DINÂMICA DA ÁGUA, EROSÃO HÍDRICA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM FUNÇÃO DO PREPARO DO SOLO

FLÁVIO DE OLIVEIRA CUNHA SARVASI
Engenheiro Agrícola

Orientador: DR. SIDNEY ROSA VIEIRA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL
Agosto - 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - FCLQ/USP

Sarvasi, Flávio de Oliveira Cunha

S251d Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das
culturas em função do preparo do solo. Piracicaba, 1994.
147p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Água no solo - Dinâmica 2. Erosão hídrica 3. Cultura
agrícola - Produtividade 4. Solo- Manejo 5. Solo - Preparo
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.4
 631.51

**DINÂMICA DA ÁGUA, EROSÃO HÍDRICA E PRODUTIVIDADE
DAS CULTURAS EM FUNÇÃO DO PREPARO DO SOLO**

FLÁVIO DE OLIVEIRA CUNHA SARVASI

Aprovada em: 08/11/1994

Comissão julgadora:

Dr. SIDNEY ROSA VIEIRA

IAC

Dr. GERD SPAROVEK

ESALQ/USP

Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

UNESP/FEIS

Dr. SIDNEY ROSA VIEIRA

Orientador

*A memória de meu pai, para mim,
símbolo de dedicação e integridade;
um exemplo para minha conduta profissional.*

D E D I C O

*A minha mãe, minha esposa e minha filha,
principais responsáveis por minha determinação.*

O F E R E Ç O

*Aos meus irmãos, exemplos vivos
de solidariedade e amizade.*

O F E R E Ç O

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Sidney Rosa Vieira pela orientação, confiança, incentivo e ensinamentos transmitidos durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. Francisco Lombardi Neto, pela oportunidade única que viabilizou a realização deste trabalho.

Ao Pesquisador Científico Orlando Melo de Castro, por ter autorizado a utilização do experimento, pelos ensinamentos e sugestões.

A Pesquisadora Científica Isabella Clerici De Maria pela atenção, cooperação e sugestões de grande expressão para a realização deste trabalho.

A Dra. Sonia Carmela Falci Dechen, chefe da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo e toda sua equipe, pela paciência e dedicação.

Ao colega, Engenheiro Agrônomo Paulo César do Nascimento, pela participação nos trabalhos de campo.

A Silvana Cristina Teixeira e Ana Maria Derroso Valadares pela dedicação e amizade durante a editoração deste trabalho.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela oportunidade de realização deste curso.

A FAPESP pelo apoio financeiro e, pela oportunidade singular para o aperfeiçoamento técnico deste bolsista.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xvii
SUMMARY	xix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Preparo do solo e sua relação com as propriedades físicas	5
2.2. Dinâmica da água no solo - fatores relevantes . .	11
3. OBJETIVOS	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Descrição da área experimental	20
4.1.1. Localização da área	20
4.1.2. Condições climáticas	20
4.1.3. Solo	23
4.2. Descrição do experimento de campo	24
4.3. Determinações efetuadas	27
4.3.1. Perdas de solo e água	27
4.3.2. Densidade do solo - Porosidade Total - Macro e Microporosidade	31
4.3.3. Capacidade de água disponível, Capacidade de aeração e Curvas de retenção de água	33
4.3.4. Propriedades hídricas	35

4.3.5. Controle de umidade do solo	38
4.3.6. Resistência à penetração	41
4.3.7. Cobertura morta	42
4.3.8. Produção	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. Relações Massa/Volume	45
5.1.1. Densidade do solo	45
5.1.2. Porosidade total	50
5.1.3. Macro e Microporosidade	56
5.1.4. Capacidade de aeração e Capacidade de água disponível	61
5.1.5. Curvas de retenção de água do solo	72
5.2. Infiltração e condutividade hidráulica em solo saturado	78
5.3. Controle de umidade do solo	87
5.4. Resistência à penetração	95
5.5. Cobertura morta	101
5.6. Perdas de solo e água	104
5.7. Produção	116
6. CONSIDERAÇÕES GERAIS	126
7. CONCLUSÕES	134
8. LITERATURA CITADA	135

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Balanço hídrico pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), da região de Campinas, 1956-1987.....	22
2. Esquema mostrando a estrutura de talhões coletores e a disposição dos tratamentos estudados.....	26
3. Sistema coletor para talhões de 1.000 m ² (20x50m) A: tanque de decantação com telas; B: divisor tipo Geib com 11 janelas; C: tanque de armazenamento; D: divisor tipo Geib com 5 janelas; E: tanque de decantação. Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).....	29
4. Divisor tipo Geib com 11 janelas para talhões de 1.000 m ² (20x50 m). Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).....	30
5. Densidades médias do solo determinadas para as profundidades e tratamentos estudados....	45
6. Porosidade total medida, determinada para as profundidades e tratamentos estudados....	52
7. Porosidade total calculada, determinada para as profundidades e tratamentos estudados....	53
8. Microporosidade determinada para as profundidades e tratamentos estudados.....	58

9. Macroporosidade determinada para as profundidades e tratamentos estudados.....	60
10. Capacidade de aeração média (%), determinada para as profundidades e tratamentos testados.	66
11. Capacidade de água disponível (%), determinada para as profundidades e tratamentos estudados.....	69
12. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento arado escarificador.....	70
13. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento plantio direto.....	70
14. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento grade pesada.....	71
15. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento arado de discos.....	71
16. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 5 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.....	74

17. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 15 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.....	74
18. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 30 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.....	75
19. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 70 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.....	75
20. Infiltração média (mm/h) para as profundidades de 15 cm e 50 cm em duas datas diferentes para os quatro tratamentos estudados.....	80
21. Condutividade hidráulica de Laplace (m/dia) para as profundidades de 15 cm e 50 cm em diferentes datas para os quatro tratamentos estudados.....	85
22. Condutividade hidráulica de Richards (m/dia) para as profundidades de 15 cm e 50 cm em diferentes datas para os quatro tratamentos estudados.....	85
23. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 15cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos estudados, durante o ciclo da soja.....	89

24. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 30cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos estudados, durante o ciclo da soja.....	90
25. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 70cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos estudados, durante o ciclo da soja.....	91
26. Distribuição pluviométrica para o mês de janeiro de 1991 registrada no local do experimento.....	92
27. Distribuição pluviométrica para o mês de fevereiro de 1991 registrada no local do experimento.....	92
28. Resistência à penetração (Pa) em relação à profundidade do solo para os quatro tratamentos estudados em condição de solo úmido...	97
29. Resistência à penetração (Pa) em relação à profundidade do solo para os quatro tratamentos estudados em condição de solo seco...	97
30. Porcentagens de cobertura morta sobre o terreno antes, durante e depois das operações de preparo do solo.....	103
31. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1989/90.	106

32. Índices mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1989/90.....	107
33. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1990/91.	110
34. Totais mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1990/91.....	111
35. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1991/92.	114
36. Índices mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1991/92.....	115
37. Produção de grãos e palhada de aveia-preta para o inverno de 1989 nos quatro tratamentos estudados.....	119
38. Produção de grãos e palhada de aveia-preta para o inverno de 1990 nos quatro tratamentos estudados.....	120
39. Produção de grãos, palha e controle do número de plantas nas parcelas de soja 1989/90 para os quatro tratamentos estudados.....	123
40. Produção de grãos, palha e controle do número de plantas nas parcelas de soja 1990/91 para os quatro tratamentos estudados.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Médias mensais de temperatura, precipitação pluvial, deficiência hídrica e excedente hídrico, para a região de Campinas, SP, no período de 1956 a 1987.....	21
2. Dados do perfil nº117, correspondente a mesma unidade pedológica da área experimental.....	24
3. Valores médios do solo (g/cm^3) compostas por dez repetições e coeficientes de variação (%).....	44
4. Valores médios de porosidade total medida (%), compostos por dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%).....	50
5. Valores médios de porosidade total calculada (%), compostos por dez repetições, e seus respectivos coeficientes de variação (%).	50
6. Microporosidade média (%), resultante de dez repetições nas quatro profundidades avaliadas e seus respectivos coeficientes de	

variação (%).....	56
7. Macroporosidade média (%), resultante de dez repetições nas quatro profundidades avaliadas e seus respectivos coeficientes de variação (%).....	56
8. Capacidade de aeração média (%), resultante de dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%).....	61
9. Capacidade de água disponível (%), com médias compostas de dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%)...	64
10. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 5 cm.....	71
11. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 15 cm.....	71
12. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 30 cm.....	72
13. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 70 cm.....	72

14. Infiltrações médias (mm/h) resultantes de cinco repetições para duas profundidades testadas e seus respectivos coeficientes de variação (%).....	78
15. Valores médios de infiltração (mm/h) e condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Laplace e Richards e seus respectivos coeficientes de variação, efetuados a 15 cm de profundidade nos talhões coletores de Campinas-SP quatro meses após a primeira amostragem.....	80
16. Dados de condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Richards medidos com permeâmetro em Campinas-SP.....	82
17. Dados de condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Laplace medidos com permeâmetro em Campinas-SP.....	82
18. Porcentagens de umidade a base de volume encontradas no solo para as determinações feitas com penetrógrafo em diferentes datas nos talhões coletores de Campinas-SP.....	97

19. Porcentagens médias de cobertura morta resultantes de cinco repetições, avaliadas em talhões coletores, antes, durante e depois do preparo do solo para os quatro tratamentos estudados.....	101
20. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, Grupo IV no ano de 1989/90.....	104
21. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, Grupo IV no ano de 1990/91.....	108
22. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, Grupo IV no ano de 1991/92.....	112
23. Produção de aveia (kg/ha) em talhões coletores de Campinas-SP, Inverno/1989. Média de 5 repetições.....	116
24. Produção de aveia preta (kg/ha) em talhões coletores de Campinas-SP, Inverno/1990. Média de 5 repetições.....	117

25. Produção de soja (kg/ha) 1989/90 em talhões coletores de Campinas-SP. Média de 5 repe- tições.....	120
26. Produção de soja (kg/ha) 1990/91 em talhões coletores de Campinas-SP. Média de 5 repe- tições.....	120
27. Médias de perdas de solo para os três anos de acompanhamento do experimento (t/ha/ano) para os quatro tratamentos testados.....	129

DINÂMICA DA ÁGUA, EROSÃO HÍDRICA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM FUNÇÃO DO PREPARO DO SOLO

Autor: FLÁVIO DE OLIVEIRA CUNHA SARVASI

Orientador: DR. SIDNEY ROSA VIEIRA

RESUMO

O presente experimento, foi conduzido nos sistemas coletores de perdas de terra e água da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico, localizados no Centro Experimental de Campinas, em um Latossolo Roxo, durante os anos agrícolas de 1989/90, 1990/91 e 1991/92.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na dinâmica da água no solo e nas perdas de terra e água por erosão hídrica.

Os tratamentos utilizados neste trabalho foram os sistemas de preparo do solo: plantio direto, escarificação, aração com implemento de discos e gradagem pesada.

Com a finalidade de caracterizar o comportamento da água ao longo do perfil e seus efeitos no rendimento das culturas em função dos tratamentos de preparo do solo foram avaliadas: perdas de solo e água por erosão; densidade; porosidade total e curvas de retenção de água, em

amostras indeformadas; permeabilidade do solo com permeâmetro de Guelph; tensão da água no solo ao longo do tempo; resistência à penetração; cobertura morta e produção.

Os resultados obtidos mostram que houve uma melhor resposta dos preparos reduzidos, tanto nas propriedades físicas determinadas como nos outros fatores. Dos sistemas de preparo estudados, aqueles que preservaram a cobertura morta na superfície do terreno, ou seja, plantio direto e escarificação foram os que apresentaram menores perdas por erosão. Da mesma forma, o armazenamento de água ao longo do perfil foi maior para estes sistemas, provavelmente devido a manutenção da estrutura natural do solo. O tratamento escarificação apresentou valores maiores para produtividade, infiltração média e condutividade hidráulica saturada. Este tratamento não obteve as maiores médias para percentagem de cobertura morta, a qual foi maior para o plantio direto. Para as perdas de terra e água, o tratamento plantio direto apresentou os menores valores com uma estreita diferença para o sistema de escarificação.

Em algumas fases do experimento, os dados de produção não foram condizentes com os índices de perdas por erosão, denotando assim a necessidade de realizar mais pesquisas nesta área, buscando correlações coerentes entre produtividade e sistemas de manejo.

SOIL WATER DYNAMICS, EROSION AND PRODUCTIVITY AS A FUNCTION OF TILLAGE SYSTEMS

Author: FLÁVIO DE OLIVEIRA CUNHA SARVASI

Adviser: DR. SIDNEY ROSA VIEIRA

SUMMARY

The experiment was conducted on the soil erosion plots of the Seção de Conservação do Solo of the Instituto Agronômico located at the Centro Experimental de Campinas, on a Dusky Red Latosol during the agricultural seasons of 1989/90, 1990/91 and 1991/92.

The objective of this study was to evaluate the effect of tillage systems on soil water dynamics, and soil and water loss by erosion.

The tillage systems evaluated in this experiment were: no tillage, chisel plow, disc plow and harrow.

In order to characterize the soil water behavior within the profile and its effects on crop yield as a function of the soil tillage systems, the following parameters were evaluated: soil and water loss; bulk density, total porosity and soil water retention in undisturbed soil

cores; the soil permeability with the Guelph permeameter; the soil water potential with tensiometers; the penetration resistance; the ground cover and the crop yield.

The results show that there was better conditions within the minimum tillage treatments as compared to the others for the soil physical properties determined as well as for the other factors.

The soil and water loss was the minimum for those systems which maintained soil cover, i.é, no tillage and chisel plow. The soil water storage within the profile was also larger for those systems probably due to the preservation of the structure. The chisel plow treatment showed the highest results for the crop yields, average infiltration rate and field saturated hydraulic conductivity. This treatment did not have the highest values only for soil cover, wich was higher for no tillage. Soil and water loss, there lowest for no tillage with a small difference to chisel plow.

During some stage of the experiment, the yield data were not consistent with the erosion data, indicating the need for further research in this area, especially to seek for better correlations between yield and soil manageament systems.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de preparo do solo tem evoluído, de forma bastante dinâmica nos últimos anos, com utilização de implementos grandes e de alto rendimento tracionados por máquinas de alta potência e pesadas. No entanto, alguns dos objetivos do preparo do solo, tais como a eliminação de pragas e principalmente a obtenção de condições físicas favoráveis ao plantio e germinação de sementes devem ser revistos. Condições aparentemente ideais poderão proporcionar efeitos indiretos extremamente prejudiciais ao desenvolvimento da maioria das culturas, comprometendo seus níveis de produção. É importante destacar que o bom crescimento e desenvolvimento das plantas, depende diretamente das condições do meio na qual se encontram.

Obviamente, não se deve esperar que solos sob cultivo mantenham as características físicas originais, mas o manejo nele empregado deverá, idealmente, alterar o mínimo possível tais características, garantindo assim sua sustentabilidade.

Existem diversas limitações para as plantas cultivadas que ocasionam um crescimento deficiente do sistema

radicular. Entretanto, os impedimentos físicos podem assumir sérias dimensões nas restrições ao crescimento radicular.

A excessiva manipulação mecânica dos solos provoca a formação gradativa de uma camada compactada na mesma profundidade de trabalho efetivo do implemento, agravada ainda mais pelos teores elevados de umidade no momento da operação. Esta camada torna-se um impedimento para a livre infiltração da água ao longo do perfil, acarretando em determinadas condições grandes perdas da camada superior do solo. Boa porcentagem dos adubos e corretivos, além da acentuada quantidade de material depositado sobre o solo possivelmente serão carreados por grandes enxurradas formadas como resultado desta camada.

Sabe-se que o principal fator na absorção de água proveniente de chuvas ou irrigações por aspersão é o estado em que se encontra a superfície do solo.

Solos excessivamente cultivados, possuem sua camada superficial desagregada e pulverizada, a qual, ao receber o impacto das gotas de chuva tende a formar uma crosta parcialmente impermeável em sua superfície. Este selamento superficial é certamente fator determinante nas perdas de solo e água, talvez mais que a própria declividade do terreno, o tipo de solo e seu teor de umidade naquele instante.

O ciclo empregado pelo cultivo, causa a diminuição gradativa e constante do teor de matéria orgânica, através da própria erosão hídrica, revolvimento do solo,

insolação, exaustão de nutrientes e falta de rotação de culturas. Isto provoca a desestruturação física do solo, com reflexos negativos na infiltração.

Já há algum tempo fomenta-se a necessidade de substituir sistemas com excessiva manipulação mecânica, por outros de preparos reduzidos que proporcionem menor movimentação do solo e deixem o máximo possível de resíduos na superfície (SILVA, 1980; DALLA ROSA, 1981). Para tanto, há que se contar com herbicidas cada vez mais eficientes e com semeadeiras adequadas, que sejam devidamente projetadas para cortar os resíduos vegetais e semear eficientemente em solos não preparados. Contudo, foi evidente a falta de aceitação pelos agricultores, de um sistema de aração e plantio simultâneo, com a superfície do solo aspera e irregular, apresentando acentuada diferença em relação ao sistema convencional no qual estavam acostumados e bem adaptados. Por outro lado, alguns agricultores preocupados com as quedas de produção causadas, muitas vezes, pela degradação de suas terras, preceberam a necessidade de preservar o solo trabalhado para que este pudesse sustentar ainda suas futuras gerações. O homem do campo descobriu então, que não precisava trabalhar e voltar a trabalhar várias vezes suas terras para conseguir bons rendimentos. Menor preparo do solo, significa menor quebra de agregados e uma superfície repleta de obstáculos naturais, ocasionando maior infiltração e menor escoamento superficial da água, portanto com menores índices de erosão.

Uma vez que, reduções significativas nas quantidades perdidas de terra e água por erosão ficaram evidenciadas, fazendo-se uso de práticas de manejo menos agressivas, (HARROLD, 1960; citado por HARROLD, 1984), passou a ser de vital importância, realizar uma abordagem mais detalhada sobre o conteúdo de água e sua distribuição em solos submetidos a esses sistemas de cultivo, com o intuito de intensificar a utilização de práticas de carácter conservacionista em empreendimentos agrícolas, para sua maior longevidade.

A hipótese seguida neste trabalho é de que os sistemas de preparo de solo afetam parâmetros físicos, especialmente os relacionados a dinâmica da água, os quais podem ser usados como indicadores do uso sustentado do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Preparo do solo e sua relação com as propriedades físicas

A água, um dos elementos mais importantes na crosta terrestre, é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é um imperativo na maximização da produção agrícola (REICHARDT, 1985).

ARKLEY (1963), afirma que para se obter máximas produções de biomassa e, possivelmente, grãos, a transpiração da cultura deve também ser maximizada. Isto é, não devem ocorrer défices hídricos que venham impor restrições à taxa de transpiração da cultura, pois isso resultaria em decréscimo de produção. O solo comporta-se como um reservatório temporário de água, do qual as plantas se beneficiam a medida de suas necessidades.

De acordo com MONDARDO (1984), em qualquer sistema de produção, os aspectos físicos do solo devem ser considerados de vital importância, pois a eles estão relacionados parâmetros importantes para o crescimento

vegetal, tais como: estrutura, textura, infiltração, compactação, capacidade de armazenamento de água, etc.

Segundo CASTRO et al. (1987) as práticas de manejo devem obter um balanço entre necessidades de água pela planta e o suprimento. O ponto básico para isso é, na maior parte dos casos, incrementar a infiltração, reduzindo as perdas de água através da enxurrada, e diminuir a evaporação, aumentando assim a água armazenada no solo.

Da mesma forma, DENARDIN (1984) coloca que o manejo adequado do solo, deve englobar um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem, o máximo de retenção de água das chuvas, incrementos nas taxas de infiltração da água no solo e diminuição da velocidade de escoamento sobre a superfície do mesmo.

Contraditoriamente, grande parte das necessidades criadas para o manejo dos solos são auto induzidas, ou seja, para corrigir problemas causados pelo próprio preparo do solo e pelas máquinas utilizadas nessas operações. A compactação do solo, uma das razões importantes pela qual o preparo do solo é efetuado, normalmente não ocorre na natureza (DERPSCH, 1984), originada em muitos casos por sistemas de preparo inadequados.

Quando os solos são cultivados, há uma significativa alteração em sua estrutura. O manejo do solo e o tipo de cultura utilizados irão influenciar diretamente suas condições físicas. Essa alteração é maior quando o preparo intensivo é dominante no sistema de produção

agrícola. Entretanto, é possível manter as condições físicas a níveis que permitam seu uso por longo tempo, tomando-se precauções e adotando-se um programa de manejo para manutenção da atividade biológica no solo, com freqüente adição de matéria orgânica por esterco ou uso de restos culturais e adubação verde (ALDERFER & MERKLE, 1941).

O declínio da produtividade dos solos das regiões tropicais e subtropicais cultivadas continuamente tem sido atribuído principalmente à erosão e à diminuição da matéria orgânica (GREENLAND, 1981) citado por DERPSCH et al.. (1985).

Os métodos de manejo do solo desenvolvidos para regiões temperadas, quando aplicados nas regiões tropicais e subtropicais expõem a superfície do solo a ação dos agentes climáticos que atuam nestas regiões com grande intensidade. O rompimento do equilíbrio pelo uso agrícola, determina taxas de decomposição mais altas do que as de adição dos resíduos orgânicos, provocando redução no teor de matéria orgânica do solo. Inicia-se assim um processo de degradação física, química e biológica, com conseqüente redução da produtividade (MIELNICZUCK, 1987).

A matéria orgânica é um dos principais agentes cimentantes das partículas primárias e secundárias do solo, influenciando na qualidade estrutural. A formação dos agregados e sua estabilidade são determinadas pelo suprimento contínuo de resíduos orgânicos (raízes, folhas e caules) e sua decomposição no solo pela atividade microbiana

(ALVES, 1992).

Uma das características mais importantes nas condições físicas do solo é a sua qualidade estrutural, pois esta influencia na infiltração de água e na suscetibilidade do solo à formação de crostas superficiais, reflexo da erodibilidade do mesmo.

O preparo do solo para o plantio altera as suas propriedades físicas, principalmente pela alteração temporária da estrutura, causando na região afetada pelo implemento, um aumento do potencial da infiltração, aeração e evaporação. Por outro lado, aumentam também os riscos de erosão porque o solo fica desagregado, sua superfície está desprotegida, a crosta superficial é formada mais rapidamente e o potencial de infiltração pode ser grande na superfície e menor abaixo da camada preparada (SIDIRAS et al., 1984).

Diante de tais fatos, muitos trabalhos enfatizam a necessidade de substituir-se sistemas com excessiva manipulação mecânica, por outros de preparos reduzidos que proporcionem uma menor movimentação do solo e deixem o máximo de resíduos na superfície (MACHADO & BRUM; 1978, SILVA; 1980, DALLA ROSA; 1981, PRIMAVESI; 1982, DERPSH; 1984, VIEIRA et al., 1989).

Com objetivo de preservar os fatores físicos do solo favoráveis ao crescimento das plantas, alguns estudos utilizando sistemas de preparo reduzidos tem sido feitos (SIDIRAS et al., 1983; MUZILLI, 1985; CASTRO et al., 1987), buscando alternativas mais condizentes com os sistemas

naturais, ou seja, aqueles nos quais o homem ainda não havia interferido. Os problemas decorrentes dos preparos convencionais, despertaram o interesse para métodos de preparo visando à conservação do solo e da água (MUZILLI, 1985). Surgiram, então, os chamados preparos conservacionistas, que têm como metas principais, minimizar as perdas de solo e água, utilizando sistemas de preparo menos agressivos ao meio, preservando o máximo de cobertura possível na superfície dos solos e deixando-a mais rugosa. Esses objetivos devem ser alcançados sem, entretanto, prejudicar a germinação das sementes. Estão inclusos nestes sistemas de manejo, o cultivo mínimo e o plantio direto.

Os sistemas de preparo conservacionistas, como sugere o próprio nome, tem por objetivo preservar ao máximo as características originais do solo. Contudo, para quantificar o efeito que esses tipos de preparo tem nas características físicas do solo e conseqüentemente, na dinâmica da água, é imprescindível que se estabeleçam estudos regionais, já que os efeitos são função do tipo de solo, de clima e culturas utilizadas.

Uma dificuldade que pode ser encontrada em revisão de literatura sobre manejo do solo é a diversidade de definições e a regionalização de termos. Este aspecto pode dificultar comparações. Neste trabalho, dar-se-á ênfase para sistemas de preparo contrastantes como plantio direto e preparo convencional, procurando verificar que condições

semelhantes foram usadas.

Muitas pesquisas têm sido feitas em outros países, mostrando resultados benéficos do sistema de plantio direto na quantidade de água disponível para as plantas (JONES JR. et al., 1969; BLEVINS et al., 1971), na infiltração (EHLERS, 1975) e na temperatura do solo (LAL, 1976; LAWSON & LAL, 1979).

Pesquisas executadas no Brasil mostram a superioridade do plantio direto em relação a sistemas convencionais, principalmente na melhoria e manutenção das condições físicas do solo.

SIDIRAS et al. (1983) determinaram a superioridade de preparos reduzidos nos teores de umidade e na produção em relação ao sistema convencional ou arado de discos. Segundo CINTRA et al. (1983), o cultivo contínuo pode causar sérias alterações às propriedades físicas do solo, com conseqüente redução da porosidade total e macroporosidade e aumento da densidade do solo e microporosidade. VIEIRA (1981) constatou, em áreas submetidas ao plantio direto, maior capacidade de armazenamento de água do que em sistemas convencionais, principalmente na camada superficial do solo, apesar do aumento na densidade e na microporosidade. Já CASTRO et al. (1987), ressaltaram que valores maiores de densidade do solo para o plantio direto, estão relacionados a não movimentação da superfície, denotando uma estrutura mais forte que é reflexo direto de uma melhor agregação. Aumentos acentuados

na agregação em um Latossolo Roxo sob plantio direto também foram observados por SIDIRAS et al., (1982), mostrando ainda a superioridade de cultivos com arado escarificador sobre sistemas convencionais no que se refere a agregação de partículas do solo.

Os espaços porosos resultantes da agregação das partículas, são responsáveis pela aeração e pelo movimento e armazenamento de água ao longo do perfil. A existência de agregados estáveis na rizosfera está ligada diretamente ao fornecimento e armazenamento adequado de água para as culturas.

Portanto, pesquisa regionalizada enfatizando o aspecto conservacionista dos solos, principalmente no que se refere a preservação de sua estrutura, contribuirá de forma decisiva na otimização dos recursos hídricos destinados a produção agrícola, e sobretudo, para a preservação dos recursos naturais.

2.2. Dinâmica da água no solo - fatores relevantes

As raízes das plantas, crescendo no solo, promovem modificações físicas (densidade do solo), químicas (alteração de pH, extração e reciclagem de nutrientes, etc), microbiológicas (produtos de exudatos) que modificam o meio ao seu redor, aumentando ou diminuindo sua capacidade de retirada dos nutrientes do solo (ANGHINONI & VOLKWEISS, 1984).

Dentre os vários fatores que interferem em um bom desenvolvimento das culturas, as características e condições do solo utilizado afetam de forma decisiva os índices de produtividade obtidos.

Segundo OLIVEIRA (1991), alterações de ordem física (compactação do solo) ou química (toxidez de Al e Mn ou antagonismos entre os nutrientes), interferem no crescimento das raízes, diminuindo-o conseqüentemente. Desta forma, a quantidade de nutrientes que chegam até as raízes pelo processo de difusão e interceptação radicular seriam menores, afetando indiretamente a absorção radicular feita através do fluxo de massa. O autor ressalta ainda que, uma maior quantidade de nutrientes chegam às raízes através da difusão e do fluxo de massa, que por sua vez dependem das características físicas do solo, principalmente do volume de água armazenada.

De maneira geral, a maior utilização de nutrientes pelas plantas se dá quando a umidade do solo é mantida tão alta quanto possível, sem porém causar problemas de aeração e temperatura. A umidade do solo quando adequada mantém em equilíbrio o sistema solo-planta, afetando a velocidade de reações dos fertilizantes, transportes de nutrientes até as raízes, e a absorção dos mesmos pelas raízes (REICHARDT, 1985).

Segundo SHARMA (1980), os processos de infiltração e evapotranspiração detêm a maior importância no controle do destino da água em grandes áreas.

Segundo THOMASSON (1978), a habilidade do solo em aceitar a transmitir o excesso de chuva e de permitir as trocas gasosas entre a atmosfera e a rizosfera é reflexo do seu volume de poros maiores que 60 μm , que representam o volume de "macroporos" e fissuras em solos bem estruturados e entre partículas em solos de textura grosseira.

Para GREEN & AMPT (1911) as investigações relativas a irrigação, drenagem, ou perda por evaporação, devem expressar quantitativamente as relações do solo com o movimento da água e do ar através dele. Segundo estes autores, tais relações são muito menos obscuras se a atenção estiver dirigida para o número e dimensões dos espaços entre as partículas, do que para o tamanho das partículas propriamente ditas.

Da mesma forma LAURENCE (1977), afirma que a quantidade, o tamanho, a configuração ou a distribuição do tamanho de poros estão mais diretamente relacionados ao solo, como meio de crescimento de raízes, armazenamento e movimento de água e de gás, do que a distribuição do tamanho das partículas.

Procurando dar uma interpretação prática a classificação da distribuição do tamanho de poros, JAMISON (1953) chamou de capacidade de ar à diferença entre a porosidade total, e o conteúdo de umidade de uma amostra equilibrada a 33 KPa. Denominou ainda de capacidade de água disponível o espaço de poros correspondentes à diferença de umidade da amostra equilibrada entre 33 KPa e 1500 KPa. A

faixa de umidade do espaço poroso total, menos a umidade da amostra equilibrada a 1500 KPa, o autor denominou porosidade total disponível, dividindo-a entre macroporos, aqueles drenados à 6 KPa, e microporos disponíveis, aqueles drenados entre 5 KPa e 1500 KPa.

ARCHER & SMITH (1972) adotaram a capacidade de ar (Car) a 5 KPa de tensão de água no solo, justificando haver alta correlação entre a Car neste ponto e a permeabilidade à água e difusão de gases no solo.

Para distingui-la da capacidade de campo, REEVE et al. (1973) chamaram a quantidade de água retida a 5 KPa [θ_v (5KPa)] de capacidade de água retida. A capacidade de água disponível foi calculada no mesmo trabalho como sendo a diferença entre a quantidade de água retida a 5 KPa e a quantidade de água retida a 1500 KPa. Já a capacidade de aeração (Car) foi calculada como sendo a diferença entre a porosidade total e quantidade de água retida a 5 KPa de tensão. Os autores ainda recomendam que, as medidas de capacidade estáticas sejam confirmadas no campo por avaliações da condutividade hidráulica, taxa de respiração e acúmulo de substâncias tóxicas.

THOMASSON (1978) utilizou as mesmas dimensões de REEVE et al. (1973) para as capacidades de ar e água e sugeriu alguns parâmetros para "uma classificação objetiva da estrutura do solo", seguindo as considerações: 1) Quando a capacidade de ar for menor que 5%, o solo é provavelmente anaeróbico ou impermeável com baixa capacidade de

redistribuir a água da chuva; 2) Quando a capacidade de ar estiver entre 5 e 10% problemas similares, mais ou menos severos podem ocorrer e então a continuidade do espaço poroso torna-se-ia tão importante quanto seu volume; 3) Aeração e permeabilidade seriam adequados para culturas agrícolas quando a capacidade de ar for maior que 10% e, acima de 15, para culturas hortícolas mais sensíveis; 4) Quando a capacidade de água + capacidade de ar for menor que 23% o solo pode ser considerado fisicamente pobre.

THOMASSON (1978) adverte ainda que, todos são conceitos estáticos ou hidrológicos, que esperam confirmações através de trabalhos efetuados no campo, incluindo culturas e testes de infiltração.

BOUMA (1982) considerou não relevante os limites de tamanho de poros, e atribuiu maior importância a continuidade dos mesmos. O autor ressalta que, poros pequenos conduzem mais água quando possuem continuidade, e poros sem continuidade não o fazem, mesmo que sejam grandes.

A estreita relação entre a continuidade de poros e o movimento da água através do solo foi ressaltada por ARZENO (1990), trabalhando com chuva simulada em um Latossolo Roxo de Campinas. O autor cita que a infiltração da água no solo mostrou-se mais eficaz em detectar variações entre os tratamentos estudados que outras determinações, podendo ser usada como critério para classificar solos segundo seu grau de degradação física.

NIELSEN et al. (1973) afirmam que a curva

característica e a infiltração básica são as medidas mais importantes para predizer o comportamento da água do solo em condições de campo. Os autores sugerem ainda que a infiltração básica deve ser incluída nos critérios utilizados na classificação do solo, no sentido de se fornecer informações úteis e mais precisas para uma exploração adequada.

A infiltração ou a entrada de água no solo feita disponível na superfície é um dos fenômenos físicos naturais mais comuns, e como processo do ciclo hidrológico, desperta grande interesse para os pesquisadores do solo e da planta (PHILLIP, 1957).

A água move-se no solo principalmente na fase líquida, apesar de fluxos de vapor poderem assumir grande importância em condições de solo "muito seco". O movimento na fase líquida dá-se em resposta a diferenças de potencial, ou seja, a água move-se sempre que existirem diferenças de potencial hidráulico dentro do sistema, sendo que este movimento ocorre no sentido do decréscimo do potencial. Dimensionalmente, a variação do potencial da água vem a ser uma força, portanto, quando o gradiente é nulo encontra-se uma situação de equilíbrio ou sem movimento (REICHARDT, 1985).

Conjuntamente o coeficiente de proporcionalidade K expresso pela razão entre o fluxo e o gradiente de potencial hidráulico, também chamado de condutividade hidráulica é a medida da habilidade do solo para conduzir o

fluxo de água (KOOEVAAR et al., 1983).

REYNOLDS & ELRICK (1985 e 1986) descreveram a teoria e a prática do método do permeâmetro de carga constante para medição da condutividade hidráulica saturada acima do lençol freático. Entre inúmeras vantagens do método são citados a facilidade de operação, o que proporciona um maior número de repetições atenuando o caráter de pontualidade da medição, e a possibilidade de se efetivar medições na profundidade desejada do perfil do solo. Além disso, o método permite a avaliação no campo de fatores importantes para a transmissão de líquido em solos, tais como: a condutividade hidráulica saturada medida no campo (K_{fs}), o potencial de fluxo matricial (ϕ_m) e sortividade (S).

Para LAUREN et al. (1988) medidas de condutividade hidráulica saturada (K_s) feitas, com amostras destacadas, no laboratório foram extremamente irreais e não comparáveis àquelas realizadas no campo (K_{fs}), principalmente devido a continuidade de macrovazios quase sempre presentes nos cilindros amostrados e nem sempre no campo. Seus resultados sugerem que a área de macrovazios ou a porcentagem de silte ou argila podem ser usados para prever a distribuição de K_s no solo.

REICHARDT (1985) assume, para efeito prático, a densidade da água sua viscosidade e aceleração da gravidade como constantes, mostrando neste caso que a condutividade do solo varia apenas com a umidade. Desta forma pode-se dizer que, para um solo saturado, a área útil para o fluxo é

proporcional a porosidade efetiva e que para um solo não saturado, a área útil para o fluxo é proporcional à umidade.

AHUJA et al. (1989) confirmam a forte correlação entre condutividade hidráulica saturada e porosidade efetiva, mesmo não obstante, outros fatores contribuiriam para a magnitude da condutividade hidráulica saturada, e desaconselharam a utilização de sua avaliação em laboratório usando cilindro com solo não deformado, por não computarem a continuidade e o bloqueamento dos poros.

A avaliação de parâmetros relevantes ao comportamento da água no solo, nortearam de forma decisiva a metodologia utilizada, na tentativa de quantificar e até mesmo qualificar a dinâmica da água através de um perfil hipoteticamente homogêneo, submetido à diferentes sistemas de preparo do solo.

3. OBJETIVOS

A avaliação dos sistemas de preparo do solo, que representem idealmente os diversos manejos empregados nas atividades agrícolas da região, é indubitavelmente o objetivo primeiro deste trabalho. No entanto, tais sistemas de manejo devem apresentar possivelmente sua eficiência em relação a preservação das terras em que são empregados, além de suas características favoráveis ao aumento do potencial de produção das mesmas. Na expectativa de encontrar parâmetros que relacionassem sistemas agrícolas estáveis e produtivos, procurou-se mais precisamente determinar:

1. Alterações físicas ao longo do perfil do solo proporcionadas pelos diferentes sistemas de preparo.
2. Possíveis alterações na dinâmica da água no solo.
3. Qual o sistema de preparo do solo que proporciona as melhores condições para a absorção e armazenamento de água.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área experimental

4.1.1. Localização da área

A área experimental localiza-se no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agrônômico, em um dos campos da Seção de Conservação do Solo, na latitude 22° 53' Sul, longitude 47° 04' Oeste, e altitude média de 600 m.

4.1.2. Condições climáticas

A região de Campinas de acordo com a classificação climática internacional de Köppen está localizada em uma área de transição entre os tipos climáticos Cwa e Cfa, significando clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio menor que 18°C.

O balanço hídrico segundo o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), para a região de Campinas, com uma retenção máxima de água no solo de 126 mm, pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Médias mensais de temperatura, precipitação pluvial, deficiência hídrica e excedente hídrico, para a região de Campinas, SP, no período de 1956 a 1987

MESES	TEMPERATURA	PRECIPITAÇÃO	DEFICIÊNCIA	EXCEDENTE
	MÉDIA	PLUVIAL	HÍDRICA	HÍDRICO
	°C	mm	mm	mm
Janeiro	23,1	234	0	120
Fevereiro	23,3	187	0	86
Março	22,7	140	0	40
Abril	20,9	73	0	0
Mai	18,5	68	0	7
Junho	17,2	52	0	6
Julho	17,4	32	1	0
Agosto	18,9	41	4	0
Setembro	20,3	68	2	0
Outubro	21,3	126	0	0
Novembro	22,0	137	0	38
Dezembro	22,4	224	0	117
Ano	20,7	1.382	7	414

Fonte: Arquivos da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas

Através dos dados de temperatura nota-se que o mês mais quente é o de fevereiro com média de 23,3°C e o mais frio é o mês de junho com média de 17,2°C. O total médio de chuva anual é de 1382 mm sendo que o período mais chuvoso é o de outubro a março, com um total de 1048 mm, representando 75% do total anual. O mês mais chuvoso é o de janeiro e o mais seco é o mês de julho.

Ainda de acordo com a Tabela 1, a região apresenta um excedente hídrico da ordem de 414 mm, principalmente distribuído nos meses de novembro a março e uma deficiência hídrica da ordem de 7 mm, considerada pequena, nos meses de julho a setembro.

A Figura 1 apresenta o balanço hídrico da região de Campinas, mostrando a distribuição anual da precipitação, e os períodos de ocorrência do excedente hídrico (Exd. Hid.) e da deficiência hídrica (Def. Hid.).

Figura 1. Balanço hídrico pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), da região de Campinas. 1956-1987.

4.1.3. Solo

No levantamento semi-detalhado do Estado de São Paulo, o solo da área em questão foi identificado como sendo um Latossolo Roxo Distrófico, com horizonte A moderado ou textura argilosa, unidade Barão Geraldo. Na classificação Americana identifica-se este solo como sendo um Typic Haplorthox com horizonte A ócrico escuro ou úmbrico (OLIVEIRA & MENK, 1984).

O relevo pouco movimentado e as características internas do perfil que conferem grande capacidade de infiltração e permeabilidade, dão aos latossolos, em geral, acentuada resistência à erosão (OLIVEIRA, 1980).

Os solos da unidade Barão Geraldo, segundo OLIVEIRA & MENK (1984), apresentam, além das características pertinentes a classe dos Latossolos Roxo, as seguintes particularidades: textura muito argilosa ou argilosa; teor de areia grossa inferior a 20%; soma e saturação em bases inferiores a 1,5 eqmg/100g de TFSA e 50%, respectivamente, ao longo do perfil ou após 100 cm de profundidade; ausência de caráter ácrico a menos de 100 cm de profundidade; matiz do horizonte B₂ igual ou mais vermelho que 3,5 YR, com relação ao valor/croma igual ou inferior a 3/5; horizonte B₂ apédico ou com estrutura subangular fraca: consistência friável a muito friável; espessura dos horizontes A + B superior a 120 cm; cascalho inferior a 5% nos horizontes A e B e teor de carbono até 100 cm inferior a 1,5% nos solos muito

argilosos e a 1,2% nos argilosos.

Na Tabela 2, são apresentados dados retirados do perfil nº 117 de OLIVEIRA & MENK (1984), correspondente a mesma unidade pedológica da área experimental.

Tabela 2. Dados do perfil nº 117, correspondente a mesma unidade pedológica da área experimental.

Prof.	pH	C%	AR%	SL%	AF%	AG%	AF/AG	S/A	V%	T
0-20	5,6	1,9	65	8	16	11	1,45	0,12	49	8,58
60-80	6,1	0,8	69	5	15	11	1,36	0,07	28	5,12

AR - Areia; SL - Silte; AF - Areia Fina; AG - Areia Grossa, S/A - Silte/Areia e T - C.T.C.

4.2. Descrição do experimento de campo

Em uma área situada no Centro Experimental de Campinas, em um Latossolo Roxo com 6,5% de declive estão implantados um grupo de talhões coletores delimitados por camalhões de terra batida nas extremidades superior e laterais, por uma soleira de alvenaria na base, tanque de decantação também em alvenaria e dois divisores tipo Geib de 11 e 7 janelas, conforme indica a Figura 2.

Nos talhões mencionados, de área de 1875 m² (25 m x 75 m), foram cultivadas as culturas de soja no verão e aveia preta no inverno, com plantio no sentido do declive. Os tratamentos estudados neste experimento foram: arado de discos, grade pesada, arado escarificador e plantio direto. As especificações dos implementos e máquinas utilizadas seguem a relação abaixo:

. Arado escarificador

Arado escarificador de 07 hastes, modelo Jumbo com levante hidráulico

Fabricante: Jan

Máquina: Trator MF 292

. Plantio direto

a) Para a cultura de soja:

Plantadeira Jumil 2500, modelo Magnum

Número de linhas: 06

Espaçamento utilizado: 40 cm, entre linhas

Máquina: Trator MF 275 ou Ford 6610

b) Para a cultura da aveia preta:

Semeadeira Baldan

Número de linhas: 11

Espaçamento: 15 cm, entre linhas

Máquina: MF 292

Fabricante: Baldan

. Grade Pesada

Grade pesada Baldan

20 discos com diâmetro de 24"

Levante com controle remoto

Máquina: MF 292

. Arado de discos

Arado Santa Izabel Reversível

03 discos com diâmetro de 28"

Máquina: MF 275

Os preparos efetuados para as culturas de verão estão divididos em preparo primário e preparo secundário. O preparo primário consiste no revolvimento inicial do solo com arado escarificador, arado de discos e grade pesada em

- 1- Camalhão de terra
- 2- Soleira de alvenaria
- 3- Tanque de decantação
- 4- Divisor tipo Geib - 11 janelas
- 5- Divisor tipo Geib - 07 janelas

Figura 2. Esquema mostrando a estrutura de talhões coletadores e a disposição dos tratamentos estudados.

parcelas distintas, compondo assim os tratamentos, sendo que o sistema de plantio direto, como o próprio nome indica, não possui operações de preparo. O preparo secundário é composto de gradagens leves para o nivelamento do terreno e é utilizado somente nos três tratamentos onde é feito o preparo primário. Para o plantio de inverno, nos tratamentos que possuem operações de preparo, apenas uma gradagem leve era efetuada antes do plantio da aveia preta. É importante ressaltar que o plantio segue a direção do declive, com intuito de não mascarar o efeito que cada sistema de preparo poderá proporcionar.

O experimento vem sendo conduzido desde 1979 pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas. Os dados referentes a este estudo foram coletados nos anos-agrícolas de 1989/90, 1990/91 e 1991/92.

Os tratamentos foram instalados nos talhões coletores de enxurradas, com tamanho adequado para se detectar diferenças entre as operações de preparo. O alto custo de construção desta estrutura, inviabilizou a repetição entre os tratamentos, que da mesma forma não puderam ser considerados como blocos, já que cada um deles recebeu um sistema de preparo do solo diferenciado. Portanto, a única alternativa viável para a interpretação dos dados obtidos, foi a simples comparação de médias encontradas entre os quatro tratamentos utilizados no experimento, e seu comportamento ao longo dos anos.

4.3. Determinações efetuadas

4.3.1. Perdas de solo e água

A determinação das perdas por erosão superficial de arrastamento, da mesma maneira que para as demais formas de erosão, poderá ser quantitativa e qualitativa. A determinação quantitativa se faz pela medição do volume e da intensidade do escoamento e, a qualitativa, pela análise das substâncias e elementos transportados no material erodido. O estudo da erosão por meio da medição direta do volume do material erodido é um dos mais fáceis e úteis para a avaliação do efeito de diferentes tipos de solo e, sobretudo, da eficiência das diferentes práticas de controle da erosão (BERTONI & LOMBARDI, 1990).

Para efeito de comparação, as perdas de solo e água são registradas e avaliadas durante os anos agrícolas, que iniciam-se no primeiro dia do mês de julho e terminam no último dia do mês de junho do ano subsequente.

As perdas por erosão foram determinadas sempre que houvesse escoamento de enxurrada. A precipitação total e a intensidade das chuvas, foram medidas utilizando-se um pluviômetro e um pluviógrafo respectivamente, instalados próximos ao experimento. Existindo enxurrada durante uma

chuva, a água e a terra carregadas por esta, ficam depositadas no tanque de decantação. Nas enxurradas mais volumosas, esse tanque de decantação pode extravasar e, no seu vertedouro existe um divisor especial que separa e conduz uma fração alíquota do extravasado para um segundo tanque ou para um segundo divisor. Em alguns sistemas coletores, especialmente em grandes áreas, há necessidade de acrescentar um terceiro tanque, recebendo a fração separada por um segundo ou mesmo terceiro divisor, como mostra a Figura 3.

Neste estudo, os talhões coletores encontram-se equipados com um tanque de decantação e dois tanques de armazenamento com divisores tipo Geib de 11 e 7 janelas. O divisor tipo Geib com várias janelas, sempre de número ímpar, equipamento utilizado para dividir o fluxo de enxurrada e obter uma fração alíquota, consiste em uma caixa metálica onde sai a enxurrada por uma série de janelas verticais, todas de um mesmo tamanho, como pode ser visto na Figura 4. A enxurrada que passa pela janela central é conduzida ao tanque seguinte para ser medida, e a que passa pelas outras janelas é conduzida para um sistema comum de desagüe.

Portanto, quando se utiliza um divisor de onze janelas, apenas 1/11 da enxurrada é conduzida do tanque de sedimentação para o tanque de armazenamento.

A altura da água nos tanques é determinada por meio de uma régua colocada junto ao divisor, e a terra é medida em baldes graduados. De posse dessas medidas pela utilização de fórmulas desenvolvidas por MARQUES (1951), calcularam-se as perdas de água e/ou sedimentos para determinada chuva. Os dados de chuvas diárias são agrupados mensalmente, obtendo-se assim índices de perdas de água em (mm) e de sedimentos em (t/ha) para os meses durante o ano agrícola.

Figura 3. Sistema coletor para talhões de 1.000 m² (20x50 m)
 A: tanque de decantação com telas; B: divisor tipo Geib com 11 janelas; C: tanque de armazenamento; D: divisor tipo Geib com 5 janelas; E: tanque de decantação.

Fonte: BERTONI & LOMBARDI (1990).

Figura 4. Divisor tipo Geib com 11 janelas para talhões de 1.000 m^2 (20x50 m).

Fonte: BERTONI & LOMBARDI (1990).

4.3.2. Densidade do solo - Porosidade Total - Macro e Microporosidade

Para amostragem das relações massa/volume do solo, nos diferentes tratamentos utilizaram-se anéis volumétricos numerados e tarados de 100 cm³ de capacidade, num total de 40 anéis por tratamento. Para tanto, foram escavadas 5 trincheiras em cada talhão de 1,0 x 1,0 x 0,80 m e retiradas amostras em quatro profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm e 60-70 cm, em duas faces de cada trincheira, totalizando dez repetições para cada profundidade amostrada por tratamento. As profundidades escolhidas para amostragem abrangem as zonas de maior influência do preparo do solo, além de amostras mais profundas que dificilmente serão afetadas pelos tratamentos. Posteriormente estas amostras foram levadas ao laboratório, onde adicionaram-se gase e elástico na parte inferior do anel e em seguida foram colocadas em bandejas, saturando-se em água, acrescentada aproximadamente cada 6 horas até atingir quase a altura dos anéis. Após saturadas as amostras, estas foram retiradas da água deixando-se escoar o excesso por poucos segundos, pesando-as em seguida para determinar a porosidade total, a qual denominou-se porosidade total medida.

Com o intuito de comparar os valores obtidos e aferir a metodologia utilizada, determinou-se ainda a porosidade total calculada, segundo BUCKMAN & BRADY (1968), através da equação:

$$P.T. (\%) = \left(1 - \frac{ds}{dp}\right) \times 100 \quad (1)$$

onde: PT é a porosidade total calculada, ds é a densidade do solo e dp é a densidade de partícula do solo, adotando-se neste trabalho o valor médio de 2,65g/cm³.

ARZENO (1990), determinou a densidade de partícula de 30 amostras de um solo da unidade pedológica Barão Geraldo, o qual apresentou uma média de 2,65 g/cm³ e um coeficiente de variação de 1,6%, justificando assim o valor médio adotado neste trabalho para os cálculos de porosidade total.

Depois de coletados os dados necessários para a determinação das curvas de retenção de água, macro e microporosidade, foram pesadas a gase e o elástico separadamente. Posteriormente as amostras foram à estufa a 105°C até atingir peso constante ou peso seco, o qual foi utilizado nos cálculos de densidade do solo, porcentagem de macro e microporos e dos diferentes pontos das curvas características. Os parâmetros adotados para quantificar as porcentagens de macro e microporos, seguiram metodologia descrita por OLIVEIRA (1968), onde:

$$MP = PT - \theta_{60cm} \quad , \% \text{ em volume} \quad (2)$$

e

$$mP = PT - MP, \% \text{ em volume} \quad (3)$$

ou

$$mP = \theta_{60\text{cm}}, \% \text{ em volume} \quad (4)$$

sendo que: MP é a porcentagem de macroporos; PT é a porosidade total medida; mP é a porcentagem de microporos e $\theta_{60\text{cm}}$ é a porcentagem de água retida a 60 cm de coluna d'água, que corresponde a porcentagem de microporos.

4.3.3. Capacidade de água disponível, Capacidade de aeração e Curvas de retenção de água

Para avaliação da retenção de água das amostras coletadas, além dos métodos de preparo das amostras, saturação, secagem e pesagem descritos no item 4.3.2., foram efetuadas avaliações em mesa de tensão.

Após o processo de saturação, as amostras foram colocadas em uma mesa de tensão circular de 0,60 m de diâmetro e 15 cm de altura, fechada com tampa e cujo meio de tensão é constituído de esferas de vidro com um diâmetro médio de 35 μm , utilizada para tensões de 0 - 8 KPa, seguindo metodologia de TOPP & ZEBCHUK (1979). Determinou-se então os pontos de 0,5, 5 e 6 KPa da curva característica, pesando as amostras após terem atingido o equilíbrio.

Depois do processo de pesagem e secagem, as

amostras foram retiradas dos anéis volumétricos, moídas e peneiradas com malha de 2 mm. As amostras deformadas foram colocadas em anéis de borracha e saturadas novamente para determinação do ponto de 1500 KPa, em placa de Richards, seguindo metodologia descrita por RICHARDS (1965).

As curvas assim determinadas foram ajustadas pela equação:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha h)^n]^m \quad (5)$$

onde: θ é a umidade do solo na tensão h ; θ_r é a umidade residual; θ_s é a umidade de saturação; α é o valor de entrada de ar; h é a tensão da água no solo; m e n são parâmetros empíricos, seguindo metodologia de GENUCHTEN & NIELSEN (1985).

Para a avaliação da capacidade de aeração (Car) e de água disponível (Cad), foram efetuados cálculos seguindo parâmetros estabelecidos por THOMASSON (1978). O autor cita a capacidade de aeração (Car) como sendo a diferença do volume de ar presente em uma amostra de solo equilibrada na saturação até 5 KPa de sucção. Por outro lado, a capacidade de água disponível (Cad) é determinada pelo volume de água retido entre 5 Kpa e 1500 KPa de sucção, em condições de equilíbrio. Ambos os parâmetros são expressos em porcentagem do volume de solo amostrado. Posteriormente os dados obtidos são plotados em gráfico onde recebem uma classificação para a condição estrutural do solo.

Todos os dados foram obtidos no laboratório de Solo

e Água da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico, sob temperatura controlada de 18°C.

$$Car = \theta S - \theta 5KPa \quad (6)$$

$$Cad = \theta 5KPa - \theta 1500KPa \quad (7)$$

onde: θ é a umidade de saturação; 05KPa é o volume de água retido a 5KPa de sucção e 01500KPa é o volume de água retido a 1500 KPa de sucção.

4.3.4. Propriedades hídricas

Utilizando-se permeâmetros baseados no princípio de Mariotte, Tipo Guelph, modificado por VIEIRA¹, para fornecer água com uma carga hidráulica controlada a um orifício de 3 cm de diâmetro no solo, mediu-se a taxa constante de infiltração de água e calculou-se a condutividade hidráulica em solo saturado para os diferentes sistemas de preparo.

Em outubro de 1989 foram efetuadas leituras com permeâmetro, com 5 repetições por tratamento em duas profundidades (15 cm e 50 cm), utilizando-se também duas cargas hidráulicas (3 e 6 cm de coluna d'água). Em janeiro de 1990 repetiu-se a amostragem com a mesma frequência por talhão, e as mesmas cargas hidráulicas anteriormente utilizadas. No entanto, na segunda amostragem optou-se por eliminar avaliações a maiores profundidades (50 cm) que

¹ VIEIRA, S.R. Seção de Conservação do Solo - IAC, Comunicação Pessoal, 1989.

difícilmente evidenciariam os efeitos do preparo do solo.

Inicialmente foram perfurados orifícios com 15 cm de profundidade, utilizando-se um trado especial, que recorta o fundo do mesmo, deixando-o com uma forma cilíndrica quase que perfeita e de volume facilmente estimável. Após a tradagem utilizou-se uma escova plástica circular para escarificar suavemente as paredes e o fundo do orifício, amenizando assim o efeito do espelhamento eventualmente provocado pelo trado nestes locais, que poderiam artificialmente dificultar o processo de infiltração de água. Além disso, acrescentou-se uma fina camada de pedriscos (0,5 cm) no fundo do orifício para evitar possíveis turbulências, e que o material mais fino em suspensão entupisse as saídas de água do permeâmetro. A mesma metodologia é seguida para os orifícios de 50 cm de profundidade.

O permeâmetro é posicionado verticalmente sobre o orifício, sustentado por um tripé de forma que sua extremidade fique extremamente próxima, quase que tocando a camada de pedriscos no fundo do orifício. A operação tem início aplicando-se uma carga hidráulica de 3 cm de água, que deverá preencher o orifício com esta mesma altura de lâmina (3 cm). Acionou-se então neste exato momento o cronômetro. A medida que a água infiltra-se através das paredes do orifício, cabe ao permeâmetro manter a lâmina d'água no interior do mesmo sempre constante, regido pelo princípio de Mariotte, como um garrafão de cabeça para baixo. As leituras

são efetuadas a cada um minuto, sempre que possível, através de um mostrador lateral no aparelho, que mostra o nível da água no interior do mesmo. As leituras cessam após a averiguação plena de que o processo está estabilizado, ou seja, quando após 4 leituras consecutivas a quantidade de água infiltrada é a mesma. Em seguida eleva-se o dispositivo que permite o aumento da carga hidráulica para 6 cm de água e repete-se a mesma operação descrita anteriormente.

A utilização de pelo menos duas cargas hidráulicas, tem por objetivo, encontrar uma solução única para duas incógnitas, quais sejam, condutividade saturada no campo e o potencial matricial de fluxo.

Os dados de condutividade hidráulica do solo saturado foram determinados por duas equações. A equação de LAPLACE & GARDNER e a equação de RICHARDS, ambas discutidas em REYNOLDS & ELRICK (1985), assim como boa parte da metodologia acima descrita, exceto adaptações efetuadas por Vieira¹.

Enquanto Laplace considerou em sua equação, o potencial gravitacional como sendo o principal fator na influência da condutividade hidráulica saturada, tomando ainda como ponto de referência o bulbo molhado onde o solo encontra-se praticamente em estado saturado e outras forças inexistem, a equação de Richards, por sua vez, levou em consideração outros fenômenos que contribuem para a condutividade hidráulica saturada, a exemplo da capilaridade, potencial matricial e logicamente o potencial gravitacional.

Tais considerações feitas por Richards porporcionam valores de condutividade hidráulica saturada normalmente menores do que aqueles determinados pela equação de Laplace.

Os valores de condutividade hidráulica em solo saturado determinados por ambas as equações acima citadas encontram-se expressos em (m/dia), enquanto que os valores de infiltração média foram determinados em (mm/dia).

Uma vez que as medições tenham sido feitas os dados são digitados e analisados segundo proposto em VIEIRA et al. (1988), com cálculos através de programa em FORTRAN que resolve as equações:

$$Q_1 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H_1^2}{c_1} + \pi \cdot a^2 \right) \cdot K_{fs} + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H_1}{c_1} \right) \cdot \phi m \quad (8)$$

$$Q_2 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H_2^2}{c_2} + \pi \cdot a^2 \right) \cdot K_{fs} + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H_2}{c_2} \right) \cdot \phi m \quad (9)$$

onde: K_{fs} é a condutividade hidráulica saturada no campo, ϕm é o potencial matricial de fluxo, Q é o fluxo constante, H é a carga hidráulica, c é um fator de geometria, e a é o raio do orifício onde as medições foram feitas. A solução das equações (8) e (9) gera valores de K_{fs} e de ϕm .

4.3.5. Controle de umidade do solo

Durante o período de janeiro a fevereiro de 1990 e 1991 os teores de umidade do solo foram monitorados indiretamente por meio de baterias de tensiômetros. Foram

instaladas 5 baterias de tensiômetros por talhão em 3 profundidades (15 cm, 30 cm e 70 cm). O tensiômetro é um equipamento cujo princípio de funcionamento é bastante simples, consistindo em uma cápsula porosa de cerâmica, em contato com um manômetro de mercúrio, completamente cheio de água. Quando colocado no solo, a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo através dos poros da cápsula porosa e o equilíbrio tende a estabelecer-se. Inicialmente, isto é, antes de colocar o instrumento em contato com o solo, sua água está à pressão atmosférica. A água do solo, que geralmente está sob pressões sub-atmosféricas, exerce uma sucção sobre o instrumento e dele retira certa quantidade de água, causando uma quebra na pressão hidrostática dentro do instrumento. Estabelecido o equilíbrio, o potencial da água dentro do tensiômetro é igual ao potencial da água no solo e o fluxo de água cessa. A diferença de pressão é indicada por um manômetro que pode ser um simples tubo em U com água ou mercúrio, indicador mecânico ou elétrico.

Um aspecto muito importante a ser considerado, é a condutância das cápsulas utilizadas nos tensiômetros no monitoramento da tensão da água no solo neste estudo. Cápsulas com condutância muito diferentes, apresentarão problemas no tempo de resposta do tensiômetro, tanto para o processo de umidecimento do solo através das chuvas, quanto para o inverso. Para tanto selecionou-se, utilizando-se um sistema de vácuo, 60 cápsulas de condutância próximas a 3 ml/min. de acordo com o recomendado por RICHARDS et al.

(1965).

A instalação do tensiômetro no campo, também é fator decisivo para um monitoramento bem sucedido. O contato entre a cápsula porosa e o solo precisa ser quase que perfeito, evitando assim erros nas leituras proporcionados por bolsões de ar localizados próximos as cápsulas porosas.

As leituras foram efetuadas uma vez ao dia, sempre que possível, utilizando-se uma régua graduada colocada ao lado da coluna de mercúrio formada no interior do manômetro. Seguindo sugestão de REICHARDT (1985), as leituras obtidas foram transformadas em potenciais matriciais da água no solo, através da fórmula:

$$\psi_m[A] = -12,6h + h_1 + h_2 \quad (10)$$

onde: $\psi_m [A]$ é o potencial matricial no ponto A; h é a leitura em cm de mercúrio; h_1 é a altura do manômetro em relação a superfície do solo; e h_2 é a profundidade de cápsula porosa em relação à superfície do solo.

A medida do potencial matricial por tensiômetro é geralmente limitada para valores menores que 100 KPa. Isto porque o manômetro mede vácuo com relação a pressão atmosférica externa, e, devido a impossibilidade de se manter uma coluna macroscópica de água sob tensões maiores que 100 KPa. Outro fator importante é a entrada de ar no tensiômetro através dos poros da cápsula de cerâmica, o qual ocorre comumente caso haja valores altos de tensão, havendo portanto uma quebra do sistema de vácuo e a pressão interna do

equipamento será a mesma que a da atmosfera, deixando assim de funcionar. No entanto, na prática, o intervalo de uso do tensiômetro vai da saturação até 80 KPa aproximadamente. Este intervalo de potencial matricial limitado, que pode ser medido por estes instrumentos, é de grande utilidade já que cobre o principal intervalo de umidade do solo de importância para culturas agrícolas.

4.3.6. Resistência à penetração

Em janeiro de 1990, foram efetuadas determinações com penetrógrafo, num total de dez repetições por tratamento, no sentido perpendicular ao declive até 50 cm de profundidade.

O penetrógrafo utilizado para determinar a resistência estática é do tipo que apresenta dinamômetro de mola com registrador gráfico, modelo SC-60 da Soil Control, pesando aproximadamente 3,9 kg.

O equipamento é operado pressionando-se o conjunto contra o solo. A resistência ao avanço de sua ponta é lida e registrada em gráfico pelo dinamômetro de mola.

De posse dos dados de campo, são traçadas curvas utilizando-se valores médios de dez repetições de resistência à penetração para as profundidades em que se desejam detectar camadas compactadas. Para tanto, dividiu-se o perfil do solo em intervalos de 5 cm obtendo-se o valor médio de resistência a penetração em (kg/cm^2), para cada profundidade.

Foram efetuadas ainda duas amostragens, uma em condições de solo mais seco e outra em condições de solo mais úmido, ou seja, um dia após uma chuva. Nas duas baterias de determinações foram retiradas amostras de solo à duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) para a determinação da umidade do solo no instante da amostragem. Tomou-se ainda o cuidado de utilizar-se um único operador para realizar as amostragens, procurando-se assim minimizar as possíveis variáveis devido ao operador que por ventura pudessem interferir nos resultados.

4.3.7. Cobertura morta

Para a determinação de cobertura morta deixada sobre a superfície do solo, foram feitas aleatoriamente, 5 repetições por tratamento. As leituras foram realizadas em outubro de 1989 logo após a colheita de aveia, avaliando-se a porcentagem de cobertura deixada na superfície após cada operação de preparo. Para tanto, foram efetuadas leituras em quatro diferentes épocas, ou seja, logo após a colheita da aveia preta, após o preparo primário da área, após o preparo secundário e 30 dias após o término das operações de preparo.

Foram utilizadas nesta amostragem uma armação de madeira de 1 m² e uma corda graduada de 5 em 5 cm. O quadro de madeira era colocado sobre a superfície do solo ao acaso, posteriormente com a corda graduada traçaram-se duas diagonais sobre o quadro de madeira e contavam-se os pontos

descobertos, ou seja, os pontos graduados da corda que concidentemente estivessem sobre um ponto do solo sem cobertura morta.

A metodologia acima descrita, segue sugestão de SLONEKER & MOLDENHAUER (1977), no entanto a instrumentação aqui utilizada foi reduzida em seu tamanho, para obter-se leituras mais rápidas e maior número de repetições.

Os dados expressos em porcentagem de cobertura na área avaliada, são de suma importância na complementação dos dados de perdas de solo e água.

A maior quantidade de cobertura sobre o solo, seja ela viva ou morta, deve proporcionar uma maior proteção da superfície do solo, evitando a desagregação e o selamento da mesma com conseqüente diminuição das perdas de solo e água.

Outro aspecto importante a se destacar, é o efeito das diferentes fases do processo de preparo do solo, além da própria decomposição da cobertura morta, que tendem a diminuir drasticamente seu efeito conservacionista, que possivelmente foram evidenciados pelas perdas de solo e água, sempre que houvessem chuvas de intensidade suficiente para provocá-las.

4.3.8. Produção

Os dados de produção para as culturas da soja variedade IAC-12 e aveia-preta, foram obtidos através das colheitas aleatórias de microparcelas de 2 m x 2,5 m (5 m² de

área útil), num total de 5 repetições por parcela. Depois de secagem em terreiro até 14 a 15% de umidade aproximadamente, a massa total foi pesada, e posteriormente os grãos foram separados para obter-se uma estimativa de produção de palha e de grãos em t/ha. As diferentes umidades das amostras obtidas foram utilizadas para correção do peso de grãos e da produtividade estimada. Para a cultura da soja, efetuou-se ainda a contagem do número de plantas das áreas amostradas para determinar-se a população nos diversos tratamentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Relações Massa/Volume

5.1.1. Densidade do solo

As densidades médias do solo obtidas para os quatro tratamentos em quatro profundidades encontram-se na Tabela 3 e são ilustrados na Figura 5.

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo (g/cm^3) compostas por dez repetições e coeficientes de variação (%)

Trata- mento	5		15		30		70	
	Profundidade (cm)							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	1,29	5,25	1,22*	6,64	1,16	4,99	1,13	5,92
PD	1,36	5,11	1,31	4,47	1,20	6,90	1,11*	5,86
GP	1,29	4,20	1,30	4,53	1,27*	4,69	1,14*	5,42
AD	1,26	6,65	1,25	4,95	1,18*	8,05	1,17*	5,67

AE: Arado escarificador; PD: Plantio direto; GP: Grade pesada e AD: Arado de discos.

* Médias obtidas com menor número de repetições, uma vez que, dados que indicavam erros de medição provocados por desestruturação da amostra foram desprezados.

Figura 5. Densidades médias do solo determinadas para as profundidades e tratamentos estudados.

Os dados encontrados próximos à superfície do solo, ou seja à profundidade de 5 cm, revelam valores maiores de densidade para o sistema de plantio direto. Este aumento é devido ao não revolvimento da superfície do solo denotando o rearranjo de suas partículas sob esse sistema de cultivo. Os tratamentos que utilizaram arado escarificador e grade pesada, mostraram valores idênticos para a densidade do solo a 5 cm de profundidade, entretanto os dados obtidos para o preparo com arado escarificador apresentaram maior variação, denotando a característica de trabalho do próprio implemento. O arado escarificador, através de suas hastes, "corta" o solo em segmentos localizados, proporcionando fendilhamentos que poderão atingir até 30 cm de profundidade. Em uma amostragem efetuada aleatoriamente, existe o risco de detectar-se efeitos pontuais para este sistema de preparo, mesmo que isto seja amenizado pelo preparo secundário, ou seja, nivelamento do terreno. Observa-se ainda, valores ligeiramente menores nas densidades a 5 cm de profundidade, para o preparo com arado de discos, mostrando o efeito da pulverização causada por este implemento. A 15 cm de profundidade, os menores valores de densidade do solo foram encontrados para o preparo com arado escarificador, entretanto, acompanhado do mais alto coeficiente de variação para esta profundidade. Destacou-se assim, maiores desvios em relação a média, refletindo possivelmente, a condição heterogênea do perfil do solo provocada pela ação do arado escarificador. O tratamento com arado de discos apresentou,

aos 15 cm de profundidade, valores intermediários de densidade do solo em relação aos demais tratamentos, aproximando-se em muito do valor médio obtido para a superfície, caracterizando portanto, um perfil homogêneo até esta profundidade. Valores médios mais altos foram encontrados para os sistemas sem preparo e preparado com grade pesada à 15 cm de profundidade. Para o talhão cultivado pelo sistema de plantio direto, ou seja, sem preparo, os valores médios maiores da densidade do solo, eram esperados, principalmente em condições superficiais. Segundo SIDIRAS et al. (1982) e VIEIRA & MUZILLI (1984), o não revolvimento periódico do solo provoca certa compactação da camada superficial o que resulta em aumento de densidade do solo.

Já para o tratamento grade pesada, valores maiores de densidade do solo poderiam, possivelmente, ser encontrados a esta profundidade (15 cm), em função da zona de atuação do implemento, no perfil do solo. A faixa de atuação dos diversos tipos de grade existentes, irá depender conjuntamente das próprias características do implemento utilizado, das condições morfológicas do solo em questão, e do seu conteúdo de umidade no momento da operação. Geralmente, as grades aradoras ou pesadas, tem profundidade de trabalho, variando entre 20 e 30 cm de profundidade. Em muitas situações porém, no entanto para grande parte dos casos, a compactação conhecida como "pé-de-grade" é encontrada a 15 cm de profundidade. Desta forma, valores maiores de densidade do solo poderiam ser esperados, para

esta profundidade. Entretanto, números muito parecidos com os obtidos para as condições superficiais neste tratamento foram encontrados, caracterizando portanto, um perfil homogêneo até então.

Para o horizonte de 30 cm, os valores médios de densidade do solo apresentaram, de maneira geral, um decréscimo. Alguns dos implementos utilizados, poderiam de alguma maneira, propiciar alterações marcantes nesta região do perfil. É comum encontrar-se solos com uma camada adensada no fundo dos sulcos de aração e de gradagem. Esta camada, chamada "pé-de-arado" ou "pé-de-grade" é formada por quase todos os implementos agrícolas quando operados em condições de solo úmido (VIEIRA et al., 1989). No entanto, observa-se neste caso valores de densidade do solo não muito grandes, para tratamentos com operações de preparo intensas. Por outro lado, observa-se coeficientes de variação mais altos para os sistemas de manejo que utilizaram grade pesada e arado de discos, em relação aos demais tratamentos, denotando possivelmente alguma variação na profundidade de preparo do ao longo da parcela.

Os dados referentes à 70 cm de profundidade, não mostram diferenças marcantes entre a maioria dos tratamentos empregados. De qualquer maneira, nota-se a pequena influência exercida pelos sistemas de preparo sobre a densidade do solo a maiores profundidade. Contudo, amostragens desta natureza possuem um caráter de aferição em relação a outros tipos de amostragens para a mesma região do

perfil do solo. Camadas compactadas abaixo da profundidade de preparo, poderão provavelmente trazer alterações na dinâmica da água contida no sistema.

Há que se considerar também, que a densidade do solo é pouco sensível a variações no campo como se pode notar pelos baixos coeficientes de variação na Tabela 1. Conseqüentemente, a densidade do solo muitas vezes não reflete com fidelidade o efeito causado pelo preparo do solo e nem seus reflexos sobre as plantas.

5.1.2. Porosidade total

Os valores médios de porosidade total das amostras obtidas para os quatro tratamentos testados em quatro profundidades encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Duas metodologias foram utilizadas para avaliar-se a porosidade total das amostras, sendo denominadas neste trabalho, como Porosidade Total Medida e Porosidade Total Calculada. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 6 e 7, respectivamente. É importante lembrar que a Porosidade Total Calculada, foi obtida através da equação 1, e a Porosidade Total medida foi obtida através da média das unidades de saturação das amostras em anéis volumétricos para cada tratamento.

Com relação a porosidade total medida em laboratório, o tratamento que apresentou de forma geral as maiores médias, foi o preparo com arado escarificador.

Tabela 4. Valores médios de porosidade total medida (%), compostos por dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Trata- mento	05		15		30		70	
	Profundidade (cm)							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	55,0	2,44	55,8*	2,81	56,8	2,13	56,1	2,37
PD	53,3	3,36	53,6	3,17	55,3	3,52	55,5*	4,09
GP	53,8	3,82	51,1	2,16	52,4*	2,65	56,3*	2,77
AD	53,7	5,56	51,7	5,04	53,2*	7,00	53,6*	3,50

* Médias obtidas a partir de um número menor de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de amostragem.

Tabela 5. Valores médios de porosidade total calculada (%), compostos por dez repetições, e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Trata- mento	05		15		30		70	
	----- Profundidade (cm) -----							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	51,3	4,98	54,1*	5,64	56,3	3,86	57,5	4,39
PD	48,8	5,35	50,4	4,38	54,8	5,66	58,1*	4,24
GP	51,3	3,95	50,9	4,40	52,2*	4,30	57,0*	4,17
AD	52,5	6,00	52,7	4,46	55,6*	6,44	56,0*	4,45

* Médias obtidas a partir de um número menor de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de amostragem.

Figura 6. Porosidade total medida, determinada para as profundidades e tratamentos estudados.

Figura 7. Porosidade total calculada, determinada para as profundidades e tratamentos estudados.

Obtendo valores percentuais ligeiramente maiores que os demais tratamentos, o talhão preparado com arado escarificador só não apresentou maior média para a profundidade de 70 cm. Da mesma forma, os coeficientes de variação para este tratamento foram relativamente mais baixos, denotando pequenos desvios em relação as médias obtidas.

Para o sistema de plantio direto, valores menores de porosidade total foram encontrados até 15 cm, sendo que a maiores profundidades, os números medidos aproximam-se em muito dos encontrados para o sistema de escarificação do solo.

Já para os tratamentos de cultivo mais intenso, como grade pesada e arado de discos, os valores de porosidade total medida são menores na faixa de 15 e 30 cm, possivelmente um reflexo de uma maior compactação do solo nesta região do perfil. No entanto, os valores médios de densidade do solo encontrados não condizem totalmente com esta hipótese. De qualquer forma, uma análise individual revela uma possível restrição no movimento de ar e água, principalmente a 15 cm de profundidade, para os sistemas de gradagem pesada e aração excessiva em função da redução de porosidade total nesta região do perfil. A maiores profundidades (30 cm), os dois sistemas de preparo apresentam ainda valores relativamente baixos em relação aos sistemas de cultivo mínimo e sem preparo, contudo, em menor intensidade.

Para a porosidade total calculada, onde tem-se

uma relação direta com os valores médios de densidade do solo, os números encontrados apresentam alterações em relação aos sistemas de gradagem pesada, plantio direto e aração utilizando o arado de discos. Inicialmente, observa-se de maneira geral um aumento dos coeficientes de variação, mostrando uma maior amplitude dos valores de porosidade total calculada em relação à medida. Esta maior variação pode ser explicada, como citado anteriormente, pela relação direta com os valores médios de densidade do solo. As médias obtidas apresentaram uma menor diferença entre os tratamentos, uma vez que, a dispersão dos dados mascarou as diferenças marcantes entre os mesmos. O sistema de escarificação do solo, por exemplo, obteve os maiores valores de porosidade total nas profundidades de 15 e 30 cm, zona esta de franco desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas, principalmente em seus estágios iniciais. Já o sistema de plantio direto, apresentou valores mais expressivos a 70 cm de profundidade, explicado talvez, pela ação de organismos que interagem com o sistema de um perfil totalmente preservado, onde somente a linha de semeadura é ligeiramente revolvida. Em condições superficiais, ou seja, à 5 cm de profundidade, o tratamento arado de discos apresentou a melhor média de porosidade total calculada, possivelmente provando seu alto poder de desestruturação quando associado ao trabalho com grades leves. A alta porosidade superficial, associada diretamente a pulverização do solo, propicia um ambiente favorável ao desenvolvimento de pequenas radículas

no instante da germinação de sementes e mudas, contudo, há de levar-se em consideração o aspecto conservacionista deste sistema, onde a superfície do solo torna-se extremamente vulnerável a selamentos superficiais, arraste por enxurradas ou até mesmo pela ação dos ventos.

5.1.3. Macro e Microporosidade

Segundo a metodologia descrita avaliaram-se a microporosidade, através da água que fica retida nas amostras após estabelecido o equilíbrio na mesa de tensão a 6 KPa, e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade saturada ou total e a microporosidade. Os dados, para as diferentes profundidades avaliadas são apresentados nas Tabelas 6 e 7, para micro e macroporosidade respectivamente, lembrando que as médias apresentadas, são resultantes de dez repetições para cada profundidade e cada tratamento. Conjuntamente são apresentados ainda, os coeficientes de variação para as médias obtidas.

Com relação à porcentagem de microporos, observa-se uma homogeneidade entre os tratamentos. Apenas pequenas diferenças podem ser notadas, como no tratamento que utiliza o arado escarificador, onde valores percentuais ligeiramente mais altos foram encontrados a 5 cm de profundidade como mostra a Figura 8. A escarificação do solo permitiu ainda um maior percentual de microporos na faixa de 15 cm do perfil, praticamente igualando-se aos

valores obtidos pelo sistema de plantio direto e gradagem pesada. Já a 30 cm de profundidade o tratamento grade pesada apresentou a maior porcentagem de microporos, possivelmente um reflexo direto de uma maior compactação e conseqüentemente uma maior resistência à penetração.

Tabela 6. Microporosidade média (%), resultante de dez repetições nas quatro profundidades avaliadas e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Tratamento	05		15		30		70	
	----- Profundidade (cm) -----							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	41,1	5,26	39,2*	3,71	39,2	4,23	40,4	2,9
PD	39,2	3,40	39,1	3,21	40,0	4,04	40,4*	3,5
GP	40,0	5,91	39,1	5,17	42,2*	4,09	41,3*	7,3
AD	38,4	4,21	38,8	3,79	38,9*	7,36	41,2*	1,1

* Médias obtidas a partir de um menor número de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de medição.

Tabela 7. Macroporosidade média (%), resultante de dez repetições nas quatro profundidades avaliadas e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Tratamento	05		15		30		70	
	Profundidade (cm)							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	13,9	21,29	16,7*	14,55	17,6	13,62	15,7	13,0
PD	14,0	20,47	14,5	12,56	15,2	14,12	15,1*	21,0
GP	13,8	16,35	12,0	17,02	9,7*	13,20	15,0*	17,69
AD	15,3	22,90	12,9	11,96	14,4*	24,80	12,4*	15,01

* Médias obtidas a partir de um menor número de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de amostragem.

Figura 8. Microporosidade determinada para as profundidades e tratamentos estudados.

Esta suposição só é válida, após uma análise conjunta de parâmetros como porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo e a própria resistência à penetração. Contudo, o dado acima mencionado não deixa de ser um indicativo para detectar-se camadas compactadas ao longo do perfil analisado. O tratamento grade pesada, apresentou novamente maiores valores de microporosidade a 70 cm de profundidade, não diferindo em muito do sistema que utilizou o arado de discos. Observa-se ainda para a microporosidade determinada, coeficientes de variação relativamente mais baixos em vista dos detectados para a macroporosidade.

Os coeficientes de variação para macroporosidade são considerados altos. No entanto a maioria dos dados mostraram variações médias da ordem de 15%, o que segundo PIMENTEL GOMES (1984) pode ser considerado médio. Nota-se também de maneira geral, uma maior proporção de microporos do que macroporos em todos os tratamentos. A proporção de macroporos para a profundidade de 5 cm foi maior no tratamento que utilizou o arado de discos, corroborando com as informações encontradas para porosidade total calculada. Por outro lado, em maiores profundidades, ou seja, em 15, 30 e 70 cm o tratamento com arado escarificador obteve as maiores proporções de macroporos, denotando provavelmente uma maior capacidade de aeração para estas regiões do perfil do solo, como mostra a Figura 9.

Figura 9. Macroporosidade determinada para as profundidades e tratamentos estudados.

Os sistemas que promoveu maior revolvimento do solo, utilizando grade pesada e arado de discos apresentaram as menores porcentagens de macroporos na faixa de 15 a 30 cm de perfil. Destacou-se sobretudo, o preparo com grade pesada, apresentando uma proporção de macroporos ligeiramente menor que os 10% considerados críticos para o crescimento das raízes, segundo BAVER et al. (1973). A baixa proporção de macroporos para o tratamento grade pesada, exatamente na faixa de atuação do implemento, reflete possivelmente as condições desfavoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas, fato este não evidenciado totalmente pelos dados determinados para densidade do solo.

5.1.4. Capacidade de aeração e Capacidade de água disponível

Os dados referentes a capacidade de aeração em função do sistema de preparo encontram-se na Tabela 8. Observa-se inicialmente, uma maior porcentagem de poros com capacidade de aeração para o tratamento que utilizou o arado de discos, como mostra a Figura 10, confirmando dessa maneira, os dados obtidos para macroporosidade. Por outro lado, os valores percentuais encontrados a maiores profundidades (15, 30 e 70 cm) não mereceram destaque. No entanto, o dado referente a 30 cm de profundidade chama a atenção pelo seu alto coeficiente de variação (Tabela 8), ressaltando maiores variações em relação a média,

Tabela 8. Capacidade de aeração média (%), resultante de dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Tratamento	05		15		30		70	
	Profundidade (cm)							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	12,4	23,33	15,2*	15,30	16,1	15,59	14,0	13,06
PD	12,9	21,30	13,4	13,18	14,0	14,90	13,2*	23,22
GP	12,3	19,00	10,9	19,00	8,8*	12,01	13,2*	17,71
AD	13,8	24,13	11,9	12,51	12,9*	25,49	11,1*	14,41

* Médias obtidas a partir de um menor número de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de amostragem.

refletindo possivelmente falhas na metodologia utilizada, ou até mesmo, alterações provocadas por efeitos locais. Para o solo preparado com arado escarificador, altos coeficientes de variação também ocorreram, mais precisamente em condições superficiais (5 cm). Uma maior variação para a superfície, não é contudo tão preocupante, dada a maior influência de fatores externos além da dificuldade operacional em coletar amostras indeformadas muito próximas à superfície. Em relação as médias obtidas, o preparo com arado escarificador apresentou valores relativamente superiores aos demais tratamentos nas profundidades (15, 30 e 70 cm). Uma maior porcentagem de poros capaz de estabelecer boas condições de aeração a estas profundidades, provavelmente refletem uma maior continuidade entre os mesmos, mostrando desta forma uma preservação benéfica da estrutura do sistema proporcionada pelo tipo de preparo utilizado. Condições favoráveis de

porosidade, poderão possivelmente permitir ao solo em questão, um maior fluxo gasoso entre a atmosfera e a rizosfera, uma maior taxa de infiltração evitando assim danos causados pela erosão.

Por outro lado, nota-se valores relativamente menores para o tratamento grade pesada a 15 e 30 cm de profundidade. Os números apresentados aproximam-se em muito de uma condição desfavorável, uma vez que, solos com capacidade de aeração menores que 5%, provavelmente encontrar-se-iam em uma condição anaeróbica ou impermeável, apresentando uma baixa capacidade de redistribuição de água, como cita THOMASSON (1978). Embora os valores aqui determinados encontram-se acima do nível crítico anteriormente citado, pode-se inferir que, o manejo utilizado possui tendências convergentes ao processo de degradação da estrutura natural do solo. Efetuando-se uma análise mais detalhada, observa-se que boa parte dos operadores de máquinas agrícolas, em trabalhos de preparo do solo, mostram boa aceitação pela grade pesada ou aradora. Um implemento de alto rendimento e fácil operacionalidade, muitas vezes é utilizado de forma excessiva, vítima das suas próprias qualidades. A excessiva manipulação mecânica dos solos, utilizando implementos pesados para obter-se altos rendimentos, em condições distantes do ponto de umidade ideal para operações dessa natureza, poderão possivelmente refletir situações muito semelhantes a encontrada.

Para sistemas sem preparo, ou seja em plantio direto, observa-se uma tendência regular ao longo do perfil para sua porcentagem de poros responsáveis pela aeração. Os dados mostram ainda, um suave incremento desta porcentagem até 30 cm de profundidade, decaindo ligeiramente a 70 cm. Os coeficientes de variação encontrados nas zonas superficiais (15 cm) e a maiores profundidades (70 cm) são relativamente mais altos. Há de se contar com a possibilidade de que estes dados, estejam relacionados diretamente com a heterogeneidade do perfil, quando submetido a este sistema de manejo, onde a intervenção biológica é marcante provocando variações imprevisíveis. Outra possibilidade reside na metodologia utilizada, que a exemplo de tantas outras possui também suas limitações. É importante lembrar que, o comportamento regular do sistema de plantio direto em relação aos demais tratamentos, pode provavelmente estar refletindo a condição de equilíbrio estabelecida no meio, podendo possivelmente proporcionar alterações qualitativas importantes no sistema de produção agrícola.

Paralelamente são apresentados os dados de capacidade de água disponível, expressos em porcentagem do volume de poros presentes nas amostras, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9. Capacidade de água disponível (%), com médias compostas de dez repetições e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Trata- mento	05		15		30		70	
	Profundidade (cm)							
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
AE	24,7	16,49	20,6*	9,72	19,1	6,54	20,4	7,24
PD	22,7	6,57	21,1	5,84	19,9	5,16	20,5*	9,49
GP	24,0	11,30	21,3	8,18	22,1	6,33	22,1*	11,79
AD	23,7	6,79	21,7	5,02	21,2*	11,95	22,4*	9,03

* Médias obtidas a partir de um menor número de repetições, devido ao descarte de dados que indicavam erros de amostragem.

De maneira geral, observa-se valores menores dos coeficientes de variação para os dados de capacidade de água disponível em relação aos dados de capacidade de aeração. Desta forma, é importante ressaltar a maior variação dos resultados nas medições de poros menores que 60 μm , possivelmente devido a maior amplitude entre as tensões utilizadas como limites na determinação desta classe de poros responsáveis pelo fornecimento de água. Os valores encontrados, devem contudo sofrer confirmações feitas por avaliações de campo, mostrando desta forma sua contribuição real no fornecimento e abastecimento de água no solo em questão. As médias obtidas não foram muito diferentes das médias encontradas para as outras profundidades. Discretos aumentos na porcentagem de poros chamaram a atenção para o sistema de escarificação a 5 cm,

Figura 10. Capacidade de aeração média (%), determinada para as profundidades e tratamentos testados

para o preparo com grade pesada aos 30 cm de profundidade e para o tratamento que utilizou o arado de discos a 15 e 70 cm, como mostra a Figura 11. O sistema de plantio direto não obteve a maior média em nenhuma das profundidades avaliadas, apresentando um comportamento inverso ao de capacidade de aeração, tendo desta maneira a sua porcentagem de poros menores decrescendo com a profundidade até 30 cm.

Os conceitos de Car e Cad anteriormente discutidos são melhor interpretados quando analisados de forma conjunta. THOMASSOM (1978), propõe uma forma de classificação da condição estrutural do solo, onde os dados de Car e Cad são confrontados em um gráfico composto por faixas de qualificação. As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam os gráficos de classificação da condição estrutural do solo para os quatro tratamentos testados nas quatro profundidades avaliadas. Na Figura 12, observa-se a boa classificação para o solo submetido à escarificação, quando confrontou-se os dados de Car e Cad obtidos para este tratamento. O ponto encontrado para as condições superficiais afastou-se dos demais devido a sua maior porcentagem de poros menores que 60 μm . Os pontos de 15, 30 e 70 cm aproximaram-se em muito da faixa de classificação considerada muito boa. O sistema de plantio direto apresentou também uma classificação boa para suas condições estruturais, como mostra a Figura 13. No entanto, observa-se para este tratamento um melhor agrupamento dos pontos na faixa tida como boa para a classificação de Thomasson,

refletindo assim uma condição de homogeneidade proporcionada pelo tipo de manejo em preparo.

Da mesma forma, o preparo com arado de discos apresentou uma classificação boa para sua condição estrutural em todo o seguimento do perfil amostrado, como mostra a Figura 15. Contudo, observa-se um distanciamento maior dos pontos em relação a linha limite para uma classe de estrutura muito boa, principalmente dos pontos determinados para profundidades maiores que 15 cm. O posicionamento obtido pelos pontos, permite dizer que, qualitativamente o solo preparado com arado de discos está mais próximo de uma condição estrutural regular do que muito boa. Já para o talhão que foi submetido a gradagens pesadas, a classificação encontrada apontou pontos deficientes quanto ao aspecto estrutural do solo. A Figura 14 mostra os pontos obtidos para as profundidades 5, 15 e 70 cm ainda em condições de classificação estrutural boa. No entanto, o ponto avaliado a 30 cm determinou uma estrutura apenas regular nesta faixa do perfil. Da mesma forma, o ponto apresentado para 15 cm encontra-se muito próximo do limite da faixa regular de estrutura. Classificações como estas assumem um caráter preocupante em relação ao sistema de manejo utilizado e sua eficiência na preservação das condições ideais de estrutura do solo, visando o melhor desenvolvimento das culturas nele implantadas.

Figura 11. Capacidade de água disponível (%) determinada para as profundidades e tratamentos estudados.

Figura 12. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento arado escarificador.

Figura 13. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento plantio direto.

Figura 14. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento grade pesada.

Figura 15. Classificação da condição estrutural do solo em termos de capacidade de ar (Car) e água disponível (Cad) para o tratamento arado de discos.

5.1.5. Curvas de retenção de água do solo

As Figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam as curvas de retenção de água para os quatro tratamentos e para as quatro profundidades. Encontram-se ainda nas Tabelas 10, 11, 12, e 13 os parâmetros θ_r , θ_s e α para as profundidades 5, 15, 30 e 70 cm respectivamente.

Tabela 10. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 5 cm

Tratamento	θ_r	θ_s	α
	----- % -----		(cm^{-1})
AE	18,90	55,00	0,025445
PD	17,80	53,20	0,027097
GP	17,40	53,70	0,025596
AD	16,30	53,70	0,029161

Tabela 11. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 15 cm

Tratamento	θ_r	θ_s	α
	----- % -----		(cm^{-1})
AE	19,90	55,80	0,035580
PD	19,00	53,60	0,029549
GP	18,90	51,10	0,026182
AD	18,20	51,70	0,027228

Tabela 12. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 30 cm

Tratamento	θ_R	θ_S	α
	----- % -----		(cm ⁻¹)
AE	21,50	56,80	0,036417
PD	21,30	55,30	0,031367
GP	20,60	52,60	0,026980
AD	19,20	53,30	0,031194

Tabela 13. Parâmetros da equação de Genuchten & Nielsen (1985) para a profundidade de 70 cm

Tratamento	θ_R	θ_S	α
	----- % -----		(cm ⁻¹)
AE	22,10	56,10	0,032336
PD	21,70	55,40	0,026103
GP	20,70	56,80	0,032886
AD	19,50	55,90	0,031450

Para as curvas obtidas a 5 cm de profundidade, observa-se uma pequena superioridade nos valores percentuais de umidade retidos nas amostras provenientes do talhão preparado com arado escarificador. Para as várias tensões empregadas, o sistema de escarificação do solo manteve-se com valores mais altos de retenção de água, enquanto que os demais tratamentos comportaram-se de forma bastante homogênea, adotando um traçado onde suas curvas se cruzam e não apresentam diferenças notórias.

Figura 16. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 5 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.

Figura 17. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 15 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.

Figura 18. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 30 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.

Figura 19. Curvas de retenção de água no solo determinadas pelas amostras coletadas a 70 cm de profundidade para os quatro tratamentos estudados.

Observando-se os valores de umidade de saturação (θ_s) apresentados na Tabela 10, nota-se o maior percentual de poros tomados pela água no processo de saturação para o tratamento de escarificação do solo. Sendo este um possível indicativo da maior porosidade para este tratamento, que aliado aos valores de (C_{ad}) discutidos no item 5.1.4 poderão provavelmente justificar o traçado da curva de retenção de água e sua superioridade sobre os demais sistemas de preparo utilizados para a profundidade de 5 cm. Já para as curvas obtidas a 15 cm de profundidade, surgem de maneira discreta os efeitos dos sistemas de manipulação excessiva sobre a capacidade de retenção de água do solo. A Figura 17 apresenta as curvas dos tratamentos grade pesada e arado de discos como as mais deficientes na retenção de umidade a baixas tensões. Os baixos valores de saturação encontrados na Tabela 11 denotam o comprometimento da estrutura do solo nesta profundidade para ambos os tratamentos. O sistema de escarificação do solo apresentou os melhores valores de retenção de água a baixas tensões para as amostras coletadas a 15 cm de profundidade. Novamente destaca-se a forma com que o arado escarificador corta o solo, criando fendilamentos sem revolvê-lo, proporcionando possivelmente efeitos benéficos imediatos na capacidade de retenção de água no solo. A preservação parcial da estrutura natural do solo pelo arado escarificador, causa ainda leves incrementos na porosidade total do mesmo, sem no entanto, desestruturá-lo totalmente. As curvas determinadas para a profundidade de

30 cm vêm ressaltar tal condição, como mostra a Figura 18. De forma menos acentuada, o sistema de escarificação do solo mostrou mais uma vez sua melhor capacidade de retenção de água a baixas tensões. Confirmou-se ainda a performance insatisfatória dos sistemas de preparo intenso como o arado de discos e grade pesada, além da posição intermediária do sistema de plantio direto à exemplo do encontrado a 15 cm de profundidade. Apesar dos altos valores de densidade do solo encontrados para o sistema de plantio direto, especialmente em condições superficiais, os traçados determinados pelas curvas de retenção de água não apresentaram grandes diferenças em relação aos demais tratamentos. O não revolvimento do solo, aliado a manutenção da cobertura morta permitem a recomposição da população natural do solo além dos resíduos vegetais deixados por culturas anteriores no interior do perfil. Estes fatores possivelmente, contribuem de forma decisiva para a criação de poros e canais naturais, os quais assumem provavelmente uma função importante na retenção de umidade ao longo do perfil do solo apesar dos altos índices de densidade detectados. Para a parte alta da curva, onde a água encontra-se mais fortemente retida, não foram detectadas diferenças muito significativas, sendo que a contribuição da porcentagem de água retida acima de 6 KPa para a produção agrícola é limitada, estando as plantas na maioria dos casos já em condição de estresse hídrico nesta faixa de umidade.

Mesmo assim, as partes altas das curvas

encontradas para a profundidade de 30 cm, mostram uma condição desfavorável para o armazenamento de água no sistema de preparo que utilizou o arado de discos. É possível prever que a compactação causada logo abaixo da área de atuação do implemento tenha reduzido a porcentagem de espaços porosos, causando assim uma condição levemente desfavorável na retenção de umidade em relação aos demais tratamentos. No entanto os valores de densidade encontrados para esta profundidade, apresentam grande semelhança com os valores obtidos para os demais sistemas de preparo. Contudo, é importante lembrar que os valores de densidade do solo obtidos são o reflexo da média de dez amostras coletadas, onde existe a possibilidade de introdução de erro, amenizando desta forma o provável efeito nocivo do implemento utilizado. A Figura 19 mostra ainda as curvas de retenção de água a 70 cm de profundidade. Observa-se para estas curvas uma disposição bastante homogênea, onde não se detecta diferenças marcantes, uma vez que para esta faixa do perfil, os sistemas de preparo não manifestaram alterações visíveis.

5.2. Infiltração e condutividade hidráulica em solo saturado

As infiltrações medidas com permeâmetro para duas profundidades encontram-se na Tabela 14, com suas respectivas médias e coeficientes de variação. Para as determinações, os tratamentos de preparo reduzido apresentaram maiores infiltrações médias, sendo que a parcela

Tabela 14. Infiltrações (mm/h) médias resultantes de cinco repetições para duas profundidades e seus respectivos coeficientes de variação (%)

Profundidade	15 cm		50 cm	
Tratamento	Média (mm/h)	CV (%)	Média (mm/h)	CV (%)
AE	69,95	89,71	111,74	89,71
PD	65,60	18,67	99,01	44,03
GP	61,81	30,60	89,28	57,99
AD	34,46	33,94	64,13	28,71

com solo escarificado obteve a maior média de infiltração, para as duas profundidades, como pode ser visto na Figura 20. Por outro lado, o tratamento que utilizou arado de discos apresentou as menores taxas de infiltração, tanto à 15 cm como à 50 cm de profundidade. Os efeitos causados pelo sistema de preparo adotado podem possivelmente estar relacionados aos resultados obtidos. No entanto, torna-se difícil relacionar tais efeitos às taxas de infiltrações obtidas a 50 cm de profundidade. Em avaliações efetuadas a 15 cm pode-se dizer que a desestruturação excessiva do solo, causada pela aração convencional seguida de gradagem para destorroamento do mesmo, possivelmente proporcionou nos testes de infiltração uma grande quantidade de partículas finas em suspensão, as quais teriam sido responsáveis pelo selamento parcial dos poros, impedindo desta forma maiores

Figura 20. Infiltração média (mm/h) para as profundidades de 15 e 50 cm em duas datas diferentes para os quatro tratamentos estudados.

taxas de infiltração. Já para as determinações feitas a 50 cm de profundidade, acredita-se que variações entre as médias sejam a única justificativa coerente para os valores de infiltração mais baixos aqui detectados.

A Tabela 15 apresenta as determinações efetuadas com permeâmetro quatro meses depois, apenas na profundidade de 15 cm com o intuito de avaliar efeitos residuais deixados pelo preparo do solo. O sistema de plantio direto obteve desta feita, a melhor taxa de infiltração média, com valores bastante próximos dos registrados anteriormente como mostra ainda a Figura 21. Isto demonstra que o plantio direto preservou a estrutura do solo constante durante este tempo.

Tabela 15. Valores médios de infiltração (mm/h) e condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Laplace e Richards e seus respectivos coeficientes de variação, efetuados a 15 cm de profundidade nos talhões coletores de Campinas-SP quatro meses após a primeira amostragem

Tratamentos	Infiltração		Condutividade hidráulica			
			Laplace		Richards	
	Média (mm/h)	CV (%)	Média (m/dia)	CV (%)	Média (m/dia)	CV (%)
AE	29,95	102,62	2,66	102,61	1,53	63,74
PD	61,54	49,26	5,47	49,21	3,52	81,09
GP	23,02	45,29	2,04	45,38	1,63	82,50
AD	24,36	22,74	2,16	22,76	1,81	77,47

Destaca-se ainda a irregularidade encontrada para os valores médios de infiltração no tratamento que utilizou o arado escarificador. Nos primeiros testes este sistema de preparo atingiu as maiores médias, no entanto, em determinações efetuadas quatro meses depois encontraram-se valores muito próximos aos obtidos para os tratamentos grade pesada e arado de discos, destacando-se uma queda expressiva nos valores de infiltração média.

É importante ressaltar ainda os altos coeficientes de variação encontrados para as taxas médias de infiltração, excluindo-se apenas os resultados detectados a 15 cm de profundidade para o sistema de plantio direto na primeira amostragem efetuada. Pode-se portanto, atribuir ao efeito local os altos coeficientes de variação encontrados, proporcionando desta forma variações notáveis no comportamento dos tratamentos testados, a exemplo do sistema de escarificação do solo. Determinações feitas por VIEIRA et al. (1988) utilizando a mesma metodologia, em trabalho relacionando as propriedades do solo com a variabilidade espacial, foram obtidos coeficientes de variação superiores a duzentos por cento, denotando a sensibilidade destas medições a variações espaciais.

Nas Tabelas 15, 16 e 17 encontram-se os resultados obtidos para os testes de condutividade hidráulica em solo saturado, feito à duas profundidades inicialmente, e meses depois repetindo-se as amostragens na zona de trabalho dos implementos utilizados. Os valores de condutividade

hidráulica saturada foram determinados por duas metodologias distintas, a equação de LAPLACE/GARDNER e a equação de RICHARDS, ambas citadas por REYNOLDS & ELRICK (1985), como descreve o item 4.3.4.

Tabela 16. Dados de condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Richards medidos com permeâmetro

Profundidade	15 cm		50 cm	
Tratamento	Média (m/dia)	CV (%)	Média (m/dia)	CV (%)
AE	7,07	88,23	11,52	71,69
PD	5,41	58,82	10,37	39,87
GP	5,28	75,10	10,03	55,09
AD	3,69	63,43	6,56	40,74

Tabela 17. Dados de condutividade hidráulica saturada (m/dia) pelo método de Laplace medidos com permeâmetro

Profundidade	15 cm		50 cm	
Tratamento	Média (m/dia)	CV (%)	Média (m/dia)	CV (%)
AE	6,21	84,55	9,92	70,81
PD	5,83	18,68	8,79	44,05
GP	5,49	30,60	7,93	58,00
AD	3,06	18,93	5,69	28,87

Entre as médias obtidas, o preparo com arado escarificador e plantio direto se destacaram para a primeira e segunda amostragem respectivamente, como mostra as Figuras 21 e 22.

Nos sistemas de preparo que utilizaram arado de discos e grade pesada, os valores de condutividade hidráulica para a primeira amostragem efetuada foram os menores, independente da profundidade.

Segundo HILLEL (1971), as características do solo que modificam o valor da condutividade são porosidade total, distribuição de tamanho dos poros e a tortuosidade dos interstícios. Quaisquer que sejam as alterações proporcionadas pelo sistema de preparo do solo utilizado, estas provavelmente acabarão por modificar a permeabilidade do solo. A excessiva manipulação dos solos podem possivelmente, perturbar em muito, sua população biológica através da movimentação do terreno. Estas operações proporcionam provavelmente a morte de grande quantidade de organismos vivos, através da exposição pelo revolvimento do solo aos excessos de temperatura e alternância de umidade.

Por outro lado, sistemas de preparo do solo que procuram preservar o perfil, sem revolvê-lo excessivamente, conservando ainda boa parte do terreno coberta por resíduos das culturas, diminuindo a amplitude térmica e conservando a umidade, irão intensificar de forma decisiva a sobrevivência e reprodução dos organismos do solo. As maiores médias de condutividade para o sistema de escarificação do solo na

Figura 21. Condutividade de Laplace (m/dia) para as profundidades de 15 e 50 cm em diferentes datas para os quatro tratamentos estudados.

Figura 22. Condutividade de Richards (m/dia) para as profundidades de 15 e 50 cm em diferentes datas para os quatro tratamentos estudados.

primeira determinação e para o plantio direto na segunda, mostram a influência do sistema natural preservado, onde canais deixados por velhas raízes ou construídos por organismos da mesofauna do solo são conservados, proporcionando possivelmente um incremento notável nas taxas de condutividade. A própria estrutura física, através de seus macroporos pode agir de maneira decisiva neste processo, uma vez que, solos que apresentam sua superfície totalmente pulverizada, possuirão, provavelmente, boa parte dos seus poros bloqueados por partículas muito pequenas e dispersas, impedindo assim um caminhamento normal da frente de molhamento ao longo do perfil.

Observou-se ainda uma tendência para os valores da condutividade hidráulica do solo saturado serem menores na profundidade de 15 cm do que a 50 cm. Isto provavelmente ocorreu devido aos maiores valores de densidade do solo encontrados mais próximos à superfície do que a maiores profundidades. Resultados semelhantes foram encontrados por ARZENO (1990), que utilizou a mesma metodologia de determinação da condutividade hidráulica. O autor também verificou menores valores de condutividade na profundidade de 15 cm, comparada a de 50 cm e explica que o efeito dos rodados que atingem a camada mais superficial não chegam às mais profundas, coincidindo com as pesquisas realizadas por MACHADO & BRUM (1978).

Assim como ARZENO (1990), também constatou-se um alto coeficiente de variação para a maioria dos dados

obtidos. O autor menciona que o fato deve-se especialmente pela alta variabilidade espacial dos solos, típico das propriedades de movimentação tridimensional da água, originada pelas próprias características do processo, que pode ser muito influenciado pelas tubulações biológicas, originadas na atividade biológica vegetal ou animal. Como já mencionado anteriormente, a realização de um número maior de repetições possivelmente contribuiria para reduzir os valores dos coeficientes de variação encontrados. Mesmo assim, o número de repetições efetuado trouxe resultados expressivos, que podem ser atribuídos aos sistemas de preparo, uma vez que foram estas variáveis que proporcionaram as maiores diferenças nos locais em estudo, responsabilizando-se assim por grande parte dos efeitos contidos nos valores obtidos.

5.3. Controle de umidade do solo

O monitoramento efetuado através de tensiômetros para os meses de janeiro e fevereiro de 1991 encontram-se representados por curvas nas Figuras 23, 24 e 25 para as profundidades de 15, 30 e 70 cm respectivamente. As Figuras 26 e 27 apresentam os índices de precipitações para os meses de janeiro e fevereiro de 1991, respectivamente. O mês de janeiro apresentou períodos de estiagem bem definidos, já para o mês de fevereiro as chuvas distribuíram-se de maneira mais uniforme, mas com precipitações totais inferiores à janeiro.

Nota-se com nitidez na Figura 23 os períodos de estiagem mais críticos para todo o período, mesmo porque é de se esperar grandes oscilações de umidade e temperatura nas camadas superficiais do solo, refletindo assim de forma mais acentuada os processos de secagem e umidecimento do solo. Para a profundidade de 15 cm o tratamento que utilizou grade pesada manifestou-se discretamente com valores de tensão mais altos em relação aos demais tratamentos para o primeiro período de estiagem. No entanto, para o segundo período de estiagem já no mês de fevereiro, fica evidente a menor percentagem de umidade existente próximo a superfície para tratamentos que utilizaram arado escarificador e plantio direto. Nos sistemas de cultivo mínimo, como os anteriormente citados, o não revolvimento do solo possivelmente proporciona uma maior continuidade de poros na estrutura pouco danificada destes solos. Portanto é de se esperar que hajam perdas maiores por evaporação em zonas próximas à superfície para estes tipos de preparo do solo, já que nesta região as intempéries influenciam de maneira mais pronunciada os teores de umidade. Os processos de drenagem também contribuem para os teores de umidade encontrados nestas profundidades, acentuando-se de forma decisiva na presença de canais contínuos em que a água possa fluir espontaneamente. Contudo de maneira geral as curvas apresentadas para 15 cm de profundidade são bastante homogêneas, principalmente em períodos de precipitações, ilustrando somente picos de estiagem onde os sistemas de

Figura 23. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 15 cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos, durante o ciclo da soja.

Figura 24. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 30 cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos, durante o ciclo da soja.

Figura 25. Módulo do potencial matricial, na profundidade de 70 cm, no período de 14/01 a 28/02/91, para os quatro tratamentos, durante o ciclo da soja.

Figura 26. Distribuição pluviométrica para o mês de janeiro de 1991 registrada no local do experimento.

Figura 27. Distribuição pluviométrica para o mês de fevereiro de 1991 registrada no local do experimento.

cultivo mínimo destacam-se sensivelmente com altas tensões para a água retida no solo. Da mesma forma, as curvas obtidas para 30 cm de profundidade são bastante uniformes para os períodos de chuvas freqüentes, apresentando menores oscilações para os períodos secos refletindo desta maneira a menor influência das alterações climáticas para esta profundidade. Condições mais estáveis nesta faixa do perfil do solo diminuem consideravelmente as possíveis diferenças existentes entre os tratamentos, uniformizando gradativamente o comportamento entre os mesmos com conseqüente incremento de profundidade. Para os picos formados pelas curvas ocasionados por períodos secos, o tratamento que utilizou o arado de discos apresentou inicialmente condições hídricas mais desfavoráveis em relação aos demais tratamentos.

Possivelmente os baixos valores de condutividade hidráulica saturada aliados aos valores de enxurradas detectados para este tratamento, reflitam a baixa capacidade de armazenamento de água ao longo do perfil de solos que utilizam este implemento para o seu preparo. No entanto, períodos secos mostraram ainda variações entre os tratamentos para a profundidade de 30 cm, onde o sistema de plantio direto e de escarificação do solo mostraram índices mais elevados de tensão da água no solo. Para o sistema de plantio direto o ponto mais alto na curva é possivelmente efeito de boas condições de drenagem, haja visto que sua resposta à chuva que interrompeu o período de estiagem foi a mais pronunciada, denotando a melhor percolação até a

profundidade de leitura dos instrumentos em relação aos outros sistemas de preparo testados.

Para o sistema que utilizou o arado escarificador as altas tensões encontradas no final do período de monitoramento estão provavelmente relacionadas a falhas no sistema do equipamento utilizado. Observou-se durante todo o período de leituras, uma grande variação do comportamento dos instrumentos em períodos de estiagem, comprometendo a veracidade dos dados. Ainda que, mais equipamentos tenham sido montados com material adequado e por mão-de-obra qualificada, a confiabilidade dos dados obtidos fica comprometida quando analisada a grande variabilidade dos resultados.

Detectou-se ainda a maior propensão dos tensiômetros em perder água do seu interior para o meio do que o inverso. Mesmo em condições de umidade bastante favoráveis os equipamentos utilizados não apresentavam rápidas quedas em suas leituras, da mesma forma com que se observa os aumentos de tensão da água no solo em períodos de estiagem, ainda que fossem curtos. Portanto, valores incoerentes foram de certa forma mascarados pelas médias obtidas através das cinco repetições efetuadas por tratamento e da exclusão de pontos perdidos, contudo desvios desta ordem não puderam ser evitados.

As curvas obtidas para as profundidade de 70 cm mostram-se, como dito anteriormente, mais uniformes que as demais profundidades monitoradas. Contudo observa-se ainda

condições hídricas ligeiramente favoráveis para o sistema de plantio direto, que em quase todo o período de acompanhamento apresentou tensões mais favoráveis para a movimentação da água ao longo do perfil, tanto para a drenagem de excessos quanto para ascensão capilar. Nota-se ainda a melhor resposta dos sistemas de cultivo mínimo às precipitações consideráveis, com inclinações mais acentuadas nas curvas evidenciando assim um melhor potencial de drenagem.

Novamente há de se destacar a presença de pontos incoerentes para o tratamento com arado escarificador no final do período de monitoramento, reforçando a idéia de um problema local no qual teria sido instalada uma bateria de tensiômetros no talhão deste tratamento. Desvios bastante semelhantes ocorridos para este sistema de preparo, nas três profundidade testadas, em uma fase bastante crítica do período de monitoramento, evidenciam esta hipótese.

5.4. Resistência à penetração

Os gráficos contendo as curvas de resistência à penetração para os quatro tratamentos implantados, em condições de solo úmido e seco encontram-se representados nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

As porcentagens de umidade encontradas para o solo em estado úmido e seco a duas profundidades estão na Tabela 18, sendo que o solo caracterizado como úmido apresentou

estas condições naturais no instante das determinações e o solo caracterizado como seco foi intencionalmente amostrado, após alguns dias de estiagem, para futuras comparações. É importante destacar que o objetivo principal deste teste foi a localização de camadas compactadas formadas pelos implementos utilizados no preparo do solo. As curvas obtidas para os tratamentos que utilizaram grade pesada e arado de discos em solo úmido, mostraram um comportamento bastante semelhante, com valores de resistência mais altos na profundidade de 15 cm caracterizando o "pé de arado ou pé de grade", apresentando ainda um gradativo decréscimo nos valores de resistência de acordo com o aumento da profundidade. Ainda em condições de solo úmido, observa-se que a curva proporcionada pelo tratamento plantio direto apresenta seus pontos de maneira mais uniforme, com pequena amplitude nos valores de resistência para todo o perfil caracterizando uma curva de traçado mais vertical, demonstrando a homogeneidade do perfil em relação a sua dureza.

Das quatro curvas obtidas nestas condições, a que apresentou um comportamento discordante com as demais foi a curva determinada no talhão preparado com arado escarificador, onde a resistência aumentou gradativamente em relação a profundidade. O topo da curva mostra com nitidez a região do solo movimentada pelo implemento utilizado.

Figura 28. Resistência a penetração (Pa) em relação a profundidade do solo para os quatro tratamentos estudados em condição de solo úmido.

Figura 29. Resistência a penetração (Pa) em relação a profundidade do solo para os quatro tratamentos estudados em condição de solo seco.

Tabela 18. Porcentagens de umidade a base de volume encontradas no solo para as determinações feitas com penetrógrafo em diferentes datas nos talhões coletores de Campinas-SP

Tratamentos	Solo úmido		Solo seco	
	Profundidade (cm)			
	0-20	20-40	0-20	20-40
	(%)			
AE	28,4	28,9	18,2	22,2
PD	29,2	27,9	18,5	23,6
GP	28,0	28,4	20,1	21,7
AD	28,9	29,1	18,4	21,0

Entretanto, observa-se ainda, altos valores de resistência a penetração para profundidades maiores, o que não faz muito sentido. Uma possível justificativa estaria relacionada a heranças de tratamentos passados utilizados nesta mesma área, pois não se pode atribuir tal fato ao efeito local já que cada ponto que compõe a curva é uma média de dez amostragens. Em condições de solo seco, ou melhor, de secamento superficial ocorrem desvios dos níveis de dureza em superfície, sem portanto mascarar a existência de camadas adensadas a maiores profundidades. Para os preparos de grande movimentação de superfície, principalmente o efetuado com grade pesada, os valores de umidade encontrados são praticamente homogêneos para todo o perfil, como mostra ainda a Tabela 18.

O não secamento superficial neste tratamento, possivelmente está relacionado com a excessiva pulverização do solo com conseqüente eliminação do efeito de capilaridade. No entanto, observaram-se picos de dureza nas curvas em profundidade de 10 a 15 cm para o tratamento grade pesada e de 15 a 20 cm para o preparo com arado de discos, denotando assim claramente a camada que surge logo abaixo do local de atuação de arados e grades. Observa-se que para o plantio direto os maiores valores de resistência encontram-se na superfície e diminuem com o aumento da profundidade, possivelmente devido ao secamento superficial. A curva obtida para o arado escarificador em solo seco, foi por sua vez, a que apresentou maior uniformidade. Portanto, nestas condições, o tratamento que utilizou escarificação apresentou maior homogeneidade nos valores de resistência e com dureza menos elevada para a área de atuação do implemento, ou seja até 30 cm de profundidade. É importante destacar o desvio do ponto obtido para a profundidade de 15 cm, que provavelmente, foi ocasionado por alguns valores discrepantes através das repetições, ocupando neste caso uma posição não muito coerente. Embora as curvas obtidas para o tratamento com arado escarificador, apresentem traçados completamente diferentes os valores de resistência à penetração não possuem grandes alterações. No entanto, observa-se a diminuição dos valores de dureza a profundidades maiores que 30 cm, denotando possivelmente as boas condições de armazenamento de água em subsuperfície.

Contudo deve-se ressaltar que os penetrômetros convencionais para uso agrícola, apresentam limitações quanto ao seu uso. A mais importante sem dúvida nenhuma, é o aparecimento de uma camada do solo que oferece uma resistência muito grande fazendo com que o operador não consiga penetrar a haste de uma maneira contínua, dificultando o levantamento e prejudicando os resultados. STOLF (1991), cita recomendações fornecidas pela ASAE (1976), onde a velocidade de penetração deve ser constante e com valores próximos a 180 cm/minuto, procedimento este de difícil execução, mesmo em instrumentos que dependem da força de um único operador. Possivelmente tais limitações tenham provocado resultados incoerentes nas curvas obtidas no talhão preparado com arado escarificador, apesar do número de repetições realizadas.

Segundo STOLF (1983), os penetrômetros tem por finalidade medir a resistência do solo à penetração, e como este valor é variável em relação a umidade do solo, não é possível avaliar em termos absolutos se um dado solo está ou não compactado, sendo que este problema ocorre com qualquer tipo de penetrômetro. Todavia a localização de camadas compactadas, fornece subsídios suficientes para a avaliação de efeitos diretos e indiretos, relacionados aos diferentes sistemas de preparo utilizados neste estudo.

5.5. Cobertura morta

Intimamente relacionada à produção de massa e ao sistema de preparo, estão as porcentagens de cobertura morta que permanecem sobre o solo. Os dados apresentados na Tabela 19 referem-se a cobertura produzida pela aveia-preta utilizada aqui como cultura de inverno. É importante atentar para as leituras feitas um mês após as operações de preparo do solo com o intuito de estimar o efeito de decomposição da cobertura morta na proteção da superfície do solo. A aveia-preta por ser uma gramínea contém elevada quantidade de fibras e alta relação C/N segundo CASTRO (1989), e por isto apresenta uma taxa de decomposição mais lenta do que quando comparada as leguminosas. Por este motivo, optou-se por medições que possam quantificar a contribuição da cobertura morta de inverno em relação as perdas de solo e água que são mais acentuadas no período primavera/verão. Os decréscimos nas porcentagens de cobertura morta após 35 dias do término das operações de preparo foram da ordem de 15 a 40% aproximadamente. Este decréscimo não pode ser atribuído unicamente às taxas de decomposição, sendo que o arrançamento da palha sobre a superfície do solo é dependente de enxurradas causadas pelas chuvas além da ação dos ventos. A Tabela 19 mostra ainda que existiram variações nas leituras, as quais manifestam-se inicialmente no tratamento

Tabela 19. Porcentagens médias de cobertura morta resultantes de cinco repetições, antes, durante e depois do preparo do solo

Tratamentos	Após Colheita (17/10/89)		Após Preparo Primário (29/10/89)		Após Preparo Secundário (14/11/89)		1 Mês Após Preparo (19/12/89)	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
	(%)							
AE	88,2	9,6	52,1	9,7	45,0	21,6	27,8	23,0
PD	98,8	1,1	89,6	5,8	84,6	5,5	68,2	9,0
GP	81,0	9,4	22,9	48,8	27,1	22,5	22,8	21,2
AD	78,0	21,7	27,9	17,8	12,5	45,3	17,1	21,6

grade pesada entre o preparo primário e o secundário e posteriormente para o tratamento que utilizou o arado de discos entre o preparo secundário e leituras feitas após o término das operações de preparo. Por serem estas amostragens, efetuadas ao acaso e suas repetições escolhidas aleatoriamente seguindo apenas o sentido do declive, elas proporcionaram variações que devem ser atribuídas unicamente ao efeito local. É importante ressaltar que mesmo após 35 dias do término das operações de preparo o sistema de plantio direto preservava ainda quase que 70% da cobertura morta para a proteção da superfície do solo, como mostra a Figura 30.

Figura 30. Porcentagens de cobertura morta sobre o terreno antes, durante e depois das operações de preparo do solo.

Por outro lado, os sistemas de cultivo mais intensos e pesados, incorporaram grande parte da palhada sobre a superfície, restando como proteção para a mesma apenas 20% em média, trazendo portanto efeitos prejudiciais para os solos condicionados a estes sistemas de preparo, principalmente no que se refere ao aspecto de perdas das características naturais através dos processos erosivos.

5.6. Perdas de solo e água

As perdas de solo e água foram medidas para este experimento durante os anos agrícolas de 1989/90, 1990/91 e 1991/92. A Tabela 20 mostra as perdas de solo e água para o ano de 1989/90 com as respectivas chuvas acumuladas a cada mês. Observa-se com clareza para este ano as vantagens do sistema de plantio direto em relação as perdas por erosão, com valores bastante inferiores aos demais sistemas de preparo, como mostra a Figura 31. Já a Figura 32, mostra que o mês de janeiro de 1990 destacou-se pelo índice pluviométrico mais elevado, mostrando novamente a eficiência do sistema de plantio direto com perdas de aproximadamente 15 e 12% do total de água e solo respectivamente, carregados no sistema de preparo com arado de discos, sendo este o mais lesado para este mês. Os sistemas de preparo que proporcionam um maior revolvimento do solo, ou seja, preparos que utilizaram grade pesada e arado de discos destacaram-se pelos maiores índices de perdas durante todo o ano, com

diferenças bastante estreitas entre si. Já para o sistema que utilizou a escarificação do solo, os valores encontrados nos meses de baixas precipitações são semelhantes aos detectados para o tratamento grade pesada e arado de discos.

Tabela 20. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, no ano de 1989/90

Tratamento		Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	TOTAL
AE	PA	1,76	0,12	0,30	0,02	9,20	24,18	33,57	0,59	11,95	0,30	0,45	0,00	82,45
	PT	0,08	0,00	0,00	0,00	0,96	1,86	3,11	0,14	1,28	0,02	0,04	0,00	7,49
PD	PA	2,01	0,03	0,10	0,00	1,53	2,35	11,67	0,14	6,41	0,12	0,23	0,00	24,59
	PT	0,09	0,00	0,00	0,00	0,11	0,18	0,94	0,01	0,71	0,01	0,02	0,00	2,08
GP	PA	2,14	0,12	0,41	0,08	13,52	31,29	75,62	0,86	37,34	0,48	0,69	0,01	162,56
	PT	0,07	0,00	0,00	0,00	1,52	2,54	7,72	0,20	3,23	0,04	0,05	0,00	15,38
AD	PA	1,93	0,09	0,30	0,02	13,74	29,98	78,49	0,69	41,35	0,40	0,52	0,00	166,51
	PT	0,11	0,00	0,00	0,00	1,49	2,36	7,85	0,18	3,52	0,03	0,04	0,00	15,58
CHUVA		138,3	24,6	54,6	25,7	218,7	201,5	393,3	114,9	260,5	50,3	53,1	15,0	1550,5

PA: Perdas de água; PT: Perdas de terra

		Quantidade	
		nº	mm
Chuvas anuladas :	0	0	
Chuvas com perda :	61	1436	
Chuvas sem perdas:	40	114,5	
Total de chuva :	101	1550,5	

No entanto, quando os índices pluviométricos aumentaram os resultados mostraram-se bastante diferentes, denotando possivelmente o melhor potencial de infiltração para os solos sobre estes sistemas de manejo em condições de chuvas mais pesadas e com maior frequência.

Figura 31. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1989/90.

Figura 32. Índices mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1989/90.

A Tabela 21 apresenta os dados de perdas e chuvas mensais acumuladas ocorridas no ano agrícola 1990/91. Novamente o sistema de plantio direto destaca-se através das menores perdas como mostra a Figura 33. As chuvas deste ano tiveram maior concentração nos meses de janeiro, fevereiro e março alcançando ainda um índice pluviométrico total mais alto que aqueles registrados em 1989/90, como pode ser visto na Figura 34. No entanto, o mês de janeiro apresentou novamente os maiores índices pluviométricos anuais, com altos valores de perdas para os tratamentos grade pesada e arado de discos. Embora ambos os sistemas de preparo citados anteriormente tenham apresentado os mais altos valores de perdas, o tratamento grade pesada realmente destacou-se durante o ano de 1990/91, com perdas superiores a 20% em relação ao preparo com arado de discos. O tratamento grade pesada acumulou perdas da ordem de 17,8 t/ha de solo no final do ano. É importante lembrar que, para o ano em que a distribuição de chuvas ocorreu de forma mais irregular, destacou-se o efeito prejudicial em relação as perdas de solo e água, do trabalho excessivo das gradagens quando comparado ao tratamento arado de discos. Observa-se ainda, em maior escala os valores de perdas do sistema grade pesada quando comparado aos tratamentos plantio direto e arado escarificador nas mesmas condições. Os valores obtidos para este ano mostram números bastante preocupantes mesmo para solos bem estruturados como é o caso do Latossolo Roxo deste trabalho. Preparos com grade pesada, acompanhados de

gradagens leves, poderão proporcionar resultados assustadores em solos de frágil estruturação ou até mesmo em áreas um pouco mais declivosas.

Tabela 21. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, no ano de 1990/91

Tratamento		Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	TOTAL
AE	PA	1,17	0,03	0,48	0,29	0,21	0,64	42,52	15,53	1,01	0,46	0,48	0,11	62,93
	PT	0,15	0,00	0,04	0,03	0,05	0,07	3,32	1,34	0,12	0,08	0,06	0,02	5,28
PD	PA	0,60	0,00	0,41	0,19	0,06	0,51	13,69	5,98	0,41	0,15	0,29	0,04	22,33
	PT	0,06	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	1,16	0,51	0,06	0,02	0,03	0,01	1,94
GP	PA	1,61	0,13	0,64	0,46	0,31	1,29	176,26	50,85	2,00	0,85	0,58	0,18	235,17
	PT	0,19	0,00	0,06	0,04	0,06	0,15	12,93	3,84	0,29	0,13	0,08	0,03	17,80
AD	PA	1,36	0,07	0,55	0,35	0,28	0,64	141,82	39,61	1,28	0,69	0,51	0,14	187,31
	PT	0,15	0,00	0,04	0,04	0,05	0,07	10,37	2,98	0,17	0,10	0,06	0,03	14,08
CHUVA		120,9	35,3	65,4	68,5	92,8	87,1	437,9	242,1	360,9	139,2	83,4	32,4	1765,9

PA: Perdas de água; PT: Perdas de terra

	Quantidade	
	nº	mm
Chuvas anuladas :	0	0
Chuvas com perda :	59	1462,4
Chuvas sem perdas :	59	303,5
Total de chuva :	118	1765,9

Para o ano agrícola 1991/92 a distribuição de chuvas ocorreu de forma mais homogênea durante os meses de primavera e verão, como mostra, a Figura 36. Observa-se ainda na Tabela 22 que o total de chuvas registrado está bem abaixo dos valores obtidos nos dois anos anteriores, proporcionando valores totais de perdas também menores. Pelo

Figura 33. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1990/91.

Figura 34. Totais mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1990/91.

terceiro ano consecutivo o sistema de plantio direto apresenta os menores resultados de perdas de solo e água, confirmando novamente a grande eficácia deste sistema de manejo do solo como controlador da erosão, como mostra a Figura 35. Para o ano em questão, as chuvas ocorreram de forma mais freqüente no mês de dezembro, evidenciando novamente as maiores perdas para os sistemas de preparo que movimentaram com maior intensidade a superfície do solo. No primeiro ano monitorado, o tratamento arado de discos apresentou perdas pouco maiores que o tratamento grade pesada. No segundo ano, o preparo com grade pesada proporcionou valores destacadamente mais altos que o arado de discos, provavelmente agravado pela má distribuição das chuvas. No entanto, no terceiro ano o preparo com grade pesada voltou a repetir os valores mais altos de perdas, denotando o efeito residual deixado pelo manejo dos anos anteriores, que manifestou-se de forma mais pronunciada que nas áreas trabalhadas com arado de discos. É importante notar que com o passar dos anos, a relação de perdas totais de solo entre o tratamento grade pesada e arado de discos aumentou de 1,26 para 2,25, o que comprova a existência de um efeito residual acentuado da prática de preparo utilizada.

Por outro lado, o talhão no qual utilizou-se o arado escarificador apresentou ao longo dos três anos estudados um comportamento estável, aparecendo sempre como a segunda melhor opção para as práticas conservacionistas.

Desta forma, a prática de escarificação dos solos deverá ser vista com otimismo, uma vez que, os resultados apresentados mostram que este sistema de preparo, poderá manter valores de perdas não muito elevados em áreas onde o plantio direto se torna inexecuível por qualquer motivo.

Tabela 22. Totais mensais de enxurrada e solo respectivamente em talhões coletores de Campinas-SP, no ano de 1991/92

Tratamento	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	TOTAL
AE PA	0,02	0,00	0,00	0,35	0,08	3,27	4,49	0,08	0,81	0,00	0,00	0,00	9,10
PT	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,38	0,37	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,93
PD PA	0,00	0,00	0,00	0,15	0,03	1,44	0,64	0,00	1,61	0,00	0,03	0,00	3,90
PT	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,19	0,06	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,34
GP PA	0,05	0,00	0,00	1,08	0,21	11,13	16,03	0,05	5,09	0,04	0,22	0,00	33,90
PT	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	1,01	1,25	0,00	0,48	0,00	0,08	0,00	2,95
AD PA	0,02	0,00	0,00	0,75	0,11	6,13	5,29	0,02	1,69	0,00	0,00	0,00	14,00
PT	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,59	0,44	0,00	0,16	0,00	0,01	0,00	1,31
CHUVA	15,0	5,0	43,5	141,2	30,1	192,4	112,1	64,6	154,0	39,1	84,7	0,0	881,7

PA: Perdas de água; PT: Perdas de terra

	Quantidade	
	nº	mm
Chuvas anuladas :	4	69,5
Chuvas com perda :	38	636,5
Chuvas sem perdas:	57	245,2
Total de chuva :	99	951,2

Figura 35. Totais anuais de perdas de terra e água, para os quatro tratamentos estudados em talhões coletores, durante o ano agrícola de 1991/92.

Figura 36. Índices mensais de precipitação registrados no local do experimento durante o ano agrícola 1991/92.

5.7. Produção

O período em que os estudos foram efetuados neste experimento abrange os anos agrícolas 1989/90, 1990/91 e 1991/92. Neste período foram avaliadas as produções de aveia/1989, soja 1989/90, aveia/1990, soja 1990/91. As produções para aveia/1991 e soja 1991/92 não se encontram disponíveis. Para aveia/1991, o plantio tardio aliado a condições pluviométricas desfavoráveis, proporcionaram produções não condizentes com os dados anteriores, além de grande quantidade de falhas no estande, introduzindo possivelmente erros nas amostragens que são feitas de forma aleatória. Da mesma forma, para soja 1991/92 os dados não puderam ser coletados, devido ao atraso no plantio e novamente falta de condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura, permitindo desta forma apenas o cultivo de *labelabe* (*Dolichus lablab*) para posterior incorporação.

A Tabela 23 mostra os índices de produção para aveia-preta/1989, onde os quatro tratamentos utilizados apresentaram resultados bastante próximos. O talhão preparado com arado escarificador apresentou maior produção de grãos, e praticamente iguala-se ao tratamento em plantio direto. Possivelmente estes tratamentos por preservarem mais as condições naturais do solo, tenham propiciado condições estruturais do meio mais favoráveis ao crescimento do sistema

Tabela 23. Produção de aveia (kg/ha) em talhões coletores de Campinas-SP, Inverno/1989. Média de 5 repetições

Tratamento	Grãos	Palha	Massa Total
	-----	kg/ha -----	-----
AE	1127,5	3959,9	5087,4
PD	1120,3	3764,8	4885,1
GP	1080,7	3608,4	4689,1
AD	1117,0	4326,8	5443,8

radicular, melhorando assim o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis com conseqüente aumento na produção de grãos. Por outro lado, a produção média de grãos obtida pelo tratamento arado de discos, apresentou valores muito próximos dos sistemas de cultivo mínimo ou sem preparo, como mostra a Figura 37. Analisando-se ainda a produção total de massa, o preparo com arado de discos produziu mais massa, que todos os outros, a qual não é aproveitada na proteção da superfície do solo, pois grande parte desta sofre o enterrio através do preparo intenso. Na Tabela 24 encontram-se os dados de produção de grãos e de palhada para aveia/1990. É importante notar que as médias de produção obtidas para aveia/1989 são bastante superiores às encontradas para aveia/1990, como mostra a Figura 38. Vários fatores poderiam contribuir para tal diferença, desta forma torna-se difícil predizer as causas para tal variação. Por outro lado, é importante ressaltar que condições climáticas favoráveis, além de tratos culturais adequados contribuem em grande parte para o bom desenvolvimento das culturas, sendo estes, provavelmente, os

maiores responsáveis pela diferença de produção encontrada.

Tabela 24. Produção de aveia preta (kg/ha) em talhões coletores de Campinas-SP, Inverno/1990. Médias de 5 repetições

Tratamentos	Grãos	Palha	Massa Total
	-----	kg/ha	-----
AE	558	3.082	3.640
PD	565	3.275	3.840
GP	648	3.312	3.960
AD	621	2.939	3.560

Pode-se observar ainda que para a cultura de inverno cultivada no ano agrícola 1990/91 o tratamento com grade pesada apresentou a maior produção média de grãos e palha em relação aos demais sistemas de preparo. Desta forma, pode-se dizer que os dados de produção da cultura de inverno não estão diretamente relacionados aos dados de perdas, uma vez que a maior parte das perdas observadas ocorreu no mês de janeiro, período este pouco significativo para todo o ciclo da cultura. Portanto, os valores médios encontrados para a produção de grãos de aveia forrageira estão possivelmente relacionados à outras variáveis ambientais que influenciam de forma significativa a produtividade desta forrageira de inverno.

Foram determinadas ainda as produções de grãos e de palha para a soja, plantada como cultura de verão em 1989/90 e 1990/91, como pode ser visto nas Tabelas 25 e 26 respectivamente.

Figura 37. Produção de grãos e palhada de aveia-preta para o inverno de 1989 nos quatro tratamentos estudados.

Figura 38. Produção de grãos e palhada de aveia-preta para o inverno de 1990 nos quatro tratamentos estudados.

Tabela 25. Produção de soja (kg/ha) 1989/90 em talhões coletores de Campinas-SP. Média de 5 repetições

Tratamentos	Número de Plantas (Plantas/ha)	Grãos	Palha
		----- kg/ha	-----
AE	450.000	3.084	5.116
PD	186.000	3.443	4.517
GP	476.000	3.365	4.515
AD	432.000	3.348	4.012

Tabela 26. Produção de soja (kg/ha) 1990/91 em talhões coletores de Campinas-SP. Média de 5 repetições

Tratamentos	Número de plantas (plantas/ha)	Grãos	Palha
		----- kg/ha	-----
AE	187.600	4.388	1.612
PD	174.000	3.814	1.626
GP	161.600	4.735	1.865
AD	126.400	3.571	1.229

Para a soja colhida em 1989/90 o tratamento plantio direto apresentou a maior produção média de grãos em relação aos demais sistemas e o tratamento arado escarificador teve as maiores produções médias de palha. Acompanham os dados de produção, as estimativas do número de plantas por hectare, os quais foram obtidos nas mesmas amostragens.

Observa-se ainda na Figura 39 os altos índices de população de plantas para os sistemas de preparo que utilizaram arado escarificador, arado de discos e grade pesada, o qual pode ser o reflexo do segundo plantio efetuado

nestes talhões devido a grande falha na germinação do primeiro plantio, ocasionado por períodos de seca. A baixa germinação para os demais tratamentos mediante presença de períodos secos após o plantio, comprova a eficiência do plantio direto no aproveitamento da umidade necessária para a emergência de plantas. Neste sistema de preparo, a existência da palhada de culturas anteriores foi um dos principais responsáveis por tais teores de umidade. Isto concebe ao plantio direto uma redução nos custos em sua utilização principalmente no aspecto de replantio, já que para sistemas de preparos convencionais muitas vezes esta prática torna-se necessária mediante períodos secos ou chuvas muito pesadas após o plantio, acarretando falta de umidade para germinação ou carregamento das sementes por fortes enxurradas. Nota-se ainda, que mesmo com o baixo estande o sistema de plantio direto apresentou maiores médias de produção, fato este que de certa forma pode ter proporcionado efeitos benéficos na produtividade, tais como: maior disponibilidade de água por planta, maior incidência solar sobre as plantas aumentando assim sua taxa fotossintética, maior aproveitamento de nutrientes oferecidos as plantas através da adubação, maior desenvolvimento da parte aérea com conseqüente aumento de massa e de grãos. De acordo com recomendações feitas pelo Instituto Agrônômico (1987), para variedades de ciclo médio como é a soja IAC-12, o estande de 16 a 18 plantas por metro linear é ideal, totalizando uma população média de 250.000 plantas por hectare.

Figura 39. Produção de grãos, palha e controle do número de plantas nas parcelas de soja 1989/90 para os quatro tratamentos estudados.

No entanto, diferenças de até 60% nas populações de plantas nos dados obtidos neste estudo, proporcionaram uma queda de apenas 2% na produção. Possivelmente o melhor aproveitamento dos tratos culturais e dos fatores ambientais evitem decréscimos acentuados na produtividade de forma compensatória. Já os dados fenológicos da soja IAC-12 cultivada em 1990/91 mostram que os sistemas de preparo reduzido ou sem preparo obtiveram um melhor estande, mas não atingiram as melhores produções médias como mostra a Tabela 26. Os melhores índices para a produção de grãos e de palha foram registrados para o tratamento que utilizou grade pesada para o preparo do solo, com um estande mais baixo em relação aos sistemas de menor movimentação do solo, como pode ser visto na Figura 40.

Para o tratamento com arado de disco, que obteve as piores médias, o estande apresenta-se bastante baixo prejudicando sensivelmente os resultados. No entanto, novamente os dados mostram que, para estandes não muito grandes as respostas produtivas são melhores no caso da soja variedade IAC-12. Tudo leva a crer que o estande determinou de forma decisiva os melhores índices de produtividade, amenizando os efeitos de perdas de solo e água que comportam-se de forma acumulativa apresentando seus efeitos somente a longo prazo.

Figura 40. Produção de grãos, palha e controle do número de plantas nas parcelas de soja 1990/91 para os quatro tratamentos estudados.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os parâmetros avaliados foram, até aqui, analisados de forma isolada. Contudo, fazendo-se uma análise mais ampla dos resultados obtidos, observa-se tanto a superioridade como a inferioridade de determinados tratamentos, com referência a alguns parâmetros. Destaca-se sobremaneira, a superioridade do sistema de escarificação do solo para os parâmetros da relação massa/volume medidos. O tratamento que utilizou arado escarificador, destacou-se pelas menores médias obtidas para densidade do solo à 15 cm de profundidade, para maior porosidade total medida e calculada na maioria das profundidades avaliadas, e para maior macro e menor microporosidade da mesma forma. O parâmetro capacidade de aeração apontou o sistema de escarificação como sendo o tratamento mais qualificado para trocas gasosas entre solo e atmosfera, além do fluxo de água por poros de grande diâmetro. ELTZ et al., (1989) mostraram a eficiência do sistema de escarificação do solo quando combinado ao plantio direto, na maior velocidade de infiltração em Latossolo Bruno álico do Paraná. No entanto,

os autores justificam tal fato devido à proximidade da escarificação em relação às determinações de infiltração, o que não descaracteriza a forma com que o arado escarificador fendilha o solo sem desagregá-lo excessivamente, proporcionando no mínimo, maiores taxas de infiltração a curto prazo. É importante notar que, maior quantidade de água infiltrada pode significar menor escoamento superficial e menor erosão. Comprova-se desta forma, os resultados obtidos para infiltração na primeira amostragem efetuada, e para condutividade hidráulica em solo saturado nas duas amostragens. Da mesma forma, o sistema de preparo com escarificador, destacou-se em relação a retenção de água à baixas tensões para as amostras indeformadas trabalhadas em laboratório, mostrando possivelmente seu melhor potencial de armazenamento na maioria das profundidades avaliadas. NO entanto, SIDIRAS et al. (1983) mostraram um melhor rendimento do sistema de plantio direto em relação ao arado escarificador para o armazenamento de água em um Latossolo Roxo distrófico do Paraná. O preparo com arado escarificador apresentou neste estudo um comportamento intermediário entre plantio direto e preparo convencional nos teores de água no solo. Mesmo assim, no monitoramento feito a campo, o sistema de escarificação apresentou, a exemplo do tratamento em plantio direto, um maior secamento superficial e uma velocidade maior de percolação da água proveniente de precipitações. O tratamento com arado escarificador mostrou ser ainda, uma opção interessante de sistema de preparo no

que diz respeito à conservação do solo, uma vez que os índices de perdas apresentados, dentro dos limites de tolerancia, não apresentaram grandes distúrbios no sistema de produção. CASTRO et al. (1986), mostraram a eficiência do sistema de escarificação do solo para um Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média de Pindorama-SP. Os resultados de cinco anos agrícolas mostraram que o preparo do solo com arado escarificador de cinco dentes foi o mais eficiente no controle das perdas de solo e água, e o que propiciou as melhores produções.

Já o sistema de plantio direto, mostrou de forma notória sua grande capacidade de controlar perdas de solo e água causadas por precipitações de alta intensidade. Sua indiscutível superioridade na preservação da cobertura morta sobre o solo, principalmente em épocas de transição entre culturas de inverno e verão, trouxe ao sistema uma grande capacidade de proteção da superfície do solo contra as primeiras chuvas da primavera. Estudos feitos por ARZENO (1990), comprovam a eficiência da cobertura vegetal nas perdas de sedimentos com chuva simulada também em Latossolo Roxo de Campinas. Observou-se ainda para este sistema de plantio direto, boas médias de infiltração e condutividade, bem como, boa velocidade de respostas dos tensiômetros instalados a campo para chuvas ocorridas durante o período de monitoramento. Em relação aos parâmetros físicos medidos, o solo sob plantio direto apresentou as maiores médias de densidade do solo comprovadas diretamente pelos testes de

resistência à penetração, mostrando um perfil homogêneo em relação a sua dureza. No entanto, a mesma homogeneidade foi observada para os dados que determinaram a capacidade de aeração do solo submetido a este sistema de preparo, que analisados conjuntamente com os parâmetros de capacidade de água disponível, mostraram não haver nenhum comprometimento em relação a sua classificação estrutural apesar dos altos valores de densidade do solo encontrados. CASTRO et al. (1987) mostram da mesma forma valores de densidade maior e macroporosidade menor em Latossolos Vermelho Amarelo textura argilosa e textura média. Os autores atribuem à estrutura mais forte observada uma melhor agregação em solos sob plantio direto. Os autores observaram ainda um aumento da estabilidade de agregados em água e maior diâmetro médio de agregado especialmente em solos argilosos. Em solos mais arenosos, como os de textura média não se observou tal efeito.

Para o tratamento arado de discos, baixos valores de densidade do solo foram encontrados em superfície, refletindo diretamente nos valores de porosidade total calculada a 5 cm de profundidade. Da mesma forma, foram encontrados para este sistema de preparo, a melhor média percentual de macroporos assim como o melhor índice de capacidade de aeração ainda em condições superficiais. No entanto as porcentagens de macroporos diminuem para profundidades de 15 e 30 cm, onde destaca-se ainda uma maior resistência à penetração tanto em condições de solo úmido

como de solo seco. Já para MACHADO & BRUM (1978), estudando um Latossolo Roxo distrófico de Santo Angelo-RS, sob pantio direto e preparo convencional, mostram-se evidentes os efeitos da compactação na camada superficial do solo submetido a sistema convencional de cultivo. Em condições de solo úmido, ou seja a baixas tensões, o tratamento arado de disco apresentou médias percentuais de umidade inferiores aos sistemas de preparo reduzido, principalmente a 15 cm e 30 cm de profundidade como mostram as amostras indeformadas avaliadas em laboratório. Para os dados de campo, o tratamento arado de discos apresentou os menores valores de umidade no solo em períodos mais secos, medidos indiretamente através de tensiômetros. DALLA ROSA (1981), trabalhando com Latossolo Roxo, observou a presença de camada compactada abaixo da camada mobilizada pelo arado, onde a macroporosidade e a infiltração de água foram drasticamente diminuídas.

O sistema de preparo que utilizou grade pesada obteve a melhor classificação em relação a capacidade de água disponível a profundidade de 30 cm. Tal fato está diretamente relacionado a maior porcentagem de microporos encontrada nesta faixa do perfil. No entanto, estabelecendo-se uma relação com o parâmetro capacidade de aeração obtém-se uma classificação estrutural apenas regular. Os altos valores de densidade do solo, aliados as menores porcentagens de macroporos e porosidade total mostram um aumento de poros menores em detrimento de poros de maior diâmetro.

Caracteriza-se neste caso, a possível formação de um impedimento físico a 30 cm de profundidade para a área preparada com grade pesada. DE MARIA et al. (1993) trabalhando com 5 combinações de preparos de verão e inverno, incluindo operações com grade pesada encontraram após oito anos de implantação do ensaio em expressivo gradiente de resistência a penetração e densidade do solo entre as camadas 10-20 e 20-30 cm do solo. Conseqüentemente houveram diminuições na densidade de raízes para a faixa de 20-30 cm do perfil. Por outro lado, os testes de resistência a penetração efetuados neste trabalho, não detectaram tal fato, mostrando apenas aumentos na resistência a 15 cm de profundidade, tanto para solo úmido quanto para solo seco.

Em relação as propriedades hídricas, o tratamento que utilizou grade pesada não obteve grandes destaques, já que os valores de infiltração média e condutividade hidráulica em solo saturado encontrados mantiveram-se em uma condição intermediária. Por outro lado, o preparo com grade pesada destacou-se mais de uma vez através de seus índices de produção. Tanto para a cultura de outono/inverno como para a de primavera/verão, este sistema de preparo do solo obteve médias de produção maiores que os demais, em anos agrícolas diferentes. Em contrapartida, os maiores índices de perdas de solo e água destacados nos dois últimos anos de estudo, são provenientes do talhão preparado com grade pesada. Fazendo-se somente a média das perdas de solo, para os três anos de acompanhamento do experimento, observa-se a

superioridade no volume de solo exportado do sistema produtivo na parcela preparada com grade pesada, como mostra a Tabela 27.

Tabela 27. Médias de perdas de solo para os três anos de acompanhamento do experimento (t/ha.ano) para os quatro tratamentos testados

Tratamento	Perdas de Solo (t/ha.ano)			
	1989/90	1990/91	1991/92	Média
AE	7,49	5,28	0,93	4,57
PD	2,08	1,94	0,34	1,45
GP	15,38	17,80	2,95	12,04
AD	15,58	14,08	1,31	10,32

Sem sombra de dúvida, pode-se afirmar que os sistemas de preparo de maior movimentação do solo, acarretaram perdas que possivelmente inviabilizariam a manutenção de sistemas produtivos por muito tempo nestas áreas. Em algumas décadas, possivelmente boa parte do horizonte A deste solo terá se perdido, levando consigo um grande percentual dos insumos nele aplicados.

Em contrapartida, sistemas conservacionistas obtiveram médias bem inferiores para os três anos de estudo. Destacou-se sobremaneira o sistema de plantio direto, que conta com a ação conjunta da cobertura morta para a obtenção de tais resultados. Provavelmente, sistemas em plantio

direto que não preservassem a proteção da cobertura morta sobre o solo, poderiam apresentar índices erosivos muito parecidos com sistemas convencionais de preparo do solo. No entanto, observou-se com clareza a superioridade de sistemas de cultivo mínimo ou sem preparo para um manejo do solo com maior longevidade.

7. CONCLUSÕES

Para as condições do estudo em questão pode-se concluir que:

1. Alterações nos atributos físicos do solo foram detectadas, principalmente nos sistemas de maior revolvimento do perfil do solo.
2. Não foi possível estabelecer relações diretas entre as alterações físicas encontradas, e a dinâmica da água no solo.
3. Em relação as características físicas do solo, o sistema de escarificação apresentou resultados mais satisfatórios, refletindo aparentemente no processo de absorção e armazenamento de água para as condições em estudo.
4. Detectou-se a eficiência do sistema de semeadeira direta no controle da erosão.
5. Não foi possível estabelecer uma relação direta entre os índices de produtividade encontrados e os sistemas de preparo do solo.

8. LITERATURA CITADA

AHUJA, R.L.; NANEY, J.H. & NIELSEN, D.R. Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity an effects of land management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 48: 669-702, 1984.

ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. Structural stability and permeability of native forest soils compareted with cultivared areas of the same soil type. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 6: 98-103, 1941.

ALVES, M.C. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo; efeito nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, 1992, 173p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP.

ANGHINONI, I. & VOLKWEISS, S.J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: ESPIMOSA, W. & OLIVEIRA, A.J. (Eds.). **Anais do Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira**. Brasília, EMBRAPA, 1984. p.179-204.

ARCHER, J.R. & SMITH, P.D. The relation between bulk density, and available water capacity of soils. *The Journal of Soil Science*, Oxford, 4: 475-580, 1972.

ARKLEY, R.J. Relationships between plant growth and transpiration. *Hilgardia*, 34: 559-584. 1963.

ARZENO, J.L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em Latossolo Roxo - distrófico. Piracicaba, 1990. 259p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP.

ASAE. Soil cone penetrometer. In: ASAE, 1975 Agricultural Engineers Yearbook, St. Joseph, 1976. p. 368-369. (ASAE Rec., 313.1)

BAVER, L.D.; GARDNER, N.H. & GARDNER, W.R. Física del Suelo. Ecl. Hispano Americana-México, 1973.

BERTONI, J. & LOMBADI NETO, F. Conservação do Solo. Piracicaba, ícone, 1990. 355p.

BLEVINS, R.L.; COOK, D.; PHILLIPS, S.H. & PHILLIPS, R.E. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, Madison, 63: 593-596, 1971.

BOUMA, J. Measuring the hydraulic conductivity of soil horizons with continuous macropores. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 46: 438-441, 1982.

BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos - compêndio universitário sobre edafologia**. NYLE C. BRADY (rev.), Antônio B. Neiva Figueiredo Filho (Trad.), Livraria Freitas Bastos (2ª Ed.). São Paulo, 1968. 593 p.

CAMPINAS. Instituto Agronômico. **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. PEDRO JÚNIOR, M.J.; BULISANI, E.A.; POMMER, C.V.; PASSOS, E.A.; GODOY, I.J. & ARANHA, C. (Eds.). Campinas, Instituto Agronômico, 1987. 231 p. (Boletim 200)

CASTRO, O.M. de. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 41p. (Série Técnica, nº3)

CATRO, O.M. de.; CAMARGO, O.A. de; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. & CANTARELLA, H. Caracterização química e física de dois latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agronômico, 1987. (Boletim Científico, nº11).

CASTRO, O.M. de.; LOMBARDI NETO, F.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Sistemas conservacionistas e reduzidos de preparo do solo e as perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 10: 167-171. 1986.

- CASTRO, O.M. de.; VIEIRA, S.R. & DE MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: VIÉGAS, G.P. (Ed.). **Simpósio sobre o manejo de água na agricultura**. Campinas, Fundação Cargill, 1987, p. 27-51.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7(1): 323-327, 1983.
- 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. 136 p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Agronomia/Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. de.; DIAS, H. de S. Atributos físicos e desenvolvimento radicular da soja em solo argiloso sob diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. **Resumos**. v.3, p.41-42.
- DENARDIM, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL 1., e SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO

- SOLO, 3., Passo Fundo, 1984. **Anais.** Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, FINEP, 1984. p. 107-123.
- DERPSCH, R. Importância da cobertura do solo e do preparo conservacionista. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL 1., e SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., Passo Fundo, 1984. **Anais.** Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, FINEP, 1984. p.153-166.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEIZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes no inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 20(7): 761-773, 1985.
- EHLERS, W. Observation on earthworm channels and infiltration on tilled an untilled loess soil. **Soil Science**, Baltimore, 11: 242-249, 1975.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13: 259-267, 1989.
- GENUETHEN, M.T. & NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, 3(5): 615-628, 1985.

GREEN, W.H. & AMPT, G.A. Studies on soils physics. *Journal Agric. Sci.*, 4: 1-24, 1911.

HARROLD, L.L. Efeito de sistemas de preparo reduzido do solo sobre a erosão causada pelas águas. In: TORRADO, P.B. & ALOISI, R.R. (coords.). *Plantio direto no Brasil*. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.93-107

HILLEL, D. *Soil and water: physical principles and processes*. New York, Academic Press, 1971. 228p.

JAMISON, V.C. Changes in air water relationships due to structural improvement of soils. *Soil Science*, Baltimore, 76: 143-145, 1953.

JONES JR., J.N.; MOODY, J.E. & LILLARD, J. Effects of tillage, no tillage and mulch on soil, water and plant growth. *Agronomy Journal*, Madison, 61: 719-721, 1969.

LAL, R. No-tillage on soil properties under different crops in Western Nigeria. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 40: 762-768, 1976.

LAVREN, J.G.; WAGENET, R.J.; BOUMA, J. & WOSTEN, J.H.M. Variability of saturated hydraulic conductivity in a glossoaquic haplirdalf with macropores. *Soil Science*, Baltimore, 145: 20-28, 1988.

LAWRENCE, G.P. Measurement of pore size in fine textured soils: a review of existing techniques. *The Journal of Soil Science*, Oxford, 28: 527-540, 1977.

LAWSON, T. L. & LAL, R. Response of maize (*Zea mays* L.) to surface and buried straw mulch on a tropical Alfisol. In: LAL, R. (Ed.). *Soil tillage and crop production*. Ibadan, International Institute of Tropical, 1979. 371 p. (Proceedings series 2)

MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito do sistema de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 2: 81-84, 1978.

MARQUES, J.Q. de A. Determinação de perdas por erosão. *Archivo Fitotécnico Del Uruguay*, Montevideo, 4(3): 505-556, 1951.

MIELNICZUCK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas a produtividade, conservação e recuperação dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. *Programa e Resumos*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. p. 199.

MONDARDO, A. Manejo e conservação do solo. In: TORRADO, P. V. & ALOISI, R.R. (coords.). *Plantio Direto no Brasil*. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p. 53-78.

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, A.L. & TORRADO, P.V. (coords.). **Atualização em plantio direto.** Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.3-16.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.R. & ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, Berheley, 42: 214-257, 1973.

OLIVEIRA, J.B. de. **Características morfológicas, analíticas, limitações e aptidão agrícola dos solos da quadrícula de Campinas.** Campinas, Instituto Agrônômico, 1980. 79p. (Circular, 109).

OLIVEIRA, J.B. de. Determinação de macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, 3: 197-200, 1968.

OLIVEIRA, I.F. de. Princípios básicos de fertilidade do solo. In: **CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM PASTAGEM**, Cascavel, 1991. **Anais.** Cascavel, OCEPAR, 1991. p.61-82.

OLIVEIRA, J.B. de. & MENK, J.R.F. **Latossolos roxos do Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agrônômico, 1984. 132p. (Boletim Técnico, 82)

- PHILLIP, J.R. The theory of infiltration. I. the infiltration equation and its solution. Soil Science, Baltimore, 83: 345-357, 1957.
- PIMENTEL GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba, POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160p.
- PRIMAVESI, O. Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto. BASF, 1986. 56p.
- REEVE, M.J.; SMITH, P.D. & THOMASSON, A.J. The effect of density on water retention properties of field soils. The Journal of Soil Science, Oxford, 24: 355-367, 1973.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 466p.
- REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose^{se} zone of field - saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity pressure head relationship. Ground Water Monit. Rev., 6: 84-95, 1986.
- REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the

α -parameters using the Guelph permeameter. *Soil Science*, Baltimore, 140: 292-302, 1985.

RICHARDS, L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis I. Physical and mineralogical properties including statistical of measuring and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 128-151. (Agronomic Series nº 9)

RICHARDS, S.J. Soil suction measurements with tensiometers. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis I. Physical and mineralogical properties including statistical of measuring and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 153-163. (Agronomic Series nº 9)

SHARMA, M.L.; GANDER, G.A. & HUNT, C.G. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 45:101-112, 1980.

SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. & FARIAS, G.S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8(2): 251-254, 1984.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R. & MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo Distrófico

(Oxisoil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7: 103-106, 1983.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C. & DERPSCH, R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an Oxisoil. In: THE CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZACION, ISTRO, Osjek, Yugoslavia, 1982. p.537-574. (Londrina, IAPAR, Contribuição 53)

SILVA, I.F. de. Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. Porto Alegre, 1980. 70p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SLONEKER, L.E. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 32(5): 231-236, 1977.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR - STOLF, recomendações para seu uso. *STAB*, Piracicaba, 1(6): 11-22, 1983.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em

resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 15: 229-235, 1991.

THOMASON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. *The Journal of Soil Science*, Oxford, 29: 38-46, 1978.

THORNTON, C.W. & MATHER, J.R. *The water balance publications in climatology* vol. III. Laboratory of climatology Centerton. Diwxel Institute of Technology, New Jercey, 1955. p. 104.

TOPP, G.C. & ZEBCHUK, W. The determination of soil - water desorption curves for soil cores. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 59: 19-26, 1979.

VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(7): 873-882, 1984.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: *Plantio direto no Estado do Paraná*, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, 1981, p. 19-32. (Circular IAPAR, 23)

VIEIRA, S.R., CASTRO, O.M. de. & DE MARIA, I.C. Dinâmica da água no solo em função do manejo. In: *FANCELLI, A.L.*

(coord.). **Plantio direto no Estado de São Paulo**, Piracicaba, FEALQ/ESALQ/USP, 1989. p.103-126.

VIEIRA, S.R.; REYNOLDS, W.D. & TOPP, G.C. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERENGA, P.J. & BACHALET, D. eds. **Validation of Flow and Transport Models for the Unsaturated Zone: Conference Proceedings**. Las Cruces, NM, Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, 1988. p.471-483. (Research Report 88-55-04) (CONFERENCE OF VALIDATION OF FLOW AND TRANSPORT MODELS FOR THE UNSATURATED ZONE, Ruidoso, Novo México, 1988)