostraram-se praticamente homogêneos nas suas características. Isso aconteceu por causa da diminuição dos efeitos dos implementos, cuja ação é praticamente nula nos horizontes Bw.

Quanto à atividade biológica da mesofauna, ela foi mais expressiva nos tratamentos plantio direto e roçado, nos quais se evidenciou a atividade de cupins, minhocas, formigas e outros organismos, por meio das muitas galerias e porosidades tubulares observadas. Nos tratamentos escarificador e enxada rotativa, também foi observada boa atividade biológica, principalmente de cupins, até os horizontes BA, depois dos quais foi reduzida a presença desses organismos.

Quadro 1. Análises granulométricas e químicas de rotina

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA %			pH	P	BASES TROCÁVEIS mmol/dm ³			Acidez Potencial H+Al mmol/dm ³	S (Ca+Mg+K) mmol/dm ³	CTC (S+H+Al) mmol/dm ³	V %	M.O. %
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE cm	ARGILA	SILTE	AREIA TOTAL	CaCl ₂	resina mg/dm ³	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺					
talhão 1 grade aradora														
Ap	0 - 15	55	10	35	5,3	79	52	19	9,2	38	80	118	68	4,4
Ap2	15 - 30	65	9	26	5,1	23	41	13	2,1	43	56	99	57	3,3
AB	30 - 40	65	7	28	5,2	04	24	10	1,5	28	36	64	56	1,5
BA	40 - 59	53	9	38	5,3	04	22	09	1,4	28	32	60	54	1,3
Bw1	59 - 92	64	7	29	5,3	02	22	07	0,7	28	30	58	51	1,3
Bw2	92 +	63	9	28	5,3	02	19	08	0,2	28	27	55	49	1,3
talhão 2 sistema alternado														
Ap	0 - 21	56	11	33	5,5	57	65	18	7,8	31	91	122	75	4,3
AB	21 - 41	57	9	34	5,5	10	49	13	4,5	28	67	94	70	2,6
BA	41 - 65	65	7	28	5,5	05	38	09	4,0	25	51	76	67	1,6
Bw1	65 - 85	62	7	31	5,5	05	38	08	3,4	25	45	74	66	1,6
Bw2	85 +	61	8	31	5,5	03	34	06	4,0	23	44	67	66	1,3
talhão 3 escarificador														
Ap	0 - 26	56	9	35	5,7	120	79	20	3,9	28	103	131	79	3,9
AB	26 - 51	61	8	31	5,9	38	51	12	2,2	20	66	85	77	1,6
BA	51 - 79	65	7	28	5,6	04	30	13	2,4	25	45	70	64	1,3
Bw1	79 - 95	63	8	29	5,2	03	23	07	2,5	28	33	61	54	0,9
Bw2	95 +	65	8	27	5,3	02	19	05	3,7	25	28	53	53	1,0
talhão 4 plantio direto														
Ap	0 - 13	54	10	36	5,5	55	59	20	7,9	31	87	118	74	3,5
A p2	13 - 28	62	09	29	5,4	21	53	13	3,1	34	69	103	67	3,0
AB	28 - 46	53	12	35	5,4	05	35	11	4,3	28	50	78	64	1,6
BA	46 - 74	64	04	32	5,3	03	31	10	1,8	31	43	74	58	1,5
Bw1	74 - 110	63	07	30	5,3	03	29	09	1,9	28	40	68	59	1,4
Bw2	110 +	61	07	32	5,2	03	18	05	2,3	28	25	53	47	1,1

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA			pH	P Resina Mg/dm ³	BASES TROCÁVEIS mmol/dm ³			Acidez Potencial H+Al mmol/dm ³	S (Ca+Mg+K) mmol/dm ³	CTC (S+H+Al) mmol/dm ³	V %	M.O. %
IMBOLO	PROFUNDIDADE cm	ARGILA	SILTE	AREIA TOTAL			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺					

Talhão 5 arado de discos

Ap	0 - 10	52	12	36	5,5	90	55	15	9,4	31	79	110	72	3,2
Ap2	10 - 18	56	7	37	5,5	15	46	12	2,5	31	61	92	66	2,7
AB	18 - 49	60	6	34	5,4	8	39	11	2,8	28	53	81	65	1,6
BA	49 - 70	65	3	32	5,2	5	28	08	2,0	31	38	69	55	1,3
Bw1	70 - 96	64	5	31	5,1	4	21	08	1,4	31	30	61	50	1,1
Bw2	96 +	59	5	36	5,3	3	19	08	1,7	28	29	57	51	0,9

talhão 6 roçado

Ap	0 - 13	55	9	36	5,0	6	31	13	4,5	38	49	87	56	3,2
AB	13 - 40	57	8	35	4,9	5	25	08	2,4	43	35	78	45	2,5
BA	40 - 61	63	5	32	5,0	3	19	09	0,3	34	28	62	45	1,3
Bw1	61 - 99	63	6	31	5,2	3	23	07	0,2	28	30	58	52	1,0
Bw2	99 +	62	5	33	5,4	3	23	05	0,1	23	28	51	55	0,8

Talhão 7 arado de discos "morro abaixo"

Ap	0 - 16	58	6	36	4,9	08	27	12	2,7	47	42	89	47	3,0
AB	16 - 42	63	6	31	4,5	03	14	08	0,2	47	22	69	32	1,4
BA	42 - 68	66	4	30	4,7	03	15	08	0,1	38	23	61	38	1,1
Bw1	68 - 105	61	5	34	4,9	03	14	05	0,1	31	19	50	38	1,0
Bw2	105 +	62	5	33	5,0	01	18	03	0,1	28	21	49	43	0,7

talhão 8 enxada rotativa

Ap	0 - 18	53	10	37	4,7	07	26	11	1,7	52	39	91	43	3,3
AB	18 - 48	63	7	30	4,8	02	22	10	0,6	38	33	71	46	2,0
BA	48 - 68	65	7	28	5,2	05	20	07	0,3	25	27	52	52	1,3
Bw1	68 - 105	65	4	31	5,1	03	19	08	0,6	28	28	56	50	1,3
Bw2	105 +	63	5	32	5,3	03	27	06	0,5	28	34	62	54	1,4

Quadro 2. Descrição macro-morfológica

HORIZONTE		TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA			TRANSIÇÃO	COR DO SOLO
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE cm			SECO	ÚMIDO	MOLHADO		ÚMIDO
Talhão 1 - GRADE ARADORA								
Ap	0 - 15	argilosa	composta granular, média, fraca e blocos pequenos, forte e firme	macia	friável	plástica e pegajosa	ondulada e clara	10R 3/2
Ap2	15 - 30	argilosa	blocos subangulares médios e pequenos, forte	muito dura	firme	plástica e pegajosa	ondulada e clara	10R 3/3
AB	30 - 40	argilosa	blocos subangulares médios que se desfazem em pequenos, moderada a fraca	ligeiramente dura	firme/friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
BA	40 - 59	argilosa	blocos subangulares pequenos que se desfazem em granular, fraca	ligeiramente dura	friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	59 - 92	argilosa	blocos pequenos que se desfazem em granular, fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/5
Bw2	92 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia/solta	muito friável	plástica e pegajosa		10R 3/6
Talhão 2 - SISTEMA ALTERNADO								
Ap	0 - 21	argilosa	composta granular, média, moderada a fraca e blocos médios a pequenos, moderada	dura	friável	plástica e pegajosa	ondulada e clara	10R 3/3
AB	21 - 41	argilosa	blocos subangulares grandes, médios e pequenos, forte	muito dura	firme a friável	plástica e pegajosa	ondulada e clara	10R 3/3
BA	41 - 65	argilosa	blocos grandes, médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada a fraca	ligeiramente dura	friável e muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	65 - 85	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/5
Bw2	85 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		10R 3/6
Talhão 3 - ESCARIFICADOR								
Ap	0 - 26	argilosa	composta blocos médios com predominância de pequenos que se desfazem em granular, moderada a fraca	macia	friável	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/3
AB	26 - 51	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular médios e pequeno, forte	muito dura	firme a friável	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/4
BA	51 - 79	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderadamente forte	dura	friável e muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	79 - 95	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada	ligeiramente dura	muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/5
Bw2	95 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		10R 3/6

HORIZONTE		TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA			TRANSIÇÃO	COR DO SOLO
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE cm			SECO	ÚMIDO	MOLHADO		ÚMIDO
Talhão 4 - PLANTIO DIRETO								
Ap	0 - 13	argilosa	composta blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, médio, moderada	dura	friável a firme	muito plástica e muito pegajosa	plana e clara	10R 3/2
Ap2	13 - 28	argilosa	blocos grandes, médios e pequenos, e alguns grãos forte	dura	firme	muito plástica e muito pegajosa	ondulada e clara	10R 3/3
AB	28 - 46	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular médio e moderada	ligeiramente dura a macio	firme a friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
BA	46 - 74	argilosa	blocos pequenos e médios que se desfazem em granular, moderada a fraca	ligeiramente macia	friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	74 - 110	argilosa	blocos pequenos e médios que se desfazem em granular, fraca	macia	muito friável	plásrica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/5
Bw2	110 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		10R 3/6
Talhão 5 - ARADO DE DISCOS								
Ap	0 - 10	argilosa	alguns blocos pequenos, granular, (massa revolvida), médio, fraca	solta	solta	plástica e pegajosa	plana e clara	2,5 YR 3/4
Ap2	10 - 18	argilosa	blocos grandes, médios e pequenos, moderado	dura	firme	plástica e pegajosa	ondulada e clara	10 R 3/4
AB	18 - 49	argilosa	blocos médios e pequenos com presença de alguns grãos, moderada a forte	muito dura	firme a muito firme	plástica e pegajosa	plana e gradual	10 R 3/4
BA	49 - 70	argilosa	blocos pequenos e médios que se desfazem em granular, moderada	ligeiramente dura	friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10 R 3/6
Bw1	70 - 96	argilosa	blocos pequenos que se desfazem em granular, fraca	macia	muito friável	plásrica e pegajosa	plana e gradual	2,5 YR 3/4
Bw2	96 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		2,5 YR 3/5
Talhão 6 - ROÇADO								
Ap	0 - 13	argilosa	composta blocos médios, pequenos e grandes que se desfazem em agregados e granular, moderada	dura	friável a firme	muito plástica e muito pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/3
AB	13 - 40	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada	dura	firme a friável	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/4
BA	40 - 61	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada	ligeiramente dura	friável a muito friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	61 - 99	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada a fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa	difusa	10R 3/5
Bw2	99 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		2,5 YR 3/6

HORIZONTE		TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA			TRANSIÇÃO	COR DO SOLO
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE cm			SECO	ÚMIDO	MOLHADO		ÚMIDO
Talhão 7 - ARADO DE DISCOS “MORRO ABAIXO”								
Ap	0 - 16	argilosa	composta blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada	dura	friável	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	2,5YR 3/4
AB	16 - 42	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular e agregados, moderada	dura	firme a friável	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10YR 3/4
BA	42 - 68	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em agregados pequenos e granular, moderada	ligeiramente dura	friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10YR 3/4
Bw1	68 - 105	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, fraca	ligeiramente dura	muito friável	plástica e pegajosa	difusa	2,5YR 3/5
Bw2	105 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		2,5YR 3/6
Talhão 8 - ENXADA ROTATIVA								
Ap	0 - 18	argilosa	composta de pequenos agregados e granular, fraca	solta	solta	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/3
AB	18 - 48	argilosa	blocos grandes, médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada a forte	dura	firme	plástica e pegajosa	ondulada e gradual	10R 3/4
BA	48 - 68	argilosa	blocos médios e pequenos que se desfazem em granular, moderada a forte	ligeiramente dura	friável	plástica e pegajosa	plana e gradual	10R 3/4
Bw1	68 - 105	argilosa	blocos pequenos que se desfaz em granular, fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa	difusa	10R 3/5
Bw2	105 +	argilosa	granular, pequena e fraca	macia	muito friável	plástica e pegajosa		10R 3/6

5.2 Resistência do solo à penetração e à infiltração

Para facilitar a análise dos resultados, os valores de resistência do solo à penetração foram apresentados em gráficos agrupados em conformidade com a denominação anteriormente utilizada, ao descrever as modalidades de sistemas de preparo: conservacionistas (plantio direto, escarificador e sistema alternado) e convencionais (arado de disco, grade aradora e enxada rotativa).

O efeito da compactação nas propriedades do solo tem sido estudado por diversos pesquisadores, ficando evidente que ela é acompanhada por um aumento na densidade do solo e, conseqüentemente, pela sua resistência mecânica (MORAES, 1994; LEBERT & HORN, 1991). O aumento da densidade do solo provoca redução da porosidade total, em especial dos macroporos (HILLEL, 1982; SMUCKEN & ERICKSON, 1989), fato este que será destacado mais adiante. Essas alterações nas características físicas irão resultar em menor taxa de infiltração de água no solo. Com base nos dados obtidos, (Quadro 3 e Figura 8), pode-se verificar, claramente, os baixos valores, após a estabilização da infiltração: 66, 84 e 102 mm/hora, para os tratamentos grade aradora, arado de disco e enxada rotativa respectivamente. Resultados semelhantes, em sistemas de preparo convencional, foram observados por DALLA ROSA (1981) e CINTRA (1983).

Pôde-se observar, por meio dos diversos tratamentos, que o atributo físico mais afetado por implementos agrícolas, especialmente em subsuperfície, foi a resistência do solo à penetração, que geralmente apresentou-se mais elevada diante os tratamentos de maior mobilização. Esses tratamentos, por terem ação cortante no solo, promovem uma camada subsuperficial compactada logo abaixo do implemento, deixando a parte superior bem desestruturada. Este fato pode ser observado na figura 5, onde os tratamentos mostram o resultado dos implementos de preparo do solo convencionais e que tem ação cortante no solo. Com o resultado, houve uma redução drástica quanto à porosidade, principalmente da macroporosidade, à infiltração de água e aeração, corroborando constatações de GAVANDE (1976).

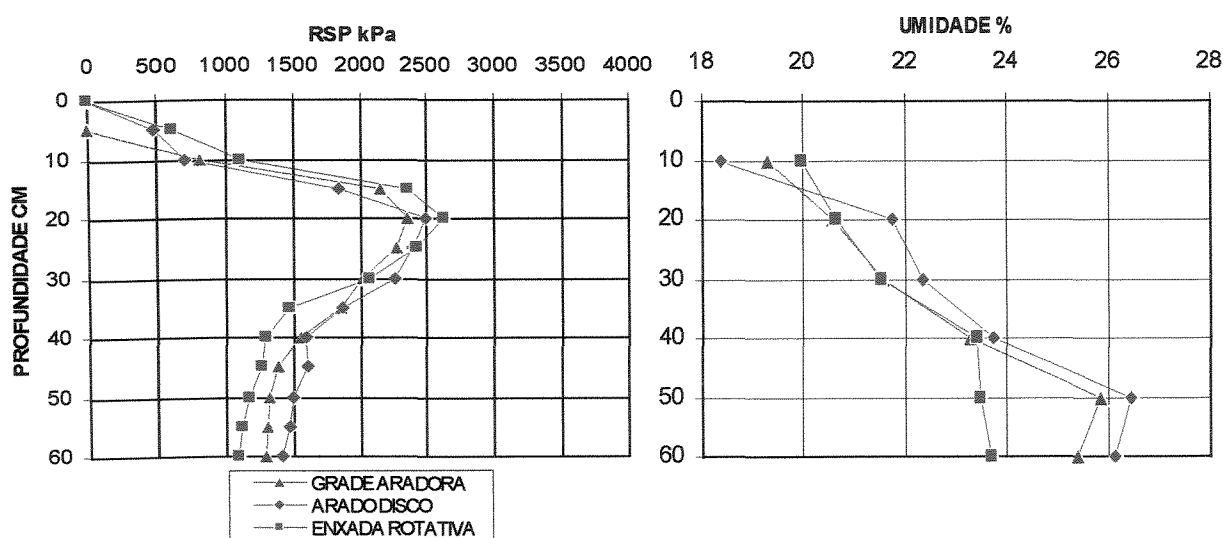


Figura 5. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos convencionais.

Observa-se, pela figura 5, que os valores de resistência do solo à penetração (e respectiva umidade) nos sistemas de preparo do solo convencionais evidenciam a formação de uma camada subsuperficial compactada, (acima de 20 começa

a ser prejudicial para o desenvolvimento radicular e infiltração de água), na faixa de 15 a 30 cm de profundidade para os diferentes implementos utilizados.

A figura 5 mostra que os implementos cujos órgãos ativos de preparo do solo possuem ação cizalhante, portanto não respeitam as áreas de fissuras naturais, impõem uma ruptura muito grande no perfil, ficando a área logo acima do implemento constituída por um material extremamente solto e poroso; logo abaixo, a estrutura fica adensada, por razões diversas: pelo implemento mal regulado, em virtude de trabalho em faixa de umidade não condizente facilitando um maior cisalhamento, em decorrência da ação do rodado do trator no sulco, ou, ainda, pela própria característica do implemento, que no seu desempenho provoca tal compactação.

Os tratamentos considerados conservacionistas apresentam uma curva de resistência à penetração mais suave (Figura 6). No plantio direto, a curva mostra valores maiores de resistência, como consequência da não mobilização do solo, e, com isso, maior estabilidade de sua estrutura, além do rodado, que causa uma compactação mais superficial. Esse relativo alto valor de resistência à penetração não deve ser interpretado pelo todo como decorrente de uma compactação do solo, o que levaria a uma infiltração correlativamente mais baixa; ao contrário, observando os dados do quadro 3 expresso no gráfico 8, percebe-se que o valor em que a infiltração se estabiliza é o terceiro mais alto, (468 mm/hora). A explicação reside no grande número de macroporos gerados, com sua capilaridade contínua; além disso, nesse tratamento, o solo revela uma elevada atividade da fauna e flora, criando pedotúbulos e galerias biológicas, conforme observações procedidas, o que vai facilitar uma maior infiltração de água no solo.

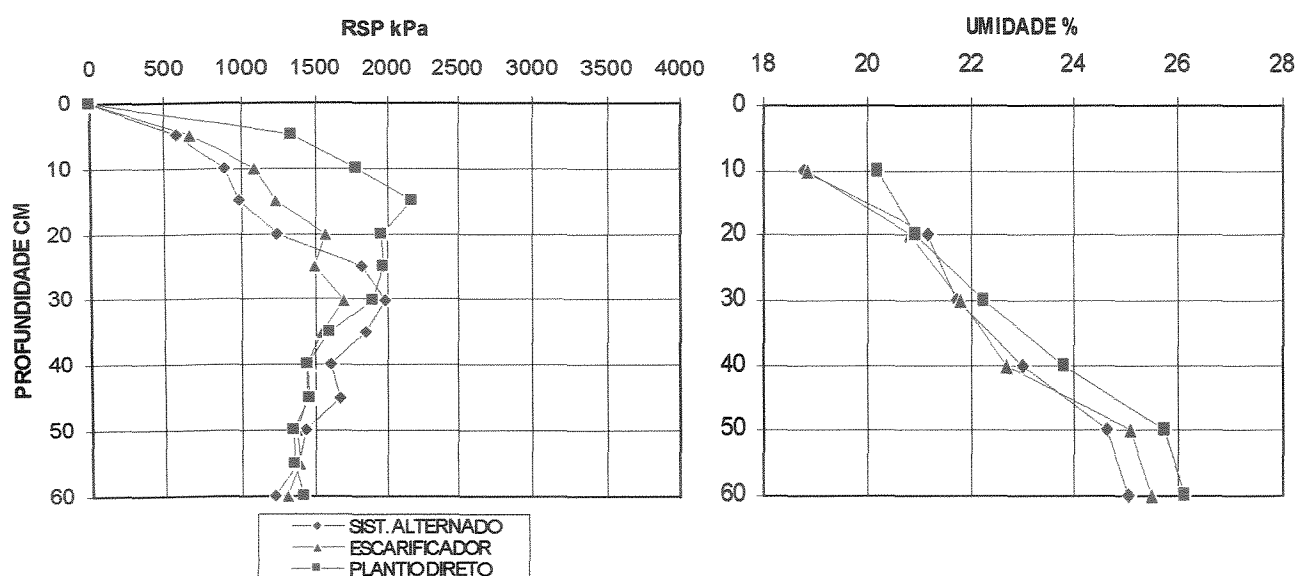


Figura 6. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos conservacionistas.

Em sistemas de plantio direto, têm-se verificado, por vezes, valores de densidade global um tanto elevados, acompanhados de macroporosidade menor, o que se contrapõe aos resultados da taxa de infiltração maiores nesse sistema, por comparação ao sistema convencional, no qual a superfície normalmente é menos adensada. Entretanto, sob efeito da chuva, a resistência do solo à desagregação é maior por seu elevado teor de matéria orgânica e o não revolvimento do solo, que aliada aos resíduos superficiais que dissipam a energia cinética das gotas ajudando a diminuir o escoamento superficial, desempenha papel fundamental na infiltração de água, sendo possível constatar que a taxa de infiltração é inversamente proporcional ao grau de mobilização do solo. Dados obtidos por ROTH & MEYER (1983) e DERPSCH et al. (1986) confirmam essa afirmativa.

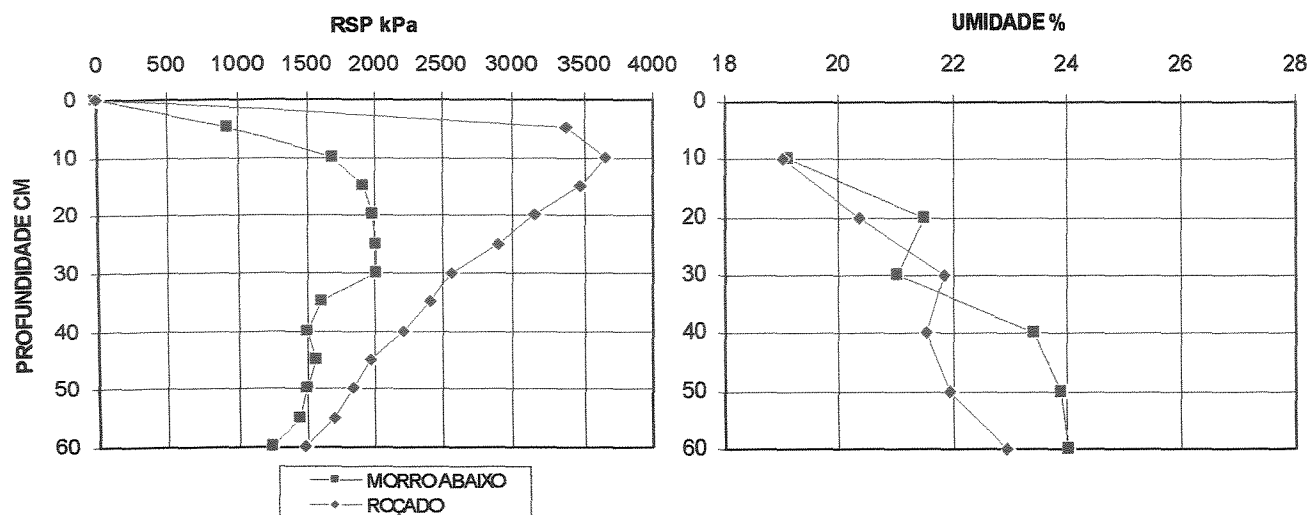


Figura 7. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos testemunhas.

Para os tratamentos testemunhas, os resultados de infiltração parecem não concordar com os de resistência do solo à penetração. Enquanto o resultado de RSP para o roçado é maior do que o do arado de disco “morro abaixo, a infiltração de água se mostra ao contrário. Tal fato se deve a uma compactação maior perto da superfície, em função do rodado do trator e por este talhão estar com gramíneas (colonião), portanto com enorme quantidade de raízes, conferindo boa estruturação ao solo, mostrando efeitos superiores aos das leguminosas. Pelos dados de infiltração e perdas de terra, chega-se à conclusão de que existe uma adequada estruturação deste solo, com grande quantidade de macroporos, o que não ocorre com o tratamento arado de disco “morro abaixo”, que, apesar de apresentar valores menores de resistência, possui a maior taxa de erosão e baixa infiltração.

Para a taxa de infiltração, verificou-se, que o aspecto mais importante para que houvesse uma maior quantidade de água infiltrada foi a pouca ou

nenhuma mobilização do solo junto com a quantidade de resíduos sobre o solo. Isto ocorre porque estes sistemas possibilitam um acréscimo de matéria orgânica, estabilizando os agregados e como consequência mantendo a estrutura capilar do solo mesmo depois de forte impacto da chuva. Já sistemas que mobilizam muito o solo, conseguem, na camada mobilizada, uma porosidade maior mas sem continuidade e resistência do solo à penetração menor em comparação com os tratamentos que não mobilizam o solo, (Figuras 5 e 6). Porém, quando das chuvas, essa estrutura por ser muito frágil, se altera rapidamente, resultando em uma diminuição muito elevada da taxa de infiltração ao longo do tempo, (Figura 8 e Quadro 3) proporcionando um maior escoamento superficial.

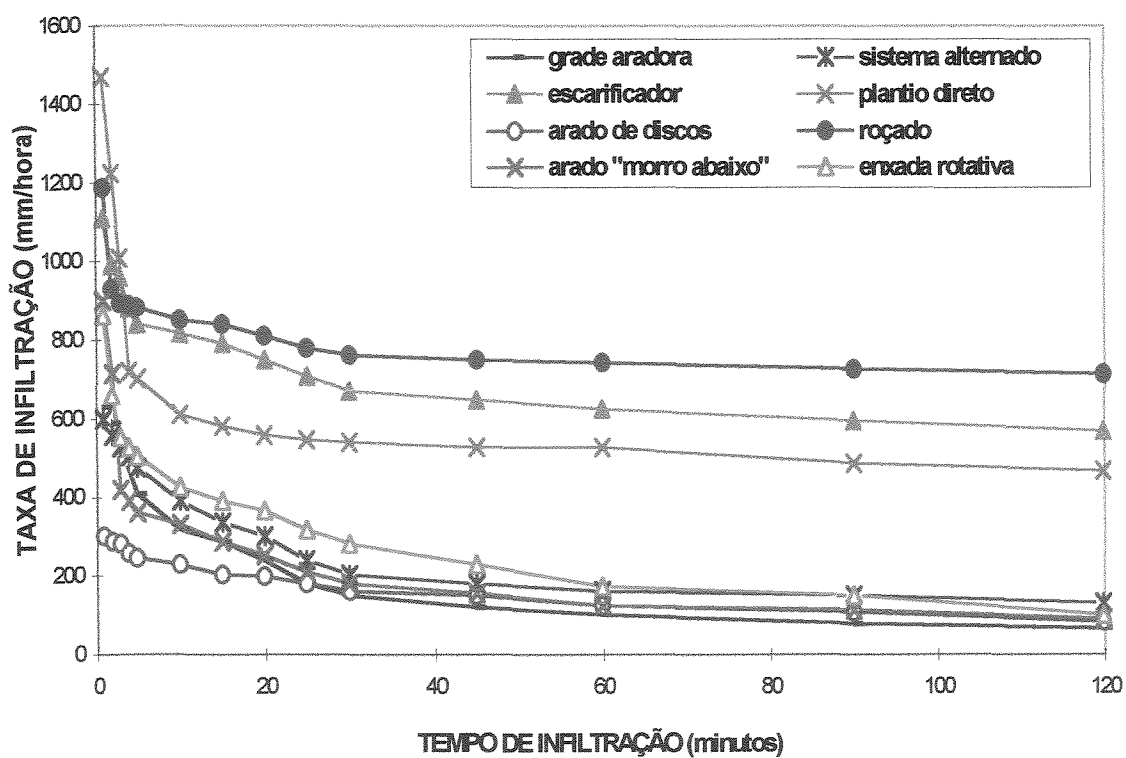


Figura 8. Taxa de infiltração (mm/hora) para os tratamentos.

Quadro 3. Valores médios de taxa de infiltração (mm/hora) para os tratamentos ⁽¹⁾

TEMPO	G.A.	S.ALT	ESC.	P.D.	A.D.	ROÇ.	A.D.ma	E.R.
min	mm/hora							
1	630	600	1.110	1.470	300	1.188	900	864
2	588	558	990	1.224	288	930	714	660
3	534	528	960	1.008	282	894	420	552
4	468	504	882	720	258	888	390	528
5	408	474	840	702	246	882	260	504
10	318	390	816	612	228	852	330	426
15	288	336	792	582	204	840	288	390
20	240	300	750	558	198	810	252	366
25	180	240	708	546	180	780	210	318
30	150	204	672	540	162	762	180	282
45	120	180	648	528	150	750	156	228
60	102	162	624	528	126	744	126	174
90	78	150	594	486	108	726	114	150
120	66	132	570	468	84	714	90	102

(¹) GA - grade aradora; S.ALT - sistema alternado; ESC - escarificador; PD - plantio direto; AD - arado de disco; ROÇ - roçado; AD.ma - arado de disco “morro abaixo”; ER - enxada rotativa.

5.3 Perdas de nutrientes (P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), matéria orgânica e terra

Solos explorados intensivamente por longos períodos e submetidos à excessiva mobilização da camada arável, além de desprovidos de cobertura nos períodos de chuvas altamente erosivas, acabam tornando-se física e quimicamente degradados, em diferentes graus de intensidade.

Os resultados de perda de terra (Quadro 4) mostram que os tratamentos que mobilizam e desestruturam o solo são aqueles que também provocam mais perdas. Já os tratamentos conservacionistas (escarificador, plantio direto e sistema alternado) revelam menores perdas, principalmente o plantio direto, que mostra valores próximos aos do talhão testemunha roçado, pois mobiliza menos o solo e mantém maior quantidade de resíduos na sua superfície. AMADO et al. (1990) também concluíram que,

das várias formas de manejo por eles experimentadas, as que mais reduziram as taxas de erosão hídrica foram as que mantiveram maior porcentagem de cobertura no solo.

Quadro 4. Quantidade de terra perdida nos anos agrícolas 90/91; 91/92; 92/93; 93/94; 94/95; 95/96 (média de seis anos)

TALHÃO	TRATAMENTO	SOLO ERODIDO kg/ha.ano
1	Grade Aradora	623,4
2	Sistema Alternado	585,3
3	Escarificador	525,6
4	Plantio Direto	121,3
5	Arado de Disco	606,8
6	Roçado	73,2
7	“Morro Abaixo”	4677,8
8	Enxada Rotativa	1475,8

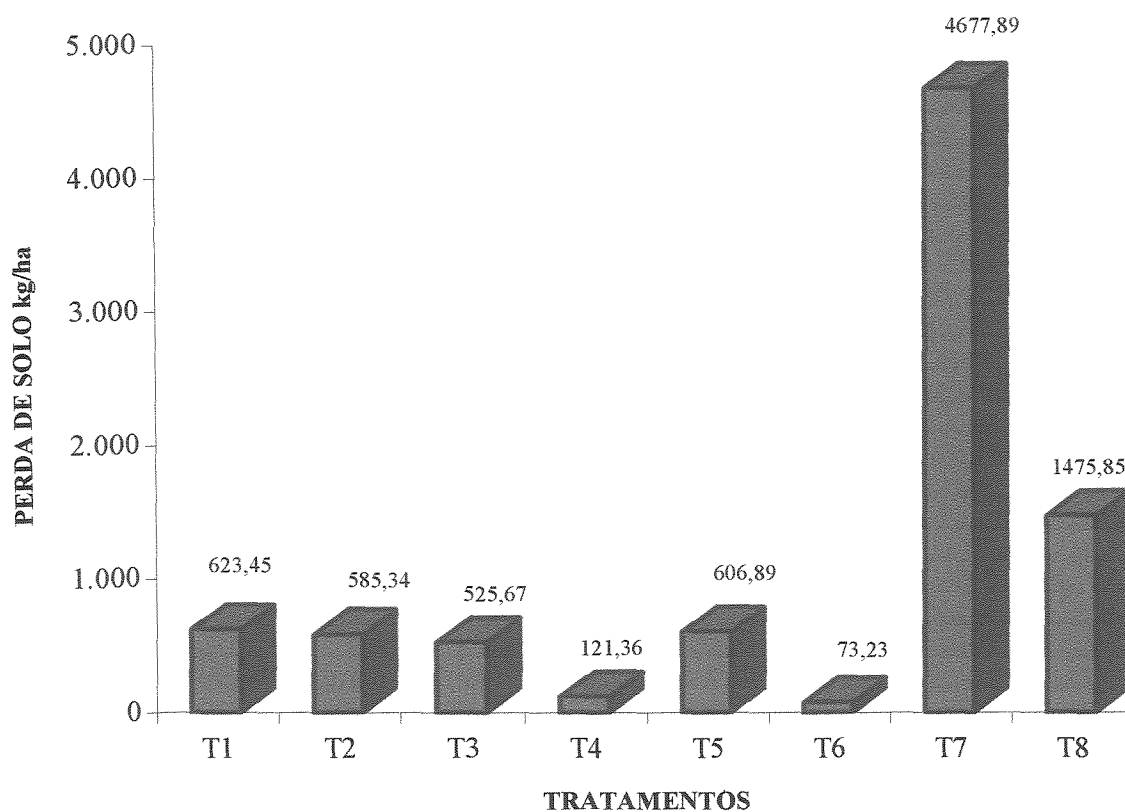


Figura 9. Perda de solo em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa (média de seis anos).

As perdas de solo, matéria orgânica e de P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ pela erosão hídrica revelam diferentes intensidades em função dos sistemas de preparo utilizado, como aliás, tem sido constatado em alguns trabalhos desenvolvidos na mesma direção (LOMBARDI NETO et al., 1980; entre outros).

Quadro 5. Perdas de matéria orgânica e nutrientes em função das perdas totais de solo por hectare de cada talhão

TRATAMENTO ⁽¹⁾	MATÉRIA ORGÂNICA	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			g/ha		
T1	31.276,41	56,18	101,13	1.817,02	431,26
T2	25.364,73	48,28	86,74	1.483,19	359,61
T3	25.845,44	36,92	85,57	1.412,27	268,39
T4	7.787,27	12,14	20,71	588,26	175,92
T5	27.714,64	36,58	66,59	2.218,79	579,08
T6	5.162,72	53,05	10,91	375,91	169,85
T7	164.505,80	58,93	277,73	4.481,44	1.126,28
T8	75.268,35	25,93	91,47	1.990,68	352,14

(1) T1-grade aradora; T2-sistema alternado; T3-escarificador; T4-plantio direto; T5-arado de disco; T6-roçado; T7-arado de disco "morro abaixo"; T8-enxada rotativa.

Observando-se os resultados do quadro 5, constata-se que todos os tratamentos provocam perdas de terra, o que vai acarretar também perdas de matéria orgânica e nutrientes. Esses resultados vêm ao encontro das observações de MUNN et al., (1973), para os quais a intensidade de perdas de matéria orgânica e de nutrientes é consequência das perdas de solo.

As maiores perdas de terra, matéria orgânica e nutrientes ocorreram no tratamento arado de disco "morro abaixo", confirmando a importância, já

bem conhecida, do cultivo em nível, que propicia menor velocidade de escoamento superficial e, com isso, menor arraste de partículas, LUCARELLI et al. (1996). Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), o simples cultivo em nível pode reduzir até em 50% as perdas de solo em relação ao cultivo morro abaixo, fato este comprovado pelos tratamentos T7 e T5, desenvolvidos, respectivamente, com arado de disco “morro abaixo” e com o mesmo implemento, porém em nível; as diferenças de perdas de matéria orgânica e nutrientes entre os dois tratamentos são muito elevadas (Quadro 5).

Outros tratamentos que mobilizam em excesso o solo, deixando pouca cobertura, também provocaram perdas sempre elevadas, principalmente de matéria orgânica. Entre esses tratamentos, a grade aradora (sistema convencional) mostrou o pior desempenho; com elevadas perdas tanto para terra, como matéria orgânica e nutrientes avaliados (Quadro 5). Os resultados negativos, em relação aos sistemas convencionais, podem ser explicados em função do alto grau de mobilização, desestruturação e formação de camadas subsuperficiais compactadas que tais sistemas promovem, o que vai proporcionar elevadas perdas de terra e água, ou, por consequência, de matéria orgânica e nutrientes, fato esse observado por VIEIRA et al. (1978), CHICHESTER & RICHARDSON (1992) e SEGANFREDO et al. (1997).

Um solo submetido a um sistema de preparo convencional tem a tendência de a cada ano agrícola sofrer um aumento crescente das perdas de matéria orgânica e nutrientes, uma vez que os fatores que levam ao processo erosivo tendem, igualmente, a acentuarem-se com o uso agrícola.

A taxa de concentração de nutrientes e a de enriquecimento do material erodido são apresentadas nos quadros 6 e 7; verifica-se que os tratamentos ditos

conservacionistas revelam valores mais elevados. Tal constatação é também referida por RESK (1981) e SEGANFREDO et al. (1997). Já DEDECEK et al. (1986), em experimento semelhante, não verificaram enriquecimento em nutrientes no sedimento em relação ao solo de origem.

No quadro 6, pode-se observar que para todos os tratamentos houve uma concentração maior de nutrientes e matéria orgânica no material erodido. Isso mostra que a erosão tem uma grande influência na taxa de fertilidade de um solo e o seu teor de matéria orgânica.

A elevada taxa de enriquecimento decorre da própria natureza dos sistemas ditos conservacionistas, pois o pouco de material que perdem é muito superficial, justamente onde a concentração em matéria orgânica e nutrientes é maior.

Observando-se os dados do quadro 7, verifica-se que todas as taxas de enriquecimento encontradas para matéria orgânica e nutrientes foram maiores do que 1, indicando que as concentrações de tais elementos no material erodido sempre foram maiores do que as existentes no solo original. Como todos os processos de erosão promovem uma seleção de materiais, no caso do solo há, preferencialmente, carregamento de partículas de tamanhos pequenos e de colóides, que são justamente os responsáveis pela maior adsorção de nutrientes.

Essas perdas seletivas são, em boa parte, as responsáveis pelo decréscimo na fertilidade do solo, e podem, ao longo dos anos, inviabilizar o cultivo com bases econômicas se não forem tomadas providências corretas.

Quadro 6. Concentração de nutrientes e de matéria orgânica no solo do talhão, 0-20cm (S) e no material erodido (E)

TRATAMENTO ⁽¹⁾	M. O.		P		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E
	g/kg						mg/kg			
Grade Aradora	27	50,17	45,13	90,12	124,45	162,21	778,76	2.914,45	139,78	691,73
Sist. Alternado	33	43,33	45,76	82,49	112,37	148,18	779,66	2.533,90	133,86	614,36
Escarificador	35	49,17	43,59	70,23	130,00	162,78	854,70	2.686,61	155,77	510,58
Plantio Direto	35	64,17	67,50	100,00	104,00	170,63	783,33	4.847,22	162,00	1.449,56
Arado de Disco	32	45,67	25,60	60,27	68,64	109,72	656,00	3.656,00	97,20	954,18
Roçado	36	70,50	84,60	72,44	78,00	149,00	400,00	5.133,33	112,15	2.319,40
A. D. m. abaixo	29	35,17	7,09	12,60	42,99	59,37	472,44	958,01	95,67	240,77
Enx. Rotativa	27	51,00	6,20	17,57	33,26	61,98	325,58	1.348,84	75,35	238,60

Quadro 7. Taxa de enriquecimento nos diferentes sistemas de preparo do solo

TRATAMENTOS	TAXA DE ENRIQUECIMENTO ⁽¹⁾				
	M.O.	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Grade Aradora	1,9	2,0	1,3	3,7	5,0
Sist. Alternado	1,3	1,8	1,3	3,3	4,6
Escarificador	1,4	1,6	1,3	3,1	3,3
Plantio Direto	1,8	1,5	1,6	6,2	8,9
Arado de Disco	1,4	2,4	1,6	5,6	9,8
Roçado	2,0	8,6	1,9	12,8	20,7
A. D. m. abaixo	1,2	1,8	1,4	10,0	2,5
Enx. Rotativa	1,9	2,8	1,9	3,8	3,2

(1) Taxa de Enriquecimento do material erodido = concentração do elemento no sedimento/concentração do elemento no solo original.

É interessante observar que, apesar da alta taxa de enriquecimento nos tratamentos conservacionistas, quando se considera o total de solo erodido, verifica-se que esses tratamentos são justamente os que revelaram menores perdas de matéria

orgânica e de nutrientes, ou seja, quanto maior for a erosão maiores serão as perdas destes elementos mesmo que o solo erodido esteja com baixos níveis de fertilidade.

Outro aspecto importante a se considerar, são os valores de perdas de nutrientes e matéria orgânica, que foram obtidos do solo erodido, não se considerando a enxurrada que possui um teor destes elementos maior que o solo.

5.4 Análise granulométrica do solo erodido

A análise granulométrica do material erodido foi realizada com o intuito de verificar o efeito de uma possível seleção de partículas do solo, por ocasião do arraste (deflúvio), em função dos sistemas de preparo.

Alguns autores afirmam que o conjunto das frações granulométricas que compõem o solo, definindo uma textura, constitui uma característica muito estável, sendo, pois, pouco sujeita a alterações causadas pelos sistemas de preparo e manejo, inclusive para a sua camada superficial (MEDINA, 1972 e BRADY, 1989).

Entretanto, em trabalhos mais recentes, alguns autores fazem referência a algumas variações nas proporções relativas das partículas do solo que estão na camada mais superficial, em decorrência de erosão hídrica e/ou eólica (MALTONI, 1988).

No quadro 8 os valores mostram que os tratamentos roçado, plantio direto e escarificador são os que menos perdem argila e quanto às perdas maiores, elas ocorrem na fração areia grossa. Esses tratamentos, por manterem maior quantidade de palhada na superfície e pela grande atividade biológica, deixam o solo

mais estruturado e, provavelmente, com menor quantidade de argila dispersa, podendo ser esta a razão para os valores encontrados serem menores, por comparação aos outros tratamentos.

Os tratamentos que mais revolvem o solo, como o arado “morro abaixo”, a enxada rotativa, a grade aradora, o arado de discos e o sistema alternado, que também revelam as maiores perdas de terra, são igualmente aqueles que provocam um carreamento maior da fração argila.

Quadro 6. Análise granulométrica do solo erodido

TRATAMENTOS	ARGILA	SILTE	SILTE GROSSO	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIA TOTAL
Grade Aradora	42	14	13	11	19	30
Sistema Alternado	45	14	7	13	22	35
Ecarificador	37	11	13	16	24	39
Plantio Direto	34	16	13	11	26	37
Arado de Discos	45	15	12	14	17	31
Roçado	31	14	18	9	32	41
Arado “morro abaixo”	54	11	12	10	13	23
Enxada Rotativa	54	14	13	7	13	20

O uso agrícola prolongado do solo, sob o mesmo sistema de preparo e manejo, pode levar a pensar que ao longo do tempo venha a ocorrer um aumento das frações mais grosseiras na superfície, em decorrência das contínuas perdas de materiais mais finos. Porém, atividades biológicas como as dos cupins e formigas podem favorecer o remonte de materiais de horizontes subsuperficiais para o topo (MIKLÓS, 1992).

AINA (1979) e SOUZA (1988) observaram aumento da fração areia na superfície de solo cultivado, em detrimento, principalmente, da fração argila, tendo atribuído esse efeito à erosão superficial e à eluviação de silte e argila.

Quando se comparam os valores granulométricos dos perfis de cada talhão, não se percebem diferenças entre os tratamentos, sendo os valores de argila, silte e areia semelhantes para todos eles.

CASTRO (1995), em trabalho realizado em Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e manejo, também não encontrou diferença na distribuição das frações granulométricas ao longo do perfil que pudesse caracterizar um possível efeito dos sistemas de preparo na distribuição das partículas do solo.

Talvez por serem experimentos realizados sobre um solo de textura argilosa, essas perdas de argila não sejam suficientes para modificar a textura em um curto espaço de cultivo. Em solos de textura média e arenosa, provavelmente essas perdas de argila pudessem ser maiores, mostrando um efeito mais rápido na diferenciação de camadas devido ao arraste das partículas mais finas.

Outra consequência importante da perda em maior quantidade da fração argila é que, por tratar-se de material mais fino, a turbidez e poluição são mais expressivas em sistemas que possuem tais perdas intensificadas.

5.5 Estabilidade e distribuição dos agregados

Os resultados do diâmetro médio ponderado (DMP) nos diferentes tratamentos e em cada horizonte passível de influência pela prática de manejo constam

do quadro 9. Percebe-se claramente que os tratamentos escarificador, plantio direto e roçado são aqueles que revelam melhor desempenho quanto à distribuição por tamanho de agregados, especialmente no horizonte Ap, que é o mais suscetível a alterações impostas pelo uso e manejo. O DMP desses horizontes foi igual ou superior a 2,50 mm, confirmando que o pouco revolvimento e a manutenção do resíduo podem influenciar a estabilidade da estrutura do solo, uma vez que a vegetação e os resíduos protegem os agregados do impacto das gotas de chuva e das variações bruscas de umidade, além do contínuo fornecimento de material orgânico, que atua na estabilização dos agregados, como bem acentua ALLISON (1973).

O melhor resultado alcançado pelo roçado deve ser atribuído, também, ao tipo de vegetação natural ali estabelecida, que propicia um raizame muito denso, além disso, é o único tratamento que possui cobertura vegetal o ano todo, o que vem a corroborar os resultados de TISDALL & OADES (1980) e CARPENEDO & MIELNICZUK (1990), que verificaram, ainda, que os solos com pastagem (cobertura constante) apresentam melhores condições de estabilidade de agregados do que aqueles sob cultivos convencionais.

Os sistemas que mobilizam muito o solo evidenciaram maior quantidade de agregados de tamanhos reduzidos, principalmente pela ação mecânica do implemento, conforme também comprovado por BEZERRA (1978) e ROTH & MEYER (1983).

Quando observados os DMP dos tratamentos grade aradora, arado de discos “morro abaixo” e enxada rotativa, verifica-se que eles apresentam valores menores nos horizontes Ap do que nos horizontes subjacentes, mostrando que o

efeito do implemento associado à pouca quantidade de restos vegetais faz com que o solo perca, de forma acentuada, a boa qualidade de sua estrutura, refletida pelo tamanho dos agregados.

Quadro 9. Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo⁽¹⁾

HORIZONTE	DMP							
	GA	S.ALT.	ESC.	P.D.	A.D.	ROÇ.	A.D.m.a.	Enx.Rot.
	mm							
Ap	1,16	1,59	2,50	2,50	2,11	2,72	1,50	1,25
Ap2	1,39	-	-	2,07	1,94	-	-	-
AB	0,95	1,72	1,85	1,70	1,93	1,98	1,63	1,54
BA	0,88	1,54	1,07	1,32	1,59	2,01	1,65	1,48

⁽¹⁾ GA-grade aradora; S.ALT.-sistema alternado; ESC-escarificador; P.D.-plantio direto; AD-arado de disco; ROÇ.-roçado; AD.ma-arado de disco “morro abaixo”; Enx.Rot.-enxada rotativa.

Para o tratamento arado de disco, tido como convencional e de grande mobilização do solo, os resultados foram acima do esperado para o DMP, talvez em função de ele ter como característica, depois do preparo, a formação de torrões grandes, que provavelmente tenham sido mantidos junto aos demais “destorroados”.

O plantio direto e o escarificador revelaram o melhor desempenho na estabilidade dos agregados, sendo os seus valores (2,50 mm para ambos, no horizonte Ap) próximos ao do sistema roçado, fato este também verificado por BEZERRA (1978), ELTZ et al. (1989) e CARPENEDO & MIELNICZUK (1990).

Quando analisado ao longo da profundidade, o DMP diminui, pois a atuação das raízes e a atividade biológica tornam-se menores. Os únicos sistemas nos quais o DMP é maior em profundidade são o arado de disco “morro abaixo” e a enxada

rotativa, uma vez que estes sistemas garantem um revolvimento maior do horizonte Ap e a estabilidade destes agregados é menor do que nos tratamentos restantes. Os dados numéricos do quadro 9, assim como os do quadro 10, são apresentados graficamente nas figuras 10 e 11 respectivamente, na tentativa de oferecer um modo mais rápido de visualização dos resultados, como um todo.

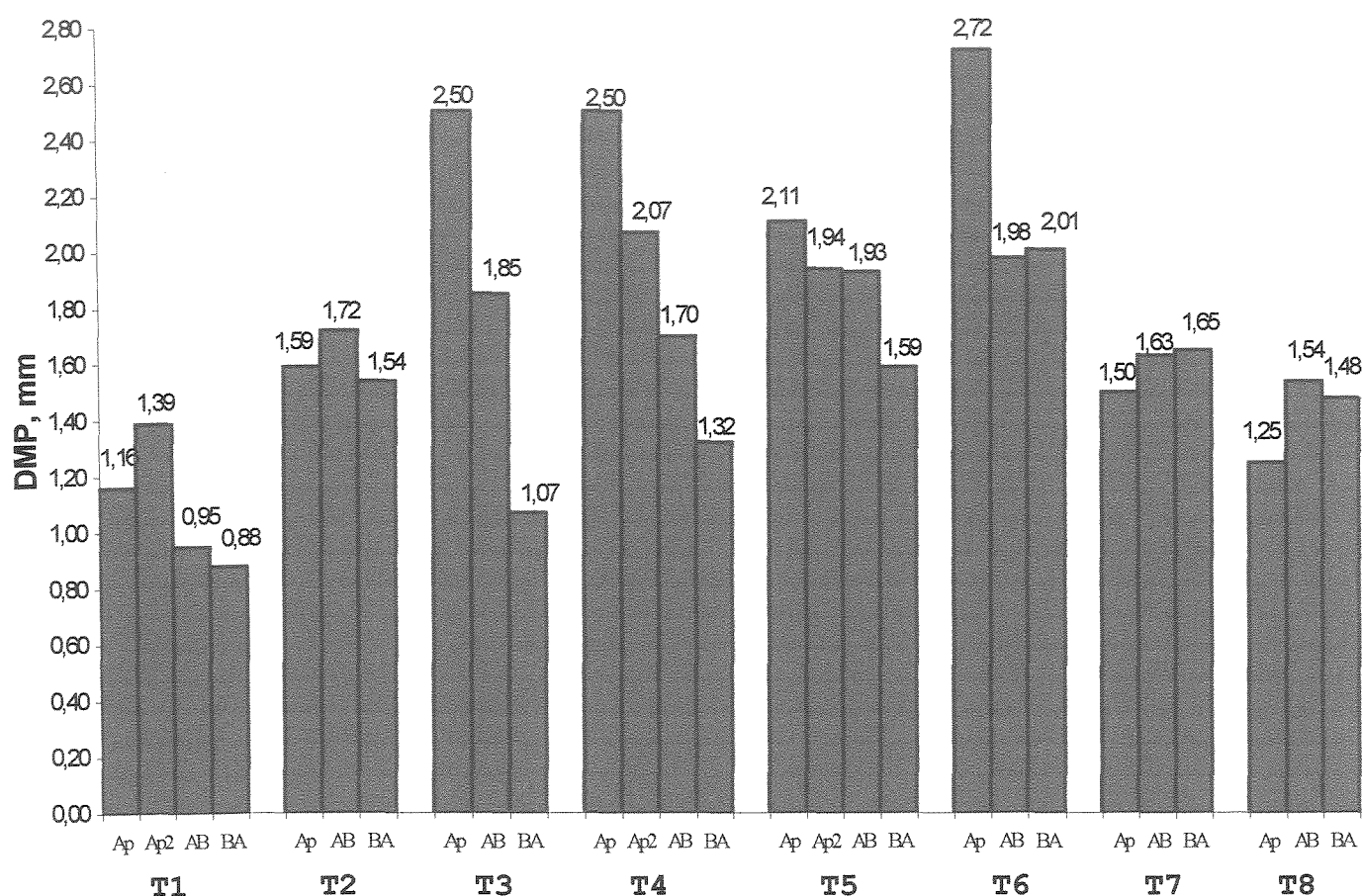


Figura 10. Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos horizontes que sofrem ação dos diferentes sistemas de preparo (T1: grade aradora; T2: sistema alternado; T3: escarificador; T4: plantio direto; T5: arado de disco; T6: roçado; T7: arado de disco “morro abaixo”; T8: enxada rotativa).

No quadro 10 são apresentadas as porcentagens de classes de agregados estáveis em água (por intervalos de tamanhos), nos tratamentos considerados. Constata-se que as melhores condições de estrutura ocorrem, realmente, nos talhões escarificador, plantio direto e roçado, os quais refletem maiores valores de agregados de maiores tamanhos, o que está em concordância com as observações de e TISDALL & OADES (1980) e CARPENEDO & MIELNICZUK (1990).

O quadro 10 e a figura 11 são importantes, porque mostram que os tratamentos mencionados acima possuem uma estruturação maior no horizonte Ap, com quantidades maiores de agregados de maior tamanho, e isso faz com que outras características físicas determinadas neste trabalho apontem, invariavelmente, melhores resultados para estes tratamentos.

Quadro 10. Distribuição (%) nas classes (mm) dos agregados estáveis em água

TALHÕES	HORIZONTES	% dos agregados estáveis em água nas classes					
		>2,00 mm	2,00-1,00 mm	1,00-0,50 mm	0,50-0,25 mm	0,25-0,105 mm	<0,105 mm
T1 Grade Aradora	Ap	12,1	26,6	24,8	12,1	10,8	13,6
	Ap2	18,1	28,0	19,4	12,7	6,3	15,5
	AB	9,1	17,7	28,9	15,4	13,5	15,5
	BA	8,5	16,1	25,7	15,3	13,5	20,0
T2 Sistema Alternado	Ap	24,6	30,4	5,2	10,7	5,7	23,4
	AB	25,8	29,5	19,2	10,9	5,1	9,4
	BA	20,7	28,2	25,3	11,3	8,4	6,0
T3 Escarificador	Ap	50,0	17,9	13,2	9,0	5,7	4,2
	AB	28,8	29,2	20,9	8,1	7,7	5,3
	BA	10,5	23,0	25,7	17,5	7,8	15,5
T4 Plantio direto	Ap	48,2	23,3	14,6	4,7	4,0	5,3
	Ap2	36,3	24,7	17,8	10,0	3,8	7,7
	AB	24,0	31,0	23,1	9,8	8,5	3,7
	BA	19,4	16,9	22,1	18,8	7,4	15,4
T5 Arado de Disco	Ap	36,1	28,1	17,5	10,8	5,2	2,3
	Ap2	34,0	25,1	12,8	7,8	6,0	14,3
	AB	32,9	24,3	17,7	11,1	4,7	9,3
	BA	24,9	21,3	21,8	9,2	10,6	12,2
T6 Roçado	Ap	57,5	14,6	9,7	5,4	3,0	9,8
	AB	34,9	22,3	17,8	8,6	7,3	9,0
	BA	38,4	14,9	15,3	14,3	6,2	10,9
T7 Arado Disco “morro abaixo”	Ap	23,9	19,7	16,2	14,3	12,4	13,4
	AB	26,7	20,8	17,3	10,3	13,2	11,6
	BA	27,1	22,1	16,5	10,6	6,1	17,6
T8 Enxada Rotativa	Ap	17,5	22,8	13,2	10,9	10,5	25,1
	AB	24,5	22,5	15,2	7,9	13,6	16,2
	BA	23,0	18,8	21,3	12,5	11,2	13,1

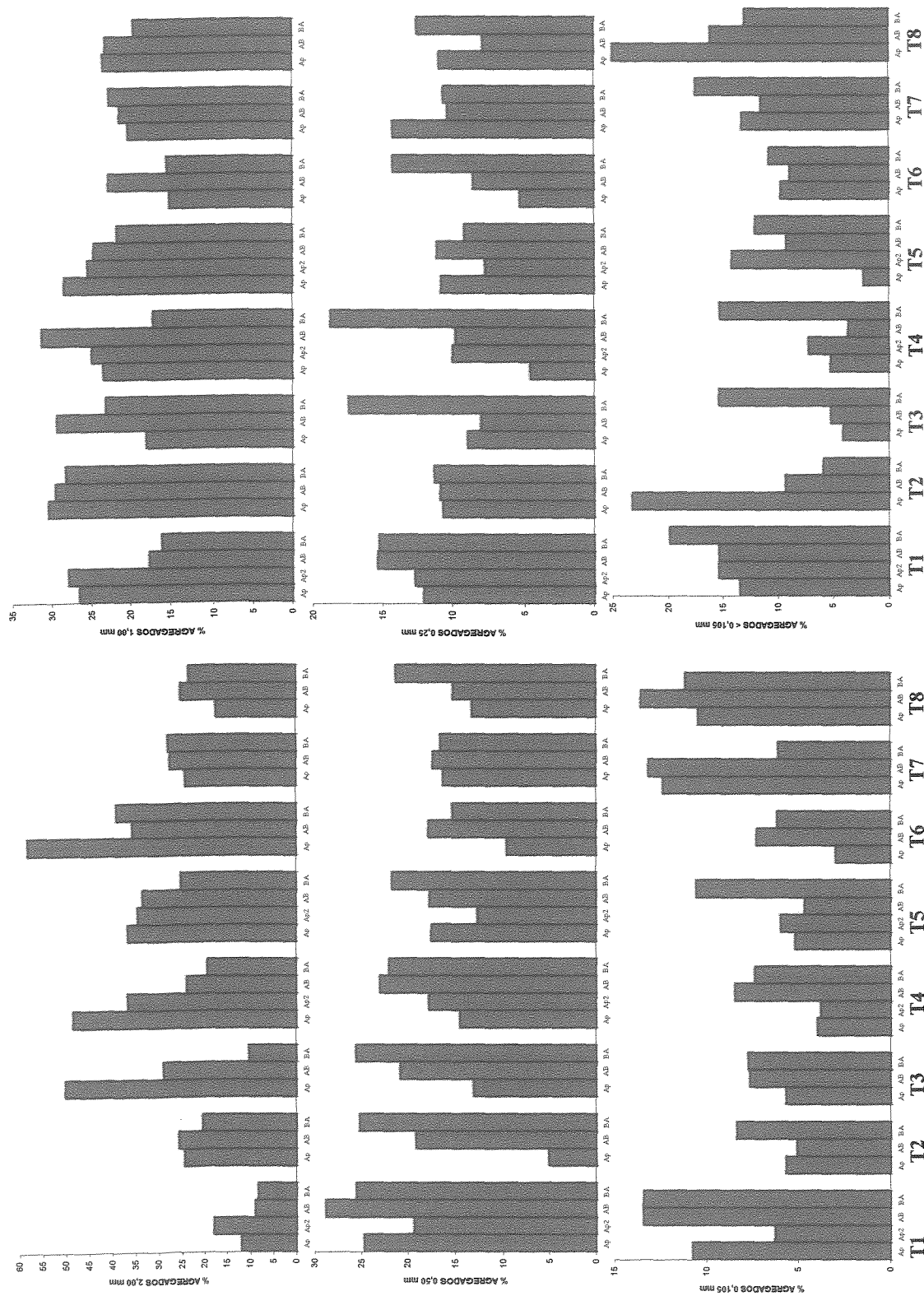


Figura 11. Distribuição (%) dos agregados estáveis em água nas suas respectivas classes em T1 - grade aradora, T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de disco “morro abaixo”; T8 - enxada rotativa.

5.6 Densidade, porosidade e retenção de água

Na figura 12 são representadas as umidades obtidas até a pressão de 300 kPa para o perfil do solo nos tratamentos estudados.

Os gráficos mostram que o tratamento escarificador foi o que melhor se apresentou. A amplitude da umidade no horizonte Ap demonstra que há um equilíbrio da macro e microporosidade ao longo do perfil, não se verificando nenhum estreitamento da faixa de umidade ao longo do perfil.

Esses dados estão de acordo com a densidade obtida, que mostra o tratamento escarificador com valores variando de 1,17 a 1,28 mg/mg³ (Figura 13). O próprio VPT (macro e microporosidade) demonstra uma variação muito pequena ao longo do perfil (Quadro 11). Esses dados estão de acordo com os obtidos por SARVASI (1994) e CASTRO (1995), para o solo preparado com escarificador com maior macroporosidade e retenção de água comparado com os sistemas convencionais e plantio direto nas tensões até 2 kPa.

Quando a tensão foi elevada até 100 kPa, faixa esta em que predomina a ação dos meso e microporos e segundo CASTRO (1995) pode-se considerar como dentro da faixa ótima de água disponível para as plantas, o escarificador passou a reter menor volume de água do que os outros tratamentos, na faixa de 10 a 30 cm de profundidade.

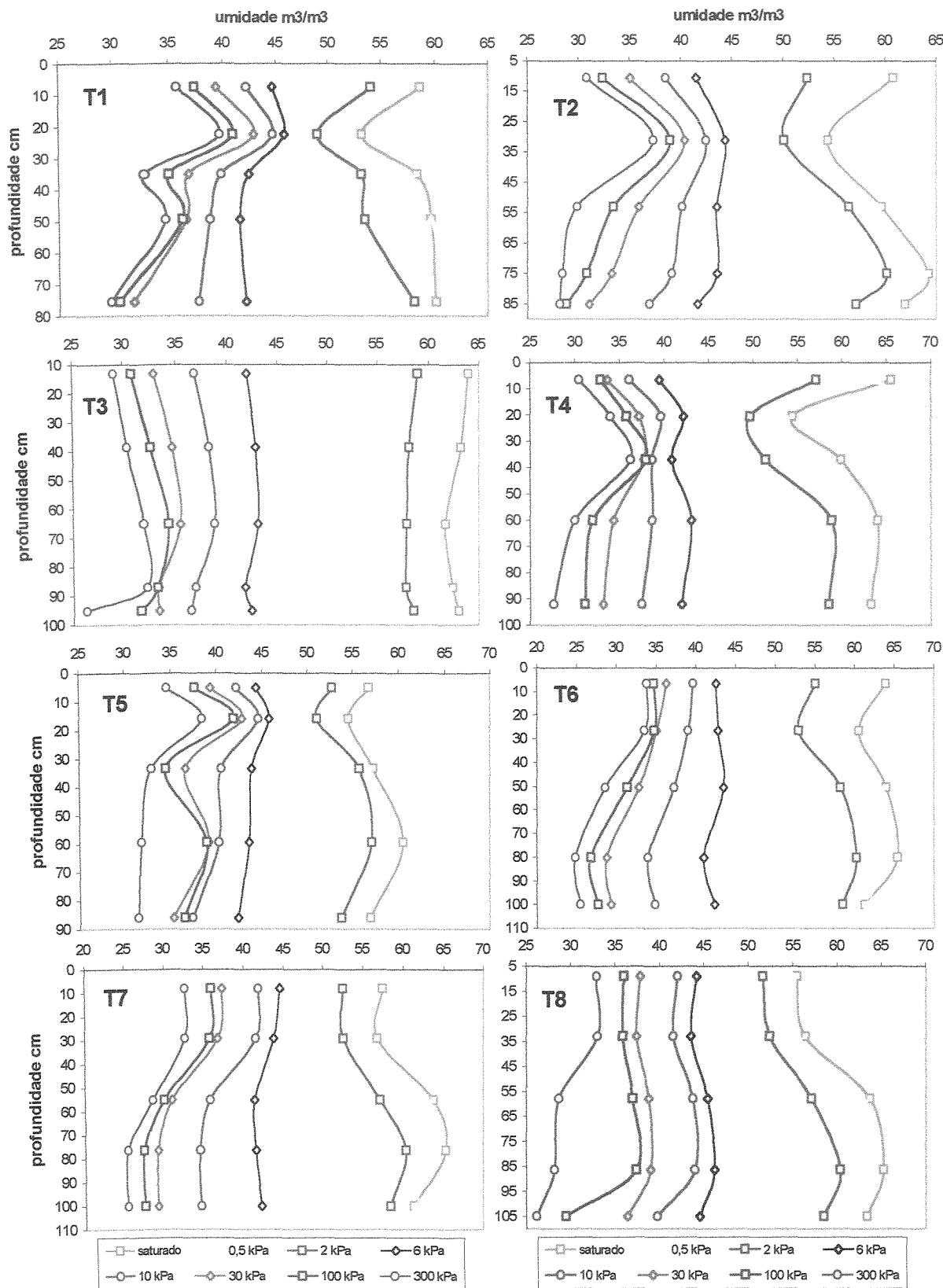


Figura 12. Retenção de água sob diferentes pressões no perfil do solo em T1 - grade aradora; T2 - sistema alternado; T3 - escarificador; T4 - plantio direto; T5 - arado de disco; T6 - roçado; T7 - arado de discos “morro abaixo” e T8 - enxada rotativa.

Quadro 11. Distribuição da VPT (macro e microporosidade) ao longo do perfil nos tratamentos

TALHÕES	HORIZONTES	VPT	Macro	Micro
			%	
T1 Grade Aradora	Ap	58,82	14,14	44,68
	Ap2	53,35	7,50	45,86
	AB	58,56	16,09	42,47
	BA	59,84	18,17	41,67
	Bw1	60,23	17,98	42,25
T2 Sistema Alternado	Ap	60,90	19,41	41,48
	AB	54,44	10,12	44,32
	BA	59,75	16,25	43,50
	Bw1	64,35	20,80	43,55
	Bw2	62,00	20,40	41,60
T3 Escarificador	Ap	64,05	22,05	42,00
	AB	63,30	20,45	42,85
	BA	61,75	18,65	43,10
	Bw1	62,50	20,65	41,85
	Bw2	63,10	20,60	42,50
T4 Plantio direto	Ap	65,70	26,20	39,50
	Ap2	54,50	12,30	42,20
	AB	60,00	19,10	40,90
	BA	64,15	21,05	43,10
	Bw1	63,40	21,40	42,00
T5 Arado de Disco	Ap	56,93	12,56	44,37
	Ap2	54,67	8,89	45,78
	AB	57,38	13,53	43,85
	BA	60,65	17,05	43,60
	Bw1	57,10	14,70	42,40
T6 Roçado	Ap	64,10	21,55	42,55
	AB	60,50	17,85	42,80
	BA	64,15	20,65	43,50
	Bw1	65,55	24,55	41,00
	Bw2	61,45	19,10	42,35
T7 Arado Disco “morro abaixo”	Ap	57,63	13,02	44,61
	AB	56,92	13,09	43,83
	BA	63,85	22,40	41,45
	Bw1	65,40	23,75	41,65
	Bw2	61,45	19,10	42,35
T8 Enxada Rotativa	Ap	55,53	11,34	44,19
	AB	56,52	12,92	43,60
	BA	63,85	18,40	45,45
	Bw1	65,40	19,17	46,23
	Bw2	63,52	18,96	44,56

Há que se lembrar que a porosidade predominante até 6 kPa é a de macroporos e os tratamentos escarificador, plantio direto e roçado são os que apresentam os maiores valores: 22,05%, 26,0% e 21,55% respectivamente, para o horizonte Ap. Tais tratamentos são os que mais retêm água para essas pressões e refletem maior capacidade de infiltração de água. Quando é analisado os resultados na Figura 12, percebe-se que os pontos de saturação, 0,5 KPa e 2 KPa formam um grupo com distribuição bem distinta em relação as outras pressões, mostrando que a macroporosidade pode estar entre o valor de 2 e 6 KPa.

Porém, quando se comparam os dados de densidade (Quadro 12), verifica-se que não existem diferenças amplas entre todos os tratamentos no horizonte Ap.

Quadro 12. Valores da densidade (mg/m^3) dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo

HORIZONTE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	G. Aradora	S. Alternado	Escarificador	P. Direto	A. de Disco	Roçado	A. M. Abaixo	E. Rotativa
	mg/m^3							
Ap	1,13	1,18	1,17	1,20	1,25	1,30	1,27	1,06
Ap2	1,52	-	-	1,43	1,35	-	-	-
AB	1,34	1,52	1,28	1,30	1,18	1,34	1,23	1,29
BA	1,28	1,33	1,21	1,25	1,19	1,27	1,16	1,13
Bw1	1,17	1,20	1,17	1,17	1,10	1,14	1,12	1,10

Para a faixa considerada como ótima de água disponível para as plantas, que geralmente é até 100 kPa, os tratamentos mostram comportamentos

bastante distintos. O grade aradora, sistema alternado e arado de disco, revelam um “acinturamento” nas curvas de retenção, ao longo da profundidade (Figura 12). Isso demonstra que nessa área há redução dos macroporos e aumento dos meso e microporos (Quadro 11), sendo maior, pois, a quantidade de água retida até 100 kPa. A diminuição da amplitude de retenção de umidade nestas profundidades pode ser um indício da existência de camadas compactadas ou em via de. Os resultados de densidade nessa zona de acinturamento revelam valores elevados para esses tratamentos (Figura 13).

O plantio direto mostra uma curva mais suave, comparada a dos tratamentos anteriormente comentados. Tal fato ocorre em função de esse tratamento estruturar bem o solo, que sofre certa compactação devido ao rodado do trator, conforme indica o valor da densidade do solo ($1,43 \text{ mg/mg}^3$). Apesar disso, esse preparo proporciona boa porcentagem de macroporos (12,30).

Os tratamentos T7 arado de discos “morro abaixo” e T8 roçado possuem as mesmas tendências para as curvas de retenção de água. Os dois tratamentos, para tensões até 6 kPa (macroporos), retêm menos água até a profundidade do horizonte AB. Quando comparados com as tensões até 100 kPa, ocorre o inverso, ou seja, uma diminuição na retenção de água após o horizonte AB. Isso demonstra que tais tratamentos propiciam meso e microporosidade maiores nos horizontes superficiais. Já na região onde o implemento não atua, há um valor maior de macroporosidade, como corroboram os dados de porosidade (Quadro 11).

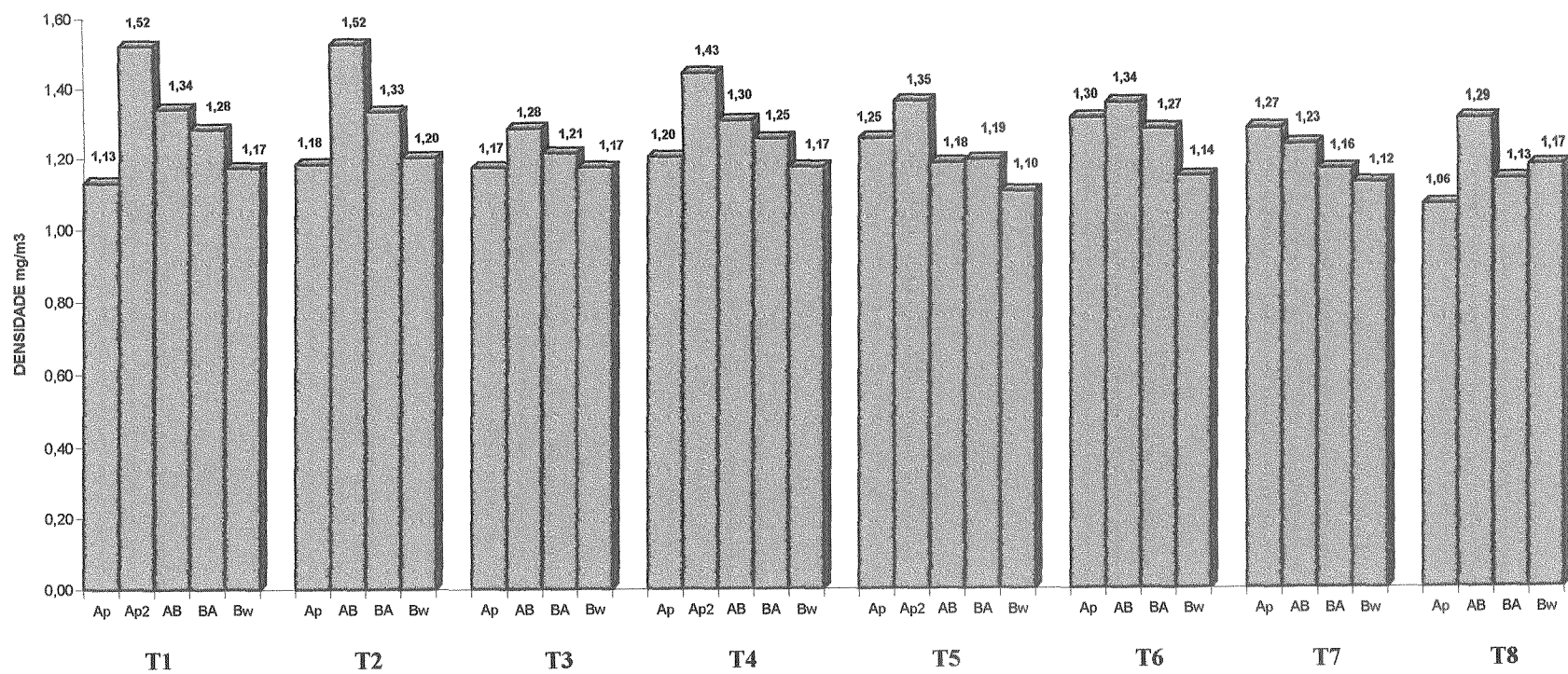


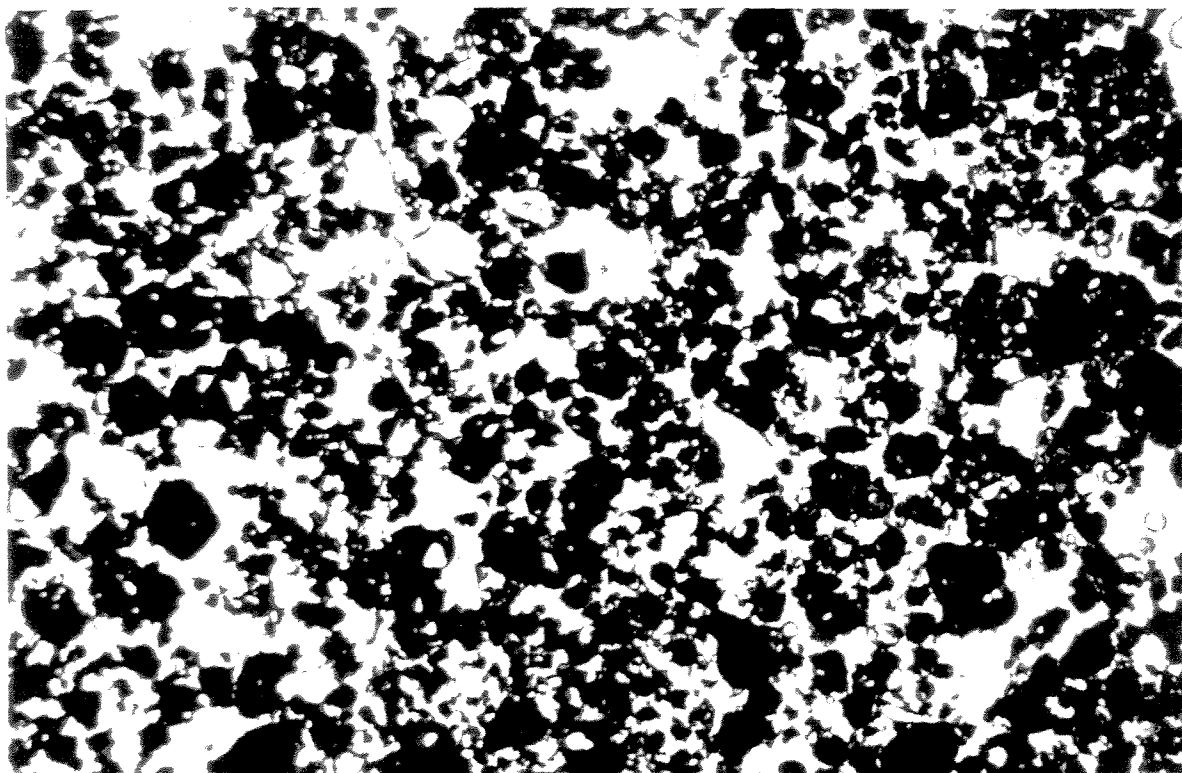
Figura 13. Densidade do solo mg/m^3 para os horizontes nos diversos tratamentos em T1 - grade aradora, T2 - sistema alternado, T3 - escarificador, 4 - plantio direto, T5 - arado de disco, T6 - roçado, T7 - arado de disco “morro abaixo” e T8 - Enxada rotativa.

5.7 Micromorfologia

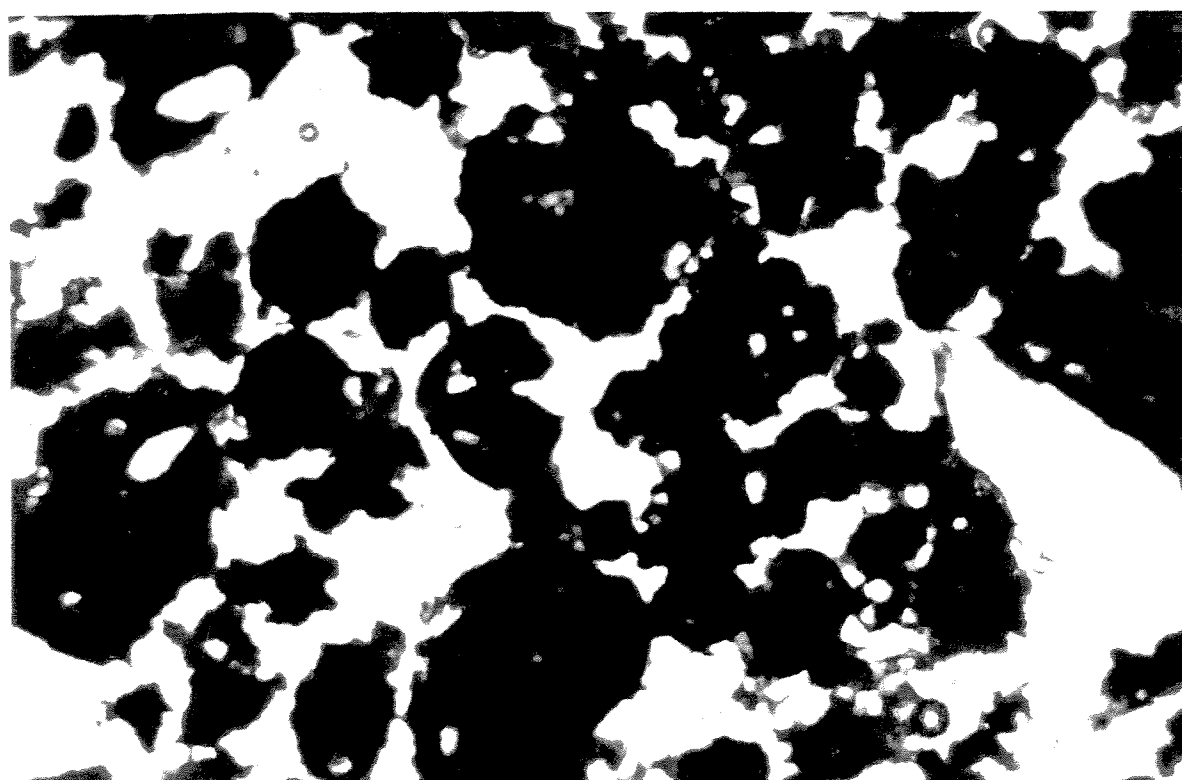
A visualização da estrutura do solo no campo, em nível macroscópico, possibilita a verificação de certas alterações impostas ao solo pelos sistemas de preparo. Para as alterações em escala milimétrica e micrométrica, é necessária a utilização de aparelhos microscópicos, ou de lupas, para melhor visualização dos constituintes e da estrutura.

A organização dos constituintes do solo, que vai resultar na sua porosidade, varia de acordo com os tipos de solos. A porosidade também pode ser modificada pela ação antrópica, que no caso estudado é o preparo do solo.

A figura 14 apresenta uma fotografia do solo em estudo (Latossolo Roxo) sob cultivo, a aproximadamente 80 cm de profundidade, o que corresponde ao seu horizonte Bw. Nela, percebe-se claramente a estrutura microagregada muito bem desenvolvida com unidades bem definidas ovais e subarredondadas. O predomínio da porosidade interagregados mostra uma quantidade de área poral, em torno de 45%. Esta é uma característica típica dos Latossolos Roxos nos quais se tem uma microagregação elevada, com estrutura “pó de café”, a exemplo de resultados também encontrados por KERTZMAN (1996). Para todos os tratamentos, na zona fora da influência dos implementos de preparo, essa característica foi mantida.



(A)



(B)

Figura 14. Foto com aumento de 25 vezes (A) e de 100 vezes (B). Foto (A): percebe-se a presença de microagregados ovais e subarredondados, com porosidade interagregados, policôncava. Foto (B), detalhe da foto (A): forma dos microagregados e sua porosidade.

Os grãos de quartzo e concreções ferruginosas (esqueleto) são pouco freqüentes e dispersos (representam menos de 10% do solo). Essa pouca ocorrência dos grãos de quartzo mostra que a sustentação da estrutura microagregada deste solo é feita pelo plasma. O plasma (argila) é predominante e organizado em microagregados que variam quanto ao tamanho.

Em geral, os horizontes superficiais apresentaram boa distribuição de microagregados, com porosidade do tipo interagregados, formando uma rede de vazios contínua, irregular e policôncava. Os tratamentos que mais mobilizam o solo apresentam uma diversidade no tamanho dos agregados em função do próprio implemento utilizado para o preparo. É comum encontrar microagregados de tamanhos relativos (diâmetro maiores que 2 mm), formados pela compactação e que foram trazidos à superfície. Esses microagregados têm a característica da massa plasmática apresentada na figura 18.

Pela da figura 15, observa-se a distribuição dos agregados e a sua porosidade em um horizonte Ap do sistema de plantio direto, podendo-se estender esta característica ao sistema roçado. Notam-se, claramente, agregados bem arredondados, com a presença de dois tipos de poros: os de canais, ou poros tubulares, que são de origem biológica, e os poros interagregados, resultantes do espaço entre os microagregados. Os poros tubulares são comuns nos tratamentos plantio direto e roçado desde o horizonte Ap, diminuindo em direção ao horizonte Bw1, caracterizando grande atividade biológica e de raízes.

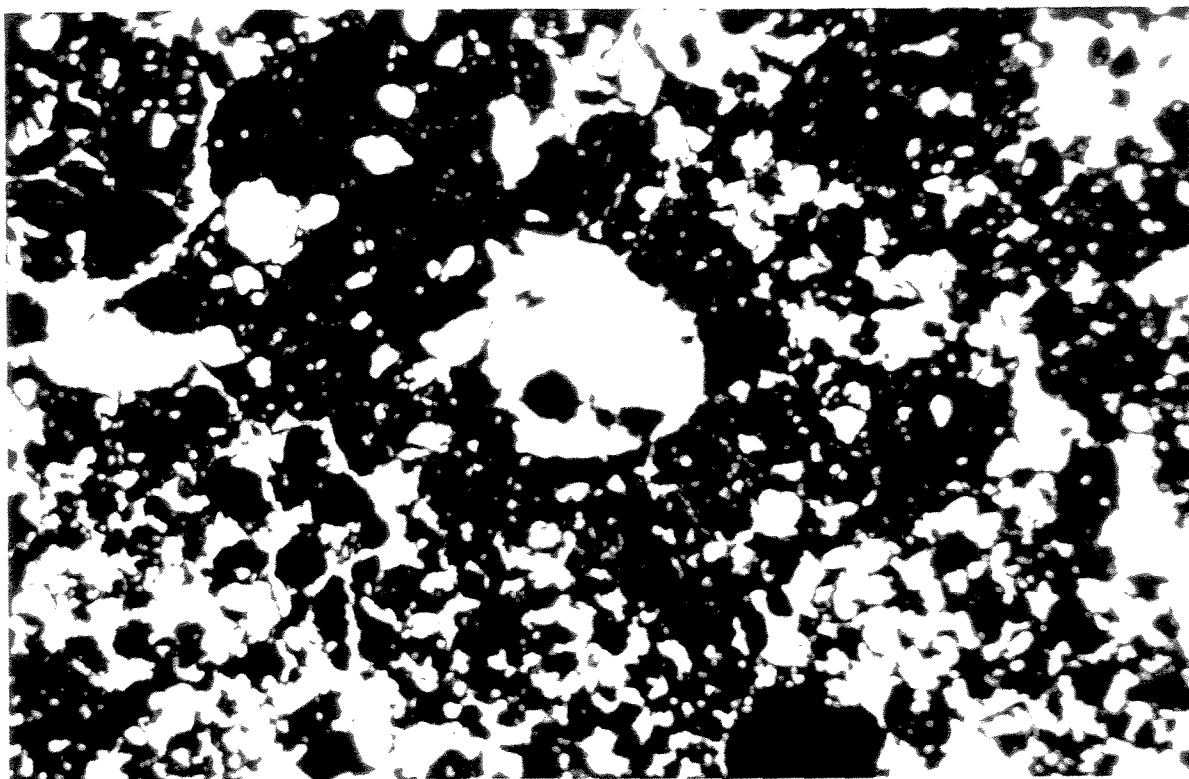


Figura 15. Foto com aumento de 25 vezes - horizonte Ap do plantio direto. Observa-se porosidade tubular ao centro e interagregados policôncavos irregulares interligados.

Verificou-se que a grande vantagem dos sistemas que não revolvem o solo (plantio direto e roçado) são os poros tubulares, e que muitas vezes são formados pelas raízes, depois de mortas, após decomposição.

Autores como MIKLÓS (1992) e TARDY (1993) defendem o processo de formação dos microagregados, além da evolução geoquímica, pela atividade biológica. Tais argumentos têm como base, entre outras, a forma esferoidal de alguns agregados, que teriam como agente principal a ação da fauna do solo (Figura 16).

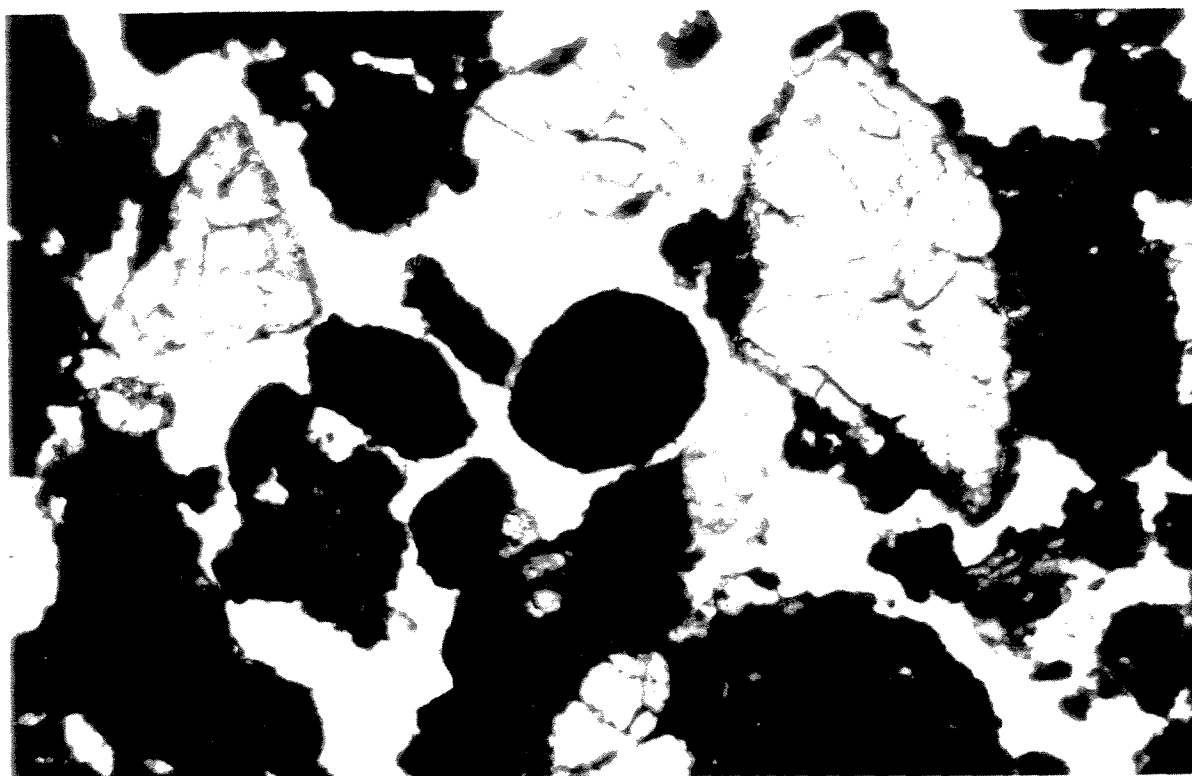


Figura 16. Foto com aumento de 100 vezes. Detalhe de um microagregado isolado em forma esferoidal de atividade biológica.

Os poros tubulares de origem biológica são importantes porque normalmente possuem diâmetro superior a 1 mm (KERTZMAN, 1996). A figura 17 ilustra muito bem este “megaporo”, com as paredes dos túbulos bem definidas, dotadas de material mais denso, provavelmente formado pela pressão decorrente da passagem de uma raiz ou animal. Muitos desses poros apresentam restos vegetais e microagregados no seu interior, o que indica a intensa atividade biológica, que promove uma pedoturbação e o transporte de material dentro do solo.

A atividade biológica foi basicamente verificada nos sistemas de plantio direto e roçado.

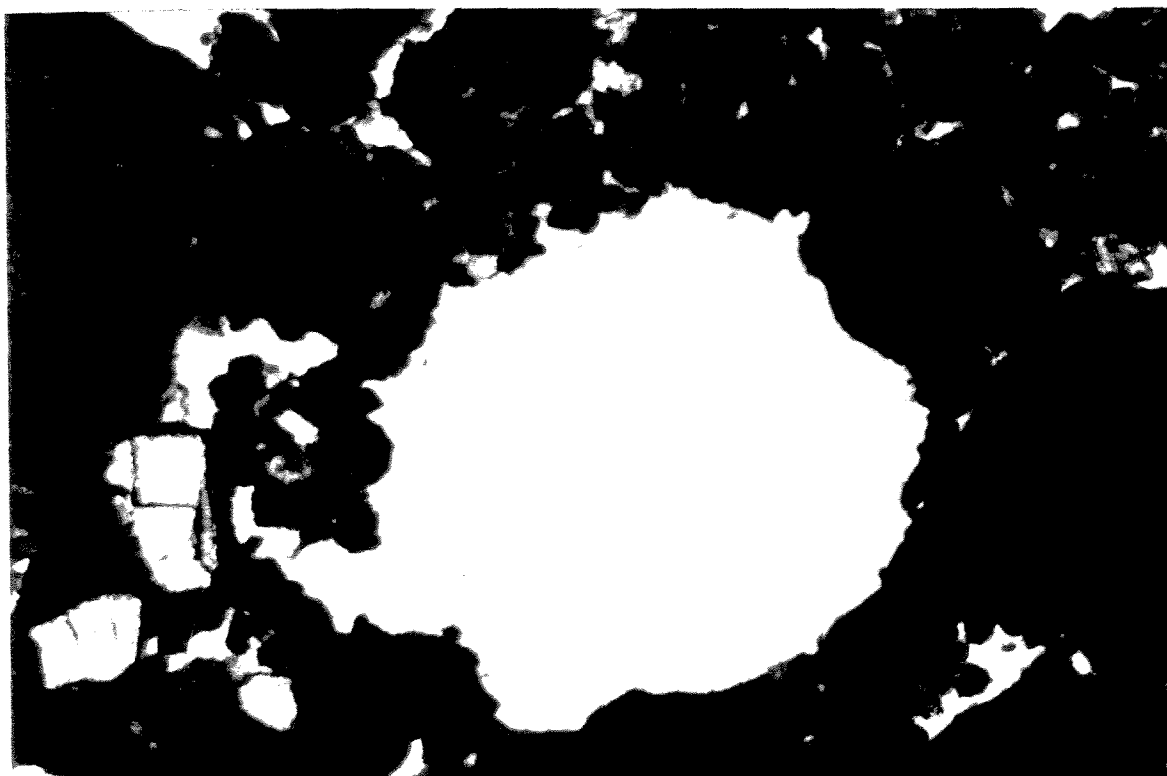


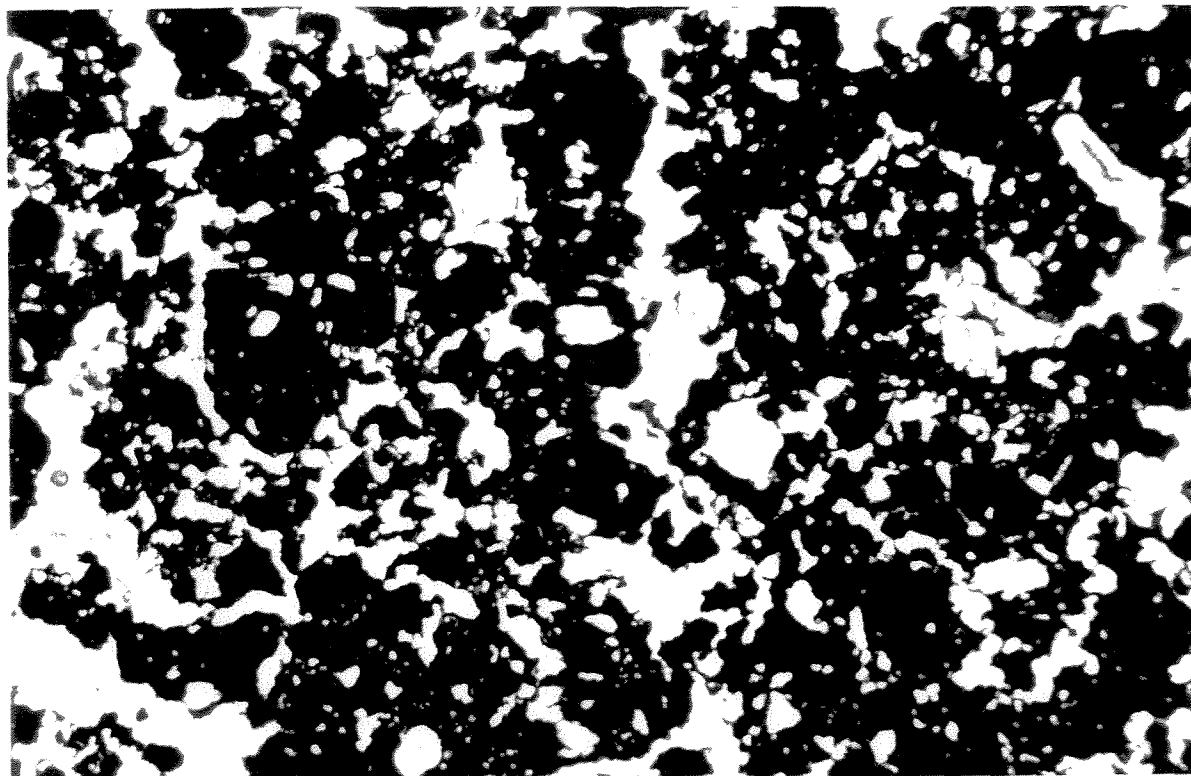
Figura 17. Foto com aumento de 100 vezes. Observa-se um grande canal de atividade biológica com os microagregados a sua volta adensados.

A porosidade interagregada, em geral comum nos Latossolos, é a maioria e o seu predomínio mostra a importância deste solo estar bem estruturado com microagregados bem definidos.

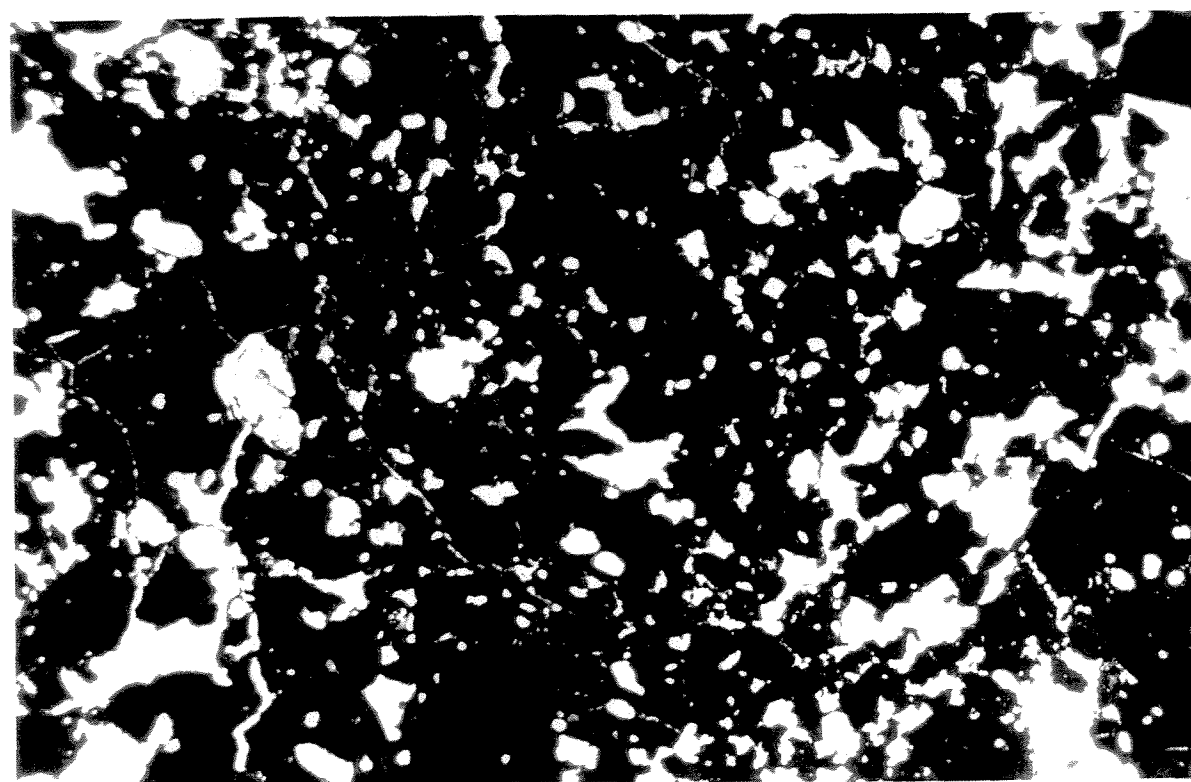
Quando analisadas as lâminas, observou-se que cada sistema impõe uma certa pressão ao solo, e em alguns casos ocorre como que uma diminuição abrupta da porosidade do horizonte superior em relação ao inferior (Figura 18). Nessas regiões, observou-se que a porosidade interagregados praticamente desaparece, formando uma massa de plasma (argila), que envolve os esqueletos (grãos de quartzo), possibilitando a visualização de alguma porosidade interagregados, formada pela compreensão de outros microagregados, e não de forma natural. Esta intensidade de diminuição poral variou nos tratamentos, ou seja, os que revolveram mais o solo foram aqueles que apresentaram diminuição poral acentuada.

A compactação provoca uma aproximação dos microagregados que se vão coalescendo, diminuindo, pois, a porosidade interagregado. Já os poros tubulares praticamente são eliminados pela compactação.

O sistema com escarificador, o plantio direto e o roçado foram os que apresentaram uma porosidade mais uniforme em toda a profundidade estudada, com uma diminuição da porosidade em uma faixa específica para cada sistema, mas não formando uma massa contínua e quase sem porosidade. As lâminas mostram, nessas regiões, microagregados mais próximos e, muitas vezes, juntos, como se formassem uma camada já mais compactada, mas ainda mantendo uma microagregação bem definida e poros interagregados (Figura 19).

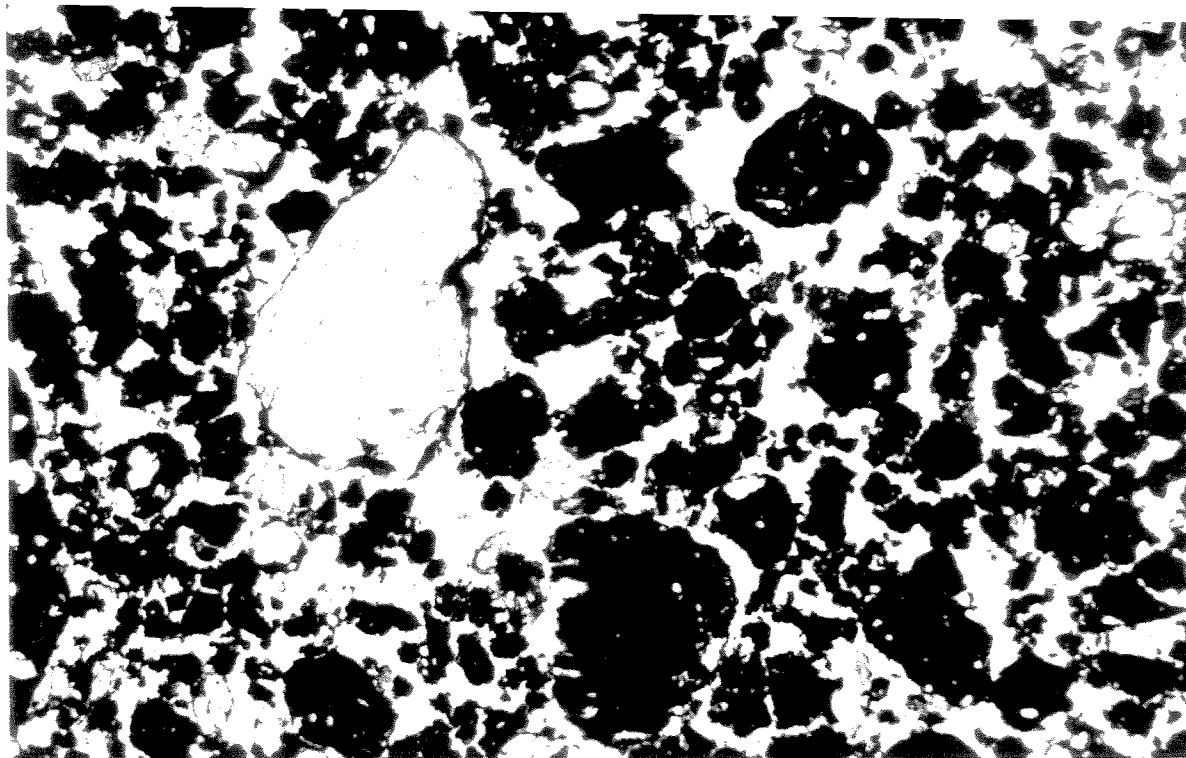


(A)

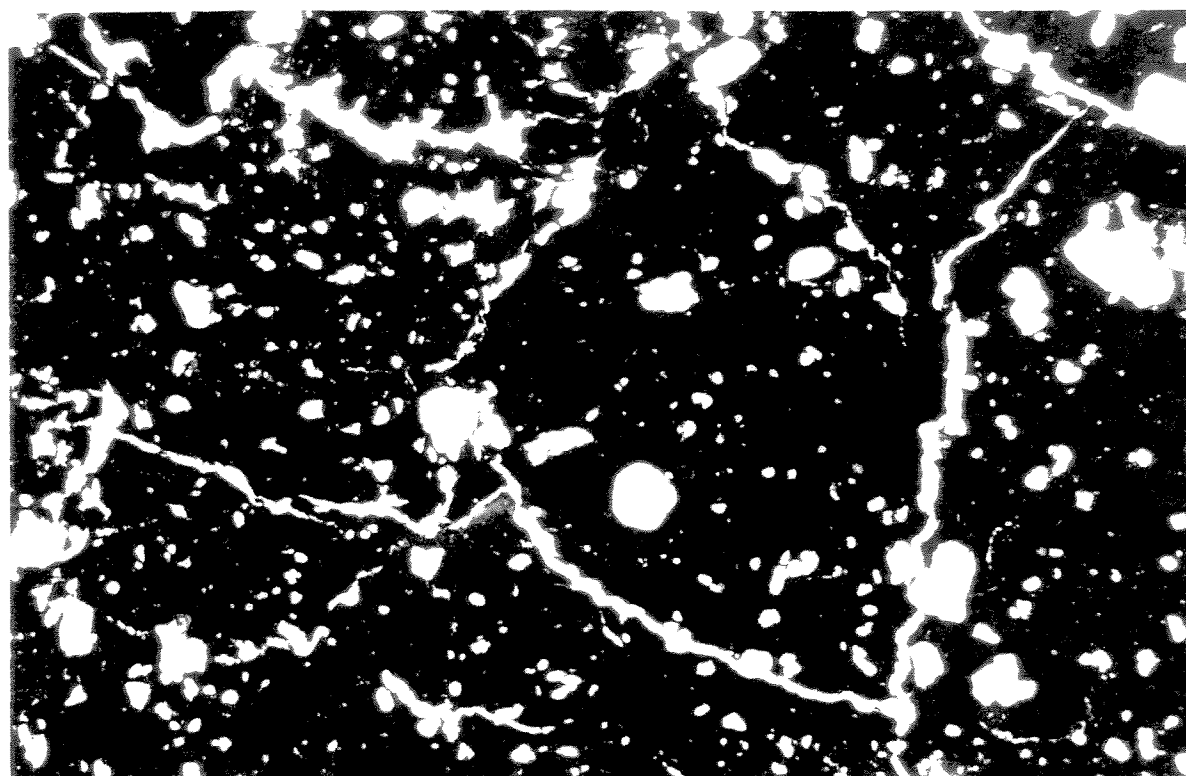


(B)

Figura 18. Foto com aumento de 25 vezes. Foto (A): horizonte superficial; foto (B): região compactada - grade aradora. Notar a forma e disposição dos microagregados do horizonte superficial (A) e a massa compacta de plasma sem a estrutura anterior e porosidade fissural.



(A)



(B)

Figura 19. Foto com aumento de 25 vezes. Foto (A): horizonte superficial; foto (B): região mais adensada - escarificador. Notar a forma e disposição dos microagregados do horizonte superficial (A) e a maior coalescência dos microagregados em relação à estrutura anterior, com o aparecimento de zonas com porosidade fissural.

6. CONCLUSÕES

Diante do que se propôs para a realização deste trabalho, ou seja, o estudo das possíveis modificações que os oito sistemas de preparo - grade aradora; sistema alternado; escarificador; plantio direto; arado de disco; roçado; arado de disco “morro abaixo” e enxada rotativa - impõem à estrutura de um Latossolo Roxo, foram obtidas as seguintes conclusões:

Todos os sistemas de preparo e manejo estudados modificam a estrutura do solo, porém cada sistema induz alterações particulares para alguns parâmetros medidos.

Os tratamentos que mais provocaram alterações na estrutura do solo foram aqueles que também revelaram maiores perdas de terra, nutrientes e matéria orgânica por erosão.

Os tratamentos convencionais (arado de disco, grade aradora e enxada rotativa) provocaram a formação de uma camada subsuperficial compactada, provocando baixos níveis de infiltração básica.

Os tratamentos plantio direto e roçado, apesar de possuir uma camada compactada, propiciam melhor estruturação do solo, além de elevada taxa de infiltração.

A análise micromorfológica indica que os tratamentos plantio direto e roçado são os que propiciam atividade biológica mais intensa ao longo do perfil. Por outro lado, a descrição morfológica de campo indica que os tratamentos grade aradora, plantio direto e arado de disco provocam alterações que permitem diagnosticar a presença de um horizonte Ap₂ subjacente ao superficial (Ap).

De um modo geral, os agregados mostraram-se mais resistentes e maiores (mais estáveis) nos tratamentos que menos mobilizam o solo, em oposição aos encontrados nos tratamentos convencionais (grade aradora e enxada rotativa).

O escarificador revelou-se como o sistema de preparo com melhores resultados, mostrando valores mais baixos de resistência do solo à penetração e densidade, maior infiltração, porosidade e retenção de água ao longo do perfil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINA, P.O. Soil changes resulting from long-term management practices in western Nigéria. **Soil Science Society of America Journal**, 43(1): 173-177, 1979.
- ALBUQUERQUE J.A.; REINERT D.J.; FIORIN J.E.; RUEDELL J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19: 115-119, 1995.
- ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1973. p.315-345.
- ALLMARAS, R.R. & DOWDY, R.H. Conservation tillage systems and their adoption in the United States. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 5: 197-222, 1985.
- AMADO, T.J.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica.. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v.13: 251-257, 1990.
- ANGERS, D.A.; PESANT, A. & VIGNEUX J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial biomass. **Soil Science Society of America Journal**., Madison **56**:115-119, 1992.
- BATES, J.A.R. Studies of a Nigerian forest soil: I. The distribution of organic matter in the profile and in various soils fractions. **The Journal of Soil Science**. Oxford, **11**:246-256, 1984.
- BENNEMA, J; JONGERIUS, A. & LEMOS, R.C. Micromorphology of of some oxic and argilic horizons in South Brazil in relation to weathering sequences. **Geoderma**, Elsevier, **4**: 33-35, 1970.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 335p.

- BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. **America Society of Agronomy**, Madison, 1: 197-208, 1965.
- BEZERRA, J.E.S. **Influência de sistemas de manejo do solo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico, fase terraço, e sobre produção de milho** - U.F.V., 1978. Viçosa, 1978. 61p Tese ("Magister Scientiae").
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades do solo**. trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Fº, 7º ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989, 878p.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. & DILLARD, A.L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **54**: 1744-1747, 1990.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. (Boletim técnico, 106).
- CARON, J.; ESPÍNDOLA, C.R. & ANGERS, D.A. Mécanismes de stabilization structurale de deux sols brésiliens en phase d'humectation. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, 1994. Acapulco (México). **Proceedings...Transactions**, p.124-125, 1994.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14:99-105, 1990.
- CASTRO, O.M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1995, 174p. Tese (Doutorado). ESALQ 1995
- CASTRO, O.M. de **Preparo do solo para a cultura do milho**. FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas, 1989, 41p.
- CASTRO, O.M. de; LOMBARDI NETO F.; QUAGGIO J.A.; DE MARIA I.C.; VIEIRA S.R. & DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10:181-308, 1986.
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **Boletim Informativo da SBCS.**, Campinas, v.10 (2):44, Campinas, 1985.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um latossolo roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7(3):323-327, 1983.

- CHAUVEL, A.; PEDRO, G. & TESSIER, D. Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaolinutiques: études expérimentales. **Science du Sol**, Versailles v.2:101-113, 1976.
- CHICHESTER, F.W. & RICHARDSON, C.W. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.21(4):587-590, 1982.
- COLLINS, K. Towards characterisation of tropical soil microstructure. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC SAPROLITIC SOILS. Brasília, **Progress Report...ABMS**. Theme 4, Topic 4.1, 1985.
- COSTA, M.P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**, Piracicaba, 1985, 137p. Dissertação (Mestrado). ESALQ, 1985.
- DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - Solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre, 1981. 136p.- Faculdade de Agronomia/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. Tese (Mestrado -) 1981.
- DALLMEYER, A.U. **Avaliação de equipamentos de preparo do solo a campo**. In: IV Ciclo de Estudos Sobre Mecanização Agrícola. Campinas, FUNDAÇÃO CARGILL, 1990, 265p.
- DANIEL, L.A. **Efeitos do sistema de plantio do milho (*Zea mays L.*) e da rotação com a soja sobre algumas características físicas do solo e comportamento da cultura**. Piracicaba, 1984. 101p. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, 1984.
- DANIEL, L.A.; CARVALHO J.F. & JUNQUEIRA, G.S. Avaliação de camadas de solo compactado: Efeito de diferentes sistemas de preparo e cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXIV, Campinas. **Anais...**Campinas, UNICAMP, 1994.
- DANIEL, L.A.; LUCARELLI J.R.de F. & CARVALHO J.F. Efeito do método de preparo do solo na formação de camadas compactadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXV, Viçosa, **Anais...** Viçosa U.F.V., 1995.
- DEDECEK, R.A.; RESCK, D.V.S. & FREITAS JUNIOR, E. de Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10:265-272, 1986.

- DERPSCH, R.; SIDIRAS, M. & ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to controlo erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research.**, Amsterdam v.8:253-263, 1986.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de siatemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v:13:259-267, 1989.
- FERNANDES, M.R. **Alterações na estrutura de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola.** Campinas, 1993. 186p. Dissertação (Mestrado), FEAGRI/UNICAMP 1993.
- FERNANDES, M.R.& ESPÍNDOLA, C.R. Alterações na estrutura de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXIV, 1994, Campinas. **Anais...**Campinas, UNICAMP, 1994.
- GAVANDE, S.A. **Física de suelos - principios e aplicaciones.** México, Limus S.A., 351p. 1976.
- GALETI, P.A. **Mecanização agrícola: preparo do solo.** Campinas, Inst. Campineiro de Ensino Agrícola, 1981, 220p.
- GOMES, A.S.; PATELLA, J.F. & PAULETTO, E.A. Efeitos de sistemas e tempo de cultivo sobre a estrutura de um solo Podzólico vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v.2(1):17-21, 1978.
- GREENLAND D.,J. **Soil structure and erosion hazard** In: Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. 1975, 279p.
- HAMMEL, J.E. Long-term conventional and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in nouthern Idaho, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53:1515-1519, 1989.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy.** Wisconsin, v.18:107-169, 1966.
- HILL, R.L. Long-term convetional tillage and no-tillage efects on selected soil physical properties, **Soil Science Society of America Journal.** Madison, 54(1): 161-166, 1990.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics.** San Diego, Academic Press, 1982. 264p.
- KERTZMAN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação.** São Paulo, 1996. 153p Tese (Doutorado) USP, 1996.

- LAL, R.; VLEESCHAUWER, d. & NGNJE, R.M. Changes in properties of a newly cleared tropical alfisol as affected by mulching. **Soil Science Society of America Journal**., Madison, v.44(5): 827-833, 1980.
- LEBERT, M. & HORN, R. A method topredict the mechanical stregh of agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.19: 274-286. 1991.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, 1984, 45p.
- LYNCH, J.M. & PANTING, L.M. Cultivation and the soil biomass. **Soil biology biochemistry**., Oxford, v.12: 29-33, 1980.
- LUCARELLI, J.R. de F.; DANIEL L.D. & ESPÍNDOLA, C.R. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão laminar e perdas de matéria orgânica e nutrientes. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXVI, 1996, Baurú. **Anais...Baurú**, UNESP, 1996.
- McCALLA, T.M. Effect of tillage on plant growth as influenced by soil organisms In: TILLAGE FOR GREATER CROP PRODUCTION. Detroit, Michigan, 1968 Conference **Proceedings...St. Joseph**, American Society or Agricultural Engineers, 1967 p. 19-25.
- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas v.2:81-84, 1978.
- MACHADO, J.A.; PAULA SOUZA, D.M.de & BRUM, A.C.R.de Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.5:187-189, 1981.
- MALTONI, K.L. **Alterações físicas e químicas decorrentes do manejo, ocorridas em Latossolo Vermelho Amarelo do município de Diamantina, MT**. Viçosa, 1988, 102p Dissertação (Mestrado) – UFV, 1988.
- MEDINA, H.P. Constituição física In: Moniz, A. C. **Elementos de Pedologia**, São Paulo, Polígono, Universidade de São Paulo, 1972, 459p.
- MELFI, A.J. Characterization, identification and classification of tropical lateritic and saprolitic soils for geotechnical purposes. In: **Peculiarities of geotechnical behavior of tropical lateritic and saprolitic soils-progress report**. São Paulo. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE. Theme 1, Topic1.2, p. 9-20, 1982-1985.
- MERTEN, G.H. Impacto da mecanização do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE IMPACTO AMBIENTAL POR USO AGRÍCOLA DO SOLO. Campinas, 1992. **Anais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1994 p. 47-58. (Documentos IAC, 49).

- MIKLÓS, A.A. de W. **Byodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu (Brésil, SP)**. Paris, 1992. 247p. Thèse (Doctorat) - Université Paris 6, 1992.
- MORAES, M.H. & BENEZ, S.H. Efeito do sistema de preparo nas propriedades físicas de uma Terra Roxa estruturada e na produção do milho. In: **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - SBEA**, , Campinas-SP, 1994.
- MUNN, D.A.; McLEAN, E.D.; RAMIREZ, A. & LOGAN, T.J. Effect of soil cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.37:428-431, 1973.
- OLIVEIRA, J.B. & ROTTA, C.L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadricula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169p. 1979.
- RAIJ, B van & QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).
- REINERT D.J.; MUTTI, L.S.M.; ZAGO, A.; AZOLIN, M.A.D. & HOFFMANN, C.L. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho Amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, 14(1): 19-25, 1984.
- RESK, D.V.S. **Perdas de solo, água e elementos químicos no ciclo da soja, aplicando-se chuva simulada**. Planaltina: EMBRAPA-CPAO, 1981. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de pesquisa, 5).
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; FILHO GRASSI, H. & MORAES, DE M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18:491-497, 1994.
- ROTH, C.H. & MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 19, Curitiba, 1983. **Programas e Resumos**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, p.108.
- ROTH, C.H.; VIEIRA, M.J.; DERPSCH, R.; MEYER, B. & FREDE, H.G. Infiltrability of on Oxisol in Paraná, Brasil as influenced by different crop rotation. **Journal Agronomy and Crop Science**. Berlin, 159:186-191, 1987.

- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.de & MEDEIROS, G.B. de Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15,p.241-248, 1993.
- SARVASI, F. de O.C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. Piracicaba, 1994. 147p. Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, 1994.
- SEGANFREDO, L.M.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. de Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.21:287-291, 1997.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8:265-268, 1984.
- SOUZA, C.M. **Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, fase cerrado, e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de nutrientes pela cultura da soja**. Viçosa, 1988, 105p Dissertação (Mestrado) - UFV, 1988.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**. New York, Wiley Interscience, 1982, 443p.
- TARDY, Y. **Petrologie des laterites et des sols tropicaux**. Paris, France, Masson. 1993, 461p.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brow earth. **Australian Journal of Soil Research**., Victoria, v.18:415-422, 1980.
- VIEIRA, M.J.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* L. Merr.) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2:209-214, 1978.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. IN: **Atualização em plantio direto**. Campinas, FUNDAÇÃO CARGILL, 1985, 343p.
- VOORHEES, W.B. & LINDSTROM, M.J. Long term. effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 48: 152-156, 1984.
- VOORHEES, W.B.; JHONSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affects by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, 81: 294-303, 1989.

WOORHEES, W.B. & LINDSTORM, M.J. Soil compaction constraints on conservation tillage in the northern corn belt. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, **38**:307-311, 1983.