

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

Perdas por Erosão e Características Físico-Hídricas de Latossolo em Função do Preparo do Solo em Oleráceas no Ambiente de Mar de Morros, Paty do Alferes (RJ)

José Mário Piratello Freitas de Souza

2002



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

PERDAS POR EROSÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DE LATOSOLO EM FUNÇÃO DO PREPARO DO SOLO EM OLERÁCEAS NO AMBIENTE DE MAR DE MORROS,
PATY DO ALFERES (RJ)

JOSÉ MÁRIO PIRATELLO FREITAS DE SOUZA

Sob a Orientação da Professora

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

e Co-orientação do Professor

Daniel Fonseca de Carvalho

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Magister Scientiae em Agronomia,
Área de Concentração em Ciência do
Solo

Seropédica, RJ
Março de 2002

630.4509.8153
5229P

DOC/CEU

Origem
EM. 12/02/03.

U.F.R.J. - UNIDADE CENTRAL

129
12 02 03

PC 12361
26366

RU-00012351-1

631.45098153
s729p

T

Souza, José Mário Piratello Freitas de, 1976-
Perdas por erosão e características físico-hídricas de Latossolo em
função do preparo do solo em oleráceas no ambiente mar de morros, Paty
do Alferes (RJ)/José Mário Piratello Freitas de Souza. - 2002.
xi, 93f. :il., mapas.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.
Dissertação (mestrado)-Universidade federal Rural do Rio de Janeiro,
Instituto de Agronomia.
Bibliografia: f. 64-77.

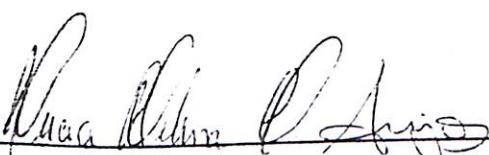
1.Solos- Erosão- Rio de Janeiro (Estado)- Teses. 2.Solos- manejo -
Rio de Janeiro (Estado)- Teses. 3.Encostas- plantação- Rio de Janeiro
(Estado) Teses. 4.Olericultura- Teses. I.Anjos, Lucia Helena Cunha dos.
II.Univerdidade Federa Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia.
III.Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO**

JOSÉ MÁRIO PIRATELLO FREITAS DE SOUZA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Magister Scientiae**, em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/03/2002



Lúcia Helena Cunha dos Anjos (Ph.D) UFRRJ

(Orientador)

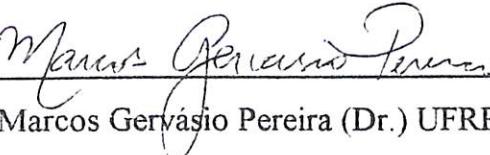


Daniel Carvalho de Fonseca (Dr.) UFRRJ

(Co-orientador)



Francesco Palmieri (Ph.D.) EMBRAPA/CNPS



Marcos Gervásio Pereira (Dr.) UFRRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO

JOSÉ MÁRIO PIRATELLO FREITAS DE SOUZA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de Magister Scientiae, em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/03/2002



Lúcia Helena Cunha dos Anjos (Ph.D) UFRRJ

(Orientador)

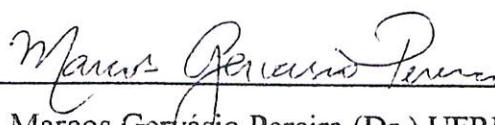


Daniel Carvalho de Fonseca (Dr.) UFRRJ

(Co-orientador)



Francesco Palmieri (Ph.D.) EMBRAPA/CNPS



Marcos Gervásio Pereira (Dr.) UFRRJ

Dedicatória

Aos meus queridos pais, Fátima e José Freitas, meus irmãos Márcio e Mário e aos que junto ao meu lado estiveram nesta jornada, dedico.

Biografia

José Mário Piratello Freitas de Souza, auto denominado “cidadão do mundo”, nascido em 02 de fevereiro de 1976, natural de Umuarama-PR, criado em 5 cidades de Mato Grosso (Matupá, Peixoto de Azevedo, Alta Floresta, Juscimeira e Chapada dos Guimarães) antes passando por Minas Gerais (Pedro Leopoldo) e novamente ao Paraná (Foz do Iguaçu), sendo adotado pelo Estado do Rio de Janeiro na megalópole Seropédica city, é filho de José Freitas de Souza e Fátima Piratello de Souza.

Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em agosto de 1994 no curso de Agronomia, onde graduou em agosto de 1999. Em outubro de 1994 iniciou seu estágio no departamento de solos da UFRRJ no laboratório de Fertilidade dos Solos até julho de 1995, quando se transferiu para o laboratório de Gênese e Classificação do Solo, sendo estagiário e bolsista de iniciação científica do CNPq no período de março de 1997 a agosto de 1999. Em março de 2000, ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pela oportunidade do milagre da vida e assim poder desfrutar de todas as boas e desagradáveis sensações que ela nos oferece; e por iluminar a minha “jornada estudantil”, me oferecendo oportunidades ímpares nos momentos de maior incerteza;

Aos meus pais, que desde muito cedo, orientaram e estimularam a mim e meus irmãos num caminho de conhecimento e busca da sabedoria, e se cheguei onde estou é por exclusiva culpa deles;

À minha orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, por ter acreditado e confiado a mim, a responsabilidade da elaboração de um árduo trabalho, consciente das limitações pessoais, e que dentro da pouca disponibilidade de tempo em função das suas atribuições, em momento algum deixou de clarear as idéias nas horas mais obscuras e indicar o melhor atalho por entre o caminho das pedras;

Ao Professor Marcos Gervásio Pereira, que mesmo pegando no meu pé, foi quem primeiro me orientou no laboratório de gênese e classificação do solo quando estagiário e bolsista de iniciação científica do CNPq, onde juntos produzimos muitos frutos científicos e com o qual muito aprendi, a ele devo muito do meu sucesso;

Ao pesquisador da EMBRAPA-Solos Francesco Palmieri, pela participação na banca e mesmo apesar da pouca convivência, pelos conhecimentos adquiridos nas aulas durante o curso.

Aos professores Alexandre Ravelli Neto e Nelson Mazur, que nos momentos de algumas dúvidas e alguns problemas técnicos, não hesitaram em também propor algumas sugestões e assim facilitar a melhor forma de elaborar este trabalho;

Ao professor Luiz Rodrigues Freire, com o qual comecei inicialmente o estágio no departamento de solos, no Laboratório de Fertilidade, pela sua amizade;

Ao “companheiro” Anselmo Boechat, que mesmo sempre cheio de trabalhos laboratoriais, achava um espaço para proceder minhas análises e coletas de campo, mesmo quando encontrava-se desfrutando das férias;

Ao amigo e colega de curso Gustavo Souza Valladares, com quem também muito aprendi sobre ciência acadêmica e, juntos, entre 1997 e 2001, publicamos 5 trabalhos na PAB e RBCS e com ele ainda muito aprendi sobre levantamento e

classificação de solos “na prática” , sendo por fim, meu inestimável “consultor” estatístico;

Aos amigos e estagiários Adierson Gilvani Ebeling e Gustavo Fonseca, que em momentos de maior necessidade não mediram esforços, nem noite e nem dia para que as análises de solos não ficassem mais atrasadas do que estavam;

Ao administrador da Estação Experimental da PESAGRO, Paulo César, pela valiosa ajuda e monitoramento das perdas de solo.

Ao motorista 1001 utilidades do Instituto de Agronomia, Moraes, pela amizade, boa vontade e ajuda nos trabalhos de campo.

Aos meus amigos do QG 114, Wally, Veloz, Leandro cabeludo, Paulista muqueta, Presuntinho, Jairo, Cazuza, André Bébis, Migael, Rodriguinho, Marcos André, William baiano (meu comadre), Paulo sapão, Wagner, Júlio Lucena e as agregadas Mauriceli, Elaine cabeça, Michelle, Fernanda Bebis e Fernandinha, que além de ser a minha segunda casa, são a minha segunda família, onde apenas por seu companheirismo, tiveram uma parcela valiosa na elaboração deste trabalho;

Também ao alojamento 314, aos antigos (Jorge, Alexandre Disipa, Índio Cleverson, Luiz e Reginaldo Robervaldo) e atuais moradores (Érik, Daniel, Tequinho) no qual morei toda época de graduação e escrevi uma boa parte da minha história; e a todos que lá passaram deixando suas marcas e as lembranças de muitas alegrias, alguns desentendimentos, mas acima de tudo muitas festas;

A linda, maravilhosa e acolhedora UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, a qual me proporcionou sem dúvidas, as mais inesquecíveis, fatídicas e inusitadas experiências noturnas e as muitas histórias aditivadas ao sabor do lúpulo e da cevada, nos quase oito anos da melhor época da minha vida, onde não só aprendi a ser um profissional, mas a compreender um pouco mais da vida, sua razão e da relação humana;

E finalmente agradecer muito àqueles que não acreditaram na minha capacidade, duvidaram da minha garra e da força do meu empenho; a vocês, mesmo não sabendo, os devo muito e gostaria de dizer que foram meus halteres,muitíssimo obrigado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A Agricultura nos ‘Mares de Mortos’	3
2.2. Erosão Hídrica	4
2.3. Sistemas de Preparo do Solo e Erosão Hídrica.....	7
2.4. Práticas Agrícolas e Propriedades Edáficas	10
2.4.1. Propriedades físicas	10
2.4.2. Nutrientes e carbono orgânico	11
2.4.3. Propriedades fisico-hídricas e perdas de solo e água	14
2.5. Compactação e resistência do solo	15
2.5.1. Efeitos da compactação em atributos físicos do solo	16
2.5.2. Efeito da compactação sobre o estado nutricional das plantas.....	17
2.5.3. Compactação e crescimento e resistência à penetração de raízes no solo.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Caracterização da Área de Estudo	22
3.2. Descrição da Área Experimental e dos Tratamentos	24
3.3. Coleta e preparo das amostras de solo, sedimentos e sistema radicular.....	26
3.4. Métodos Analíticos	27
3.4.1. Análises físicas e hidráticas.....	27
3.4.2. Análises químicas	28
3.4.3. Perdas de solo	29
3.4.5. Resistência à penetração.....	29
3.5. Avaliação de Sistema Radicular	29
3.6. Análises Estatísticas.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Atributos Físicos e Hídricos	31
4.1.1. Densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade.....	31
4.1.2. Conduтивidade hidráulica saturada (K_s) e VIB	35
4.1.3. Variação da retenção de umidade	40
4.2. Perdas de Solo e Água	41
4.3. Propriedades Químicas e Perdas de Nutrientes	46
4.3.1. Complexo sortivo, nutrientes e carbono orgânico no solo.....	46
4.3.2. Perdas de nutrientes por erosão do solo e escoamento de água	51
4.4. Resistência a Penetração e Sistema Radicular.....	55
4.4.1. Resistência à penetração e compactação do solo	55
4.4.2. Desenvolvimento do sistema radicular.....	57
4.5. Produtividade	60
5. CONCLUSÕES.....	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
8. ANEXOS	78
ANEXO I - Descrição morfológica e resultados analíticos do perfil de solo	79
ANEXO II – Dados de pluviometria, temperatura e erosão no período do estudo.....	80
ANEXO III – Tabelas complementares com análises estatísticas dos atributos.....	82

RESUMO

SOUZA, José Mario Piratello Freitas de. **Perdas por erosão e características físicas e hidrálicas de Latossolo em função do preparo do solo em oleráceas no ambiente de Mar de Morros, Paty do Alferes (RJ).** Seropédica: UFRRJ, 2002. 84p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).

Este trabalho foi realizado na Estação Experimental da Pesagro-RJ, em Paty de Alferes (RJ), em quatro parcelas do tipo Wischmeier, para monitoramento da erosão superficial, com os seguintes sistemas de preparo de solo e cobertura: sem cobertura vegetal (SC), preparo convencional (PC), preparo em nível (PN) e cultivo mínimo (CM), e com o cultivo de oleráceas em rotação. As parcelas, instaladas em 1995 pela EMBRAPA Solos, estão em uma pendente com declive de 30% e têm dimensões de 22,0 x 4,0 m (88m^2). De março de 2000 a dezembro de 2001 foram monitorados atributos físicos, hidráticos e químicos do solo, e perdas por erosão em cada área; foram ainda avaliadas a resistência à penetração do solo, a distribuição e massa de sistema radicular e parte aérea na cultura de pimentão. O estudo teve como objetivo avaliar alterações físicas e hidrálicas e perdas por erosão em função do sistema de preparo do solo para cultivo de oleráceas, em um LATOSOLO VERMELHO-AMARELO, em Avelar, Paty do Alferes (RJ). A distribuição de água no solo (K_s e TIB) é consistente com a distribuição de macro e microporos. A densidade do solo e a porosidade total não diferiram significativamente entre tratamentos. Maiores valores de pH e menores teores de Al e maiores de Ca, Mg, P e K foram encontrados em PN e CM em relação a PC. O teor de carbono orgânico foi maior na parcela CM e menor em SC, com os maiores teores de 0-5 cm, para todas as áreas. Na média, as perdas de solo em CM foram de 4,4 e 4,8 t ha^{-1} para os anos de 2000 e 2001, ou seja, cerca de 23% e 60% menores que os sistemas PN e PC para o primeiro ano e 44% e 182% respectivamente para o segundo ano. Para a parcela SC, as perdas de solo foram da ordem de 28,3 e de 27,0 t ha^{-1} em 2000 e 2001, respectivamente. Não foi verificada diferença na eficiência do controle das perdas de água entre os tratamentos. A variação nos atributos edáficos e no diâmetro de raízes refletiram a intensidade de preparo do solo. Quanto à resistência do solo à penetração (R), para a profundidade efetiva de 20 cm, a mobilização do solo em PC propiciou o menor valor de R . As propriedades infiltração de água e perda de solo por erosão refletiram melhor as variações de preparo e a cobertura do solo. Considerando os atributos avaliados, os tratamentos PN e CM são recomendados para as condições agroecoforestais do cultivo de oleráceas em Paty do Alferes.

Palavras-chave: Erosão hidrálica, cultivo mínimo, preparo conservacionista

ABSTRACT

SOUZA, José Mario Piratello Freitas de. **Erosion losses and physical and hydric characteristics of Latosol as a function of soil tillage in vegetable crops in the 'Mar de Morros' environment, Paty do Alferes (RJ).** Seropédica: UFRRJ, 2002. 84p. (Dissertation, Master Science in Agronomy - Soil Science).

This study was conducted in the Pesagro-RJ Experimental Station in Paty do Alferes (RJ). Four Wischmeier plots were installed under different soil tillage systems and soil coverage to study surface erosion. The treatments were no coverage (SC), conventional tillage (PC), contour tillage (PN), and minimum tillage (CM). The cultivated plots had a rotation of vegetables. EMBRAPA Solos team installed the plots in 1995, on a 30% slope. The dimensions of the plots were 22,0 x 4,0m (88 m^2). From March 2000 to December 2001 physical, hydric, and chemical properties, as well as erosion losses, were monitored in each plot. Also, the soil penetration resistance, weight and distribution of roots and aerial part mass of green-pepper plants were evaluated. The objective of this study was to evaluate changes in the soil properties resulting from tillage systems for cultivation of vegetable crops in a Yellow-Red Latosol, in Avelar, Paty do Alferes (RJ). The water distribution (Ks and TIB) is consistent with the macro and microporosity. The soil bulk density and the total porosity did not differ significantly. The highest pH values, lowest Al levels, and highest values of Ca, Mg, P and K were found in PN and CM, when compared to PC. The organic carbon content was highest in CM and lowest in SC, with the highest values in the 0-5 cm depth, for all plots. On average, the soil losses in CM were of 4.4 and 4.8 t ha^{-1} for the years 2000 and 2001, respectively. That is, about 23% and 60% lower than the systems PN and PC for the first year, and 44% and 182%, respectively, for the second year. For the plot SC, the soil losses were in the range of 28.3 and 27.0 t ha^{-1} , in 2000 and 2001, respectively. It was not verified efficiency in controlling water losses in none of the treatments. The variation in edaphic attributes and in root diameter reflected the intensity of soil tillage. As for the soil resistance to penetration (R), for the depth of 20 cm, the deep soil tillage in PC resulted in the lowest R value. The water infiltration and soil loss by erosion were the best properties to indicate variations in soil coverage and cultivation practices. Considering the attributes evaluated, PN and CM systems are recommended for cultivation of vegetable crops in the agricultural, soil and environmental conditions of Paty do Alferes region (RJ, Brazil).

Key words: Hydric erosion, minimum tillage, conservation tillage system

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental vem aumentando devido à utilização de áreas impróprias para a atividade agrícola, bem como o manejo inadequado de áreas de pastagens, associadas à falta de práticas de conservação de solo e água. As terras agrícolas vêm tendo reduzido a sua capacidade produtiva, seja pelo uso e manejo inadequado do solo, principalmente pela mecanização intensa e desordenada, ou pelos sistemas agrícolas de monoculturas contínuas ou sucessões contínuas de cultura. O manejo do solo é primordial para o aperfeiçoamento da agricultura, pois a obtenção de elevados índices de produtividade e maior rentabilidade das terras agrícolas dependem, fundamentalmente, da manutenção da sua sustentabilidade.

O desenvolvimento de sistemas agrícolas que permitam aumentar/manter a produtividade agrícola e, ao mesmo tempo, diminuir o impacto negativo ao homem e ao meio ambiente, depende do conhecimento dos fatores que levam a degradação dos solos e da avaliação do impacto de práticas agrícolas sobre as propriedades dos diversos tipos de solos. A erosão dos solos, dentre os problemas relacionados a degradação dos recursos naturais, é um dos que tem causado maior volume de danos, sobretudo em ambientes tropicais. Um dos principais fatores para o progressivo aumento da erosão em áreas agrícolas é o uso e manejo inadequado das terras, causando a progressiva destruição de suas propriedades originais, com a diminuição da produtividade, além de danos ambientais como o assoreamento e a poluição dos cursos d'água.

O uso do solo, principalmente por atividades ligadas à produção de alimentos e outros bens de consumo, tem levado a uma degradação progressiva não só do próprio solo, como do ambiente como um todo. A FAO em 1986 estimava uma perda anual entre cinco e sete milhões de hectares de terras no mundo, tendo como resultado uma diminuição progressiva do potencial produtivo das mesmas (Gallardo, 1988).

A agricultura na região serrana do Estado do Rio de Janeiro se concentra em vales com encostas de relevo ondulado e suave-ondulado, onde predominam minifúndios na maioria das vezes em sistemas de parceria ou meeiros, cuja principal atividade é a olericultura e o plantio de culturas de subsistência, além de médias propriedades onde a atividade dominante é a pecuária leiteira. As classes de solos de maior expressão geográfica neste ambiente são: Latossolos Vermelho Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos. De uma forma geral, a principal causa da redução da qualidade das terras na região é a erosão hídrica, intensificada pelas práticas de preparo do solo no sentido do maior declive (morro abaixo), com o consequente empobrecimento dos solos e a poluição dos recursos hídricos.

As parcelas experimentais onde foi realizado o estudo foram instaladas em 1995, no Campo Experimental da Pesagro-RJ localizado no município de Paty do Alferes, distrito de Avelar, quando da implantação do projeto DESUSMO (Desenvolvimento Sustentável de Sistemas Agrícolas em Terras Montanhosas de Baixa Fertilidade com Pastagens na América do Sul, EMBRAPA Solos) na microbacia de Caetés e na área da Pesagro-RJ. O solo representativo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo.

Como hipótese deste trabalho considera-se que os atributos edáficos são modificados de acordo com o tipo de uso e cultivo a que as terras agrícolas são submetidas. Algumas mudanças ocorrem num curto período de tempo ou mesmo em uma simples prática de preparo do solo; outras, apenas com o manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis. Através do conhecimento dos padrões de modificação destes atributos e da sua relação com a intensidade dos processos erosivos é possível delinear e

monitorar sistemas de produção agrícola sustentável para a região de Paty do Alferes (RJ) e para o ambiente de Mar de Morros.

Os objetivos do estudo foram:

- 1) Avaliar alterações nos atributos físico-hídricos de horizonte superficial de Latossolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes formas de preparo do solo em sistema de olericultura.
- 2) Avaliar perdas de solo e água em função do preparo do solo para produção de oleráceas.
- 3) Identificar atributos edáficos que possam ser utilizados na avaliação da qualidade do solo, de forma à garantir a manutenção de sua produtividade e sustentabilidade.
- 4) Contribuir para a recomendação de sistemas de manejo em áreas de olericultura que minimizem as perdas pela erosão e suas consequências ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O solo é um importante componente da biosfera terrestre, atuando na produção de alimentos e fibras e também na manutenção da qualidade do meio ambiente, agindo como filtro e tampão ambiental para água, ar, nutrientes e produtos químicos. A conscientização sobre este papel do solo tem estimulado o maior interesse pela utilização do mesmo como parâmetro de avaliação da qualidade do ambiente (Doran & Parkin, 1994, 1996).

Sob o ponto de vista agronômico, o solo constitui o substrato para qualquer atividade agrosilvipastoril e, dependendo do manejo ao qual é submetido, é passível de degradação ou melhoramento em sua capacidade produtiva. Esse recurso, inserido em um ecossistema, está sujeito às variações dos demais componentes, em especial clima, vegetação e sistema hídrico (Baruqui & Fernandes, 1985). Entretanto, na maioria dos países da América Latina (Sentís, 1993), os problemas de uso, manejo e conservação das terras não foram no passado, e não são atualmente, considerados com a importância e prioridades devidas. Na verdade, a percepção dos sinais que revelam o desgaste das terras não é difícil, principalmente quando se trata de morfologias erosivas evidentes na paisagem como a erosão em sulcos e voçorocas, o que já não ocorre para o caso da erosão laminar, uma das mais importantes manifestações e menos perceptíveis do processo erosivo.

O preparo do solo é a primeira e uma das principais operações de manejo nos cultivos convencionais (Silva & Ribeiro, 1997). Em geral ele objetiva fragmentar torrões ou camadas densas no solo para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar, água e nutrientes, bem como manejar os resíduos culturais para facilitar as operações de semeadura (Larson & Gill, 1973; Bertol et al., 1997). No entanto, na maioria das vezes, o preparo provoca reduções na porosidade e taxa de infiltração da água no solo, as quais facilitam a erosão hídrica (Olson et al., 1994; Castro & Valério Filho, 1997).

2.1. A Agricultura nos ‘Mares de Morros’

À região accidentada coberta originalmente por floresta tropical, com substrato de rochas cristalinas, principalmente gnáissicas e graníticas, Ab’Saber (1970), nos seus Domínios Morfoclimáticos, deu o nome de Mares de Morros (Figura 1), pois esta região vista à distância lembrou ao autor as ondas do mar. As altitudes nesta paisagem acompanham a grande variação de cotas de quase ao nível do mar até próximo a 1500m.

Apesar da visão inicial das serras e montanhas dos mares de morros pelos primeiros exploradores, a ocupação agrícola iria começar em áreas adjacentes, planas, nos solos hidromórficos das baixadas Fluminense e Santista, nos solos vérticos do recôncavo baiano e nos aluviais e hidromórficos ao longo da região nordeste (Ker, 1997).

Segundo o mesmo autor, além das pastagens de capim gordura acompanhando o avanço da lavoura de café, os mares de morros em parte foram ocupados inicialmente pela pecuária extensiva. Neste caso muitas matas foram queimadas para a expansão das pastagens, até mesmo sem o aproveitamento das madeiras. Assim se estabeleceram em grande parte dos mares de morro dois tipos de usos: a) pequenas e médias propriedades de café e gado, com pastagens de capim gordura, em áreas representativas de Latossolos e Cambissolos de baixa fertilidade natural, em maior altitude e com temperaturas amenas; e b) grandes propriedades de pastagens extensivas de capim colonião para gado de corte, manejadas unicamente com o fogo, de solos Podzólicos Eutróficos, em

altitudes mais baixas, mas de temperaturas mais altas e com déficit hídrico mais pronunciado.



Figura 1. Vista típica do ambiente de Mar de Morros (Fonte: Ker, 1997).

A exploração agrícola, ainda que dominada pela pecuária e cafeicultura, contempla também outras culturas: cana-de-açúcar, feijão, milho (muitas vezes nas entrelinhas do café), mandioca, arroz nas várzeas, fruticultura diversa, olericultura dentre outras, geralmente em pequenas e médias propriedades (Resende et al., 1996).

A degradação dos solos é considerável nesse segmento dos mares dos morros. O histórico de uso no passado, principalmente pela queima e retirada da mata atlântica ainda são fatos recentes, sendo que restam apenas 7% da mata Atlântica (WWF, 1999) e que ainda são agravados pelas práticas atuais de manejo desses solos, arando-se e plantando no sentido do maior declive (morro abaixo), independentemente do tipo da cultura. Isso favoreceu sobremaneira a erosão. Perdeu-se boa parte do horizonte A nestes solos e ainda hoje podem ser observadas as marcas das fileiras dos antigos cafezais, incrustados nas áreas atuais de capim-gordura ou braquiária (Ker, 1997).

2.2. Erosão Hídrica

A degradação do solo pela erosão hídrica é um problema que vem causando preocupação a todos os setores agrícolas produtivos. Bertoni & Lombardi Neto (1985) ressaltam que é praticamente impossível planejar, projetar, construir ou manter medidas de conservação sem a devida preocupação com os processos erosivos.

A erosão hídrica também faz parte do ecossistema e está relacionada com o escoamento superficial, que é a fase do ciclo hidrológico correspondente ao conjunto das águas que sob a ação da gravidade, se movimenta na superfície do solo. São vários os fatores que contribuem com o escoamento superficial. De acordo com Vilella & Mattos (1975), eles podem ser de natureza agroclimática, relacionados à precipitação e de natureza fisiográfica, ligados às características físicas da área. Nos fatores agroclimáticos estão incluídos quantidade, intensidade e duração da precipitação (Cantalice & Margolis, 1993; Albuquerque et al., 1994); sua distribuição temporal e espacial (Wischmeier & Smith, 1978); condições precedentes de umidade; interceptação pela cobertura vegetal (Seganfredo et al., 1997) e também a evapotranspiração. Com relação aos fatores fisiográficos, podem ser destacados: a declividade e comprimento de

rampa (Bertoni et al., 1975; Bertol et al., 1997), forma do terreno (Resende, 1985), a classe de solo e tipos de cultivo.

A erosão hídrica é um processo complexo que se manifesta em intensidade variável, dependendo da importância do clima, solo, topografia, vegetação e uso do solo, práticas conservacionistas complementares e atividade do homem. Dentro desse contexto, a cobertura do solo é o fator isolado mais importante (Foster, 1982), mas a rugosidade e as propriedades físicas da superfície (Cogo, 1981) e subsuperfície (Allmaras et al., 1966) também afetam fortemente a erosão, todos citados por Shick et al., 2000 a,b).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), destacam-se como os principais fatores que afetam a erosão hídrica: o regime pluviométrico, a natureza do solo, a topografia do terreno, a densidade da cobertura vegetal e o sistema de preparo do solo. Enquanto que o regime pluviométrico da região, a natureza do solo e a topografia do terreno são características que independem da ação do homem, a densidade de cobertura vegetal e o sistema de preparo do solo são fatores muito importantes no controle da erosão, que se bem manejados, podem reduzir significativamente a erosão de uma área.

A erosão hídrica consiste basicamente numa série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a erosão hídrica do solo é um processo de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo pela chuva e pelo escoamento superficial. D'Agostini (1999) comenta que qualquer solo pode ser intensamente ou levemente erodido por determinada energia mecânica da água, a qual pode ser manejada desde que se possa decidir como essa energia flui na realização do trabalho erosivo.

O transporte de sedimentos na erosão hídrica é, fundamentalmente, efetuado pelo escoamento superficial, especialmente quando concentrado em sulcos (Wischmeier & Smith, 1978). Quanto maior o volume e/ou velocidade do fluxo, maior é a energia disponível para o transporte de sedimentos (Foster & Meyer, 1977). O volume do escoamento superficial está relacionado, entre outros fatores, com os tempos de início e pico do escoamento e, consequentemente, com o tempo de concentração da área de captação.

A intensidade de erosão é influenciada por forças ativas, como características da chuva, a declividade e o comprimento da pendente, a capacidade de infiltração da água no solo; e por forças passivas, como a resistência do solo à ação de forças cisalhantes decorrentes da precipitação e do próprio escoamento superficial e a densidade da cobertura vegetal (Suárez de Castro, 1959).

A erosão causada pelo escoamento superficial não é a mesma em todos os solos. A condição física, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas, tipifica o comportamento de cada classe de solo exposto à condições semelhantes de relevo, chuva e cobertura vegetal (Bertoni & Lombardi Neto, 1985). A textura do solo é um dos fatores que influem na maior ou menor quantidade de solo arrastado pelo escoamento superficial. Em solo arenoso, onde predominam macroporos, e com baixa declividade, durante uma chuva de baixa intensidade, a água pode ser rapidamente infiltrada, não havendo, portanto, grandes problemas relacionados com a erosão.

A interferência pelas operações agrícolas nesses processos, resultando na perda da qualidade física e química do solo, é responsável pela diminuição considerável da capacidade produtiva das terras. Por essa razão, alguns esforços têm sido realizados no sentido de compatibilizar os usos com as limitações particulares a cada tipo de solos e ao ambiente do qual faz parte (Guerra, 1999).

Os atributos do solo que definem sua susceptibilidade a ser erodido devem ser analisados do ponto de vista dos mecanismos erosivos, considerando: aqueles que afetam direta e indiretamente a resistência à fragmentação e dispersão por salpico; aqueles referentes ao potencial de infiltração; e aqueles que caracterizam a resistência do solo a ser transportado pelos fluxos (Gandullo, 1988).

O cultivo intensivo e a freqüente exposição do solo à ação direta das gotas de chuva promovem rápida degeneração das propriedades físicas da camada superficial e acarretam danos ao desenvolvimento das culturas. Os freqüentes ciclos de umedecimento e secagem reorganizam, segundo Resende (1982), as partículas do solo, e disto resultam a formação de uma camada superficial endurecida denominada de selamento superficial, o qual, dentre outros problemas, causaria a redução do estande da cultura, e assim menor produtividade.

Segundo Nowak et al. (1985), a redução da produtividade pela erosão do solo ocorre devido a perdas de nutrientes para as plantas (através de íons em solução ou por carregamento pelas partículas de solo), perdas de matéria orgânica (perda de nutrientes e de estabilidade estrutural), degradação da estrutura superficial do solo e compactação, inibindo a emergência de plantas e a penetração de raízes, diminuição da aeração e da capacidade de manutenção da umidade e redução na disponibilidade de água e nutrientes (Mayer, 1985; Haeberlin, 1993; Cannell & Hawes, 1994). Segundo Resende et al. (1988), a erosão é o principal mecanismo de perda de nutrientes, em geral, muito mais pronunciado do que as perdas por lixiviação, principalmente no que se refere ao fósforo e nos ambientes de relevo acidentado.

Com base na estimativa de que o Brasil perde anualmente quinhentos milhões de toneladas de terra pela erosão, e supondo-se que nossas terras tenham em média, 0,10% de nitrogênio (N), 0,15% de fósforo (P_2O_5) e 1,5% de potássio (K_2O) pode-se estimar a importância econômica que tal perda representa; isto significa que mais de oito milhões de toneladas desses nutrientes são perdidos anualmente pela erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A erosão causa mudanças nas propriedades do solo devido ao selamento superficial, seletividade das partículas carregadas e remoção não-uniforme da camada de solo, perdas de espessura deixando exposto material de subsolo com problemas nutricionais específicos como toxidez de Al^{+3} ou Mn^{+2} , compactação, afetando o processo de infiltração e retenção de água, menor aeração e redução na disponibilidade de água e nutrientes (Mayer, 1985; Haeberlin, 1993; Cannell & Hawes, 1994).

No interior das lavouras, o nível de movimentação do solo nas operações de preparo e plantio e o grau de cobertura e proteção são fatores determinantes da erosão (Cannell & Hawes, 1994). A intensa mobilização e revolvimento do solo, além de facilitar o trabalho erosivo, tende a reduzir o potencial produtivo das terras por manter pouca quantidade de resíduos na superfície e acelerar sua decomposição, diminuir a atividade biológica e compactar e destruir a estrutura superficial do solo (Bertolini & Lombardi Neto, 1993). A cobertura do solo pelas culturas e restos vegetais desempenha importante papel na dissipação da energia da chuva e na redução do volume e velocidade do escorramento da água, dificultando e tornando menos intenso o trabalho erosivo. A queima ou incorporação dos resíduos orgânicos das culturas anteriores, associada à movimentação e pulverização do solo facilita o processo de conversão da energia da chuva em trabalho erosivo.

A identificação dos fatores que influenciam no processo erosivo e a estimativa das perdas de solo por erosão são preocupações dos cientistas de solos há décadas. A partir das proposições de Zing nos anos 40 surgiu na década seguinte (Wischmeier, &

Smith, 1958; 1969; 1976) a celebre expressão *Universal Soil Loss Equation* (USLE), definida como:

A = R.K.L.S.C.P , onde:

- A = perda de solo em t/ha;
- R = fator de erosividade da chuva (intensidade);
- K = fator de erodibilidade do solo;
- L = comprimento de rampa;
- S = declividade;
- C = cobertura vegetal e manejo do solo;
- P = práticas agrícolas de suporte.

A equação de perdas de solo (USLE) explicita que a quantidade de solo perdida por erosão é produto de diversos fatores causais, expressando atributos edafoclimáticos, de relevo e da qualidade das práticas adotadas na exploração do solo.

Esta forma de tratar o processo erosivo é questionada por D'Agostini (1995), que, valendo-se dos princípios da mecânica e da termodinâmica, propõe abordar a erosão como trabalho e, portanto, envolvendo uma única causa: a conversão de energia. Nesta proposição, a erodibilidade não é uma propriedade do solo, mas função da quantidade de energia transformada em trabalho, a qual depende das condições vigentes, em que a inclinação e o comprimento de rampa e as formas de manejo são tomados como termos fundamentais numa função de conversão de energia.

Segundo o mesmo autor, a relação energia dissipada-energia potencial expressa de modo objetivo o desempenho global do manejo ao qual o meio está sendo submetido, permitindo uma avaliação do grau de "adequacidade" do uso e manejo do solo, independente das características topográficas, tipo de solo e regime pluviométrico. Segundo esta abordagem, a quantidade de solo erodida não é uma medida direta da inadequação do uso e manejo, mas sim do grau de conversão da energia potencial em trabalho erosivo. Explicita ainda que "no que se refere à dinâmica do processo erosivo, as características do solo mais importantes na redução da eficiência energética são muito mais as decorrentes do tipo de uso e manejo, do que aquelas relacionadas à resistência mecânica". Isto significa que, do ponto de vista da apreciação da qualidade do manejo do solo, importa mais a eficiência em dissipar a energia da chuva do que o volume de perdas por erosão em si.

A abordagem de D'Agostini (1995) se coloca como uma contraposição à idéia de Wischmeier e Smith (1978) e Cannell e Hawes (1994) de tratar a taxa de erosão como parâmetro de avaliação da capacidade de sustentação de um dado processo de manejo. Neste sentido, o parâmetro T (taxa de erosão tolerável), fortemente determinado pela profundidade da camada agrícola do solo, é a medida de tolerância ou taxa máxima de perda de solo por erosão (estimado entre 2,2 e 11,2 t/ha/ano nos EUA), que pode ocorrer e ainda permitir sustentar economicamente a produtividade das culturas (Toresan, 1998). A tolerância à erosão, isto é, sua sustentabilidade, teria, nesta ótica, como limite à remoção da camada superficial do solo sua "taxa geológica" de formação. Em outras palavras, seriam considerados aceitáveis ou sustentáveis elevados níveis de erosão em solos mais profundos, independente da forma de uso e dos efeitos externos que poderia causar.

2.3. Sistemas de Preparo do Solo e Erosão Hídrica

Segundo Nuernberg et al. (1986), os solos agrícolas estão sujeitos à modificações em suas características físicas, que variam com o uso e o sistema de manejo a que estão submetidos. O preparo excessivo e superficial do solo para culturas

anuais, muitas vezes com equipamentos impróprios e em condições inadequadas de umidade, normalmente causa sua degradação, favorecendo os processos erosivos. A degradação é acentuada por um inapropriado manejo de resíduos de culturas precedentes, pela perda de fertilidade do solo, por má cobertura e pela ausência de rotação de culturas. Em curto prazo, as alterações nas propriedades dos solos decorrentes do sistema convencional de cultivo são favoráveis ao crescimento das culturas. No entanto, à medida que o solo é submetido a sucessivos anos de cultivo, há uma tendência para diminuição gradativa de seu potencial agrícola, pela alteração dos seus atributos físicos (Machado & Brum, 1978), acarretando diminuição na taxa de infiltração de água e consequente escoamento superficial, gerador de erosão hídrica.

Na medida em que o homem faz uso de máquinas e implementos agrícolas, com a finalidade de reduzir o trabalho humano e/ou animal, é recomendável também que se proteja o solo da deterioração ou degradação, cujos principais responsáveis são a intensidade e a mecanização desordenadas. O preparo do solo é a primeira e uma das principais operações de manejo do solo nas áreas agrícolas com sistema convencional. Em geral, ele objetiva facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar e água, erradicar invasoras para diminuir a competição por água e nutrientes e, as vezes, luz com as culturas, e incorporar os resíduos culturais para facilitar a operação de semeadura (Larson & Gill, 1973). Em solos declivosos e em situações onde a falta de água é fator restritivo, é necessário que a superfície do solo seja preparada de tal forma que ocorra uma rápida infiltração de água, reduzindo com isso, a erosão.

No entanto, na maioria das vezes, embora necessárias à produção, as técnicas de preparo do solo, as operações de plantio e cultivo, causam alterações na estrutura da camada superficial do solo (Raney & Zingg, 1957), as quais facilitam a erosão hídrica das terras agrícolas. Assim, o aumento no revolvimento mecânico do solo, principalmente pelas operações do preparo secundário, provoca diminuição da rugosidade e cobertura superficiais e aumento da degradação da estrutura e erosão hídrica do solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994).

Os diversos sistemas de preparo se diferenciam basicamente pelo grau de movimentação e revolvimento do solo e pelo montante de cobertura morta deixada na superfície. Os métodos de preparo do solo devem ser apropriados a cada condição de clima, cultura e tipo de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Sistemas de manejo que mantém os resíduos culturais na superfície são mais eficazes no controle das perdas de solo e água do que aqueles onde os resíduos são, totais ou parcialmente incorporados (Bertol et al., 1997; Hernani et al., 1997). Por outro lado, as perdas de água, em geral, são menos afetadas do que as perdas de solo pelos sistemas de preparo e manejo utilizados (Bertol et al., 1997). Isto se deve ao fato de o solo apresentar limitada capacidade de infiltração de água, a partir da qual a taxa de enxurrada tende a se igualar em sistemas de preparo e manejo reduzidos (Bertol, 1994).

Normalmente o preparo do solo incorpora os resíduos culturais e altera as propriedades físicas da superfície e subsuperfície. De modo geral, o aumento da sua intensidade, diminui a cobertura, a rugosidade e a porosidade total da camada preparada, favorecendo a erosão hídrica. No entanto, a incorporação ao solo de grandes quantidades de resíduos culturais pode reduzir as perdas de solo nos manejos mais intensos. Isso se deve, sobretudo, ao efeito mecânico ocasionado pelo "ancoramento" do resíduo e ao efeito biológico devido à atividade microbiana sobre a estrutura do solo. Bertol (1994), trabalhando em Cambissolo Húmico, afirma ser possível que sistemas de preparo do solo relativamente mais intensos, apresentem perdas de solo baixas como por ele constatado.

A cobertura da superfície e o sistema de preparo do solo exercem papel crucial no manejo da água nas lavouras, cujo objetivo principal é regular as taxas de infiltração e de evaporação da água. Sistemas conservacionistas de preparo do solo, com grande quantidade de resíduos de cobertura na superfície, além de reduzirem a taxa e o montante de água de chuva que escorre na superfície, reduzem a concentração de sedimentos na água transportada melhorando sua qualidade e permitem a manutenção de umidade na superfície do solo por um período mais longo reduzindo assim os efeitos das estiagens prolongadas. Os preparamos conservacionistas caracterizam-se, em geral, por uma reduzida movimentação do solo, preservação da maioria dos resíduos culturais na superfície e, com exceção da semeadura direta, elevada rugosidade superficial (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987; Bertol, 1995). Essas condições retardam o início do escoamento superficial (Bertol, 1986), aumentam as taxas de infiltração e, consequentemente, reduzem a erosão hídrica (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987).

Vários são os fatores do solo que interferem na magnitude da taxa de infiltração básica. Esses fatores estão associados às propriedades físicas do solo, da própria água, e do manejo adotado. A textura (Daker, 1970), a estrutura (Resende et al., 1997), o tamanho e disposição do espaço poroso (Baver et al., 1972), o manejo do solo (Dickerson, 1976), a mineralogia (Ferreira, 1988) e a umidade (Araújo & Ribeiro, 1996), além da metodologia utilizada na sua estimativa (Brito et al., 1996), são alguns dos fatores apontados como responsáveis pelas variações na taxa de infiltração da água nos solos.

A semeadura direta, apesar da baixa rugosidade superficial, possibilita o ancoramento dos resíduos vegetais presentes na superfície, nas soqueiras das culturas, e ainda, resulta em elevada consolidação da superfície (Dissmaeyer & Foster, 1981). Esses efeitos aumentam a tensão crítica de cisalhamento do solo, dificultando a ação erosiva do escoamento superficial e diminuindo a erosão hídrica em relação aos demais sistemas de preparo do solo. No entanto, na semeadura direta, o escoamento superficial é capaz de suspender o resíduo cultural da superfície do solo, removendo-o e/ou escoando por baixo dele, produzindo assim sulcos e aumentando a erosão hídrica (Cogo, 1981; Foster et al., 1982; Bertol, 1995). Foster et al. (1982), afirmam que as porções da superfície mais mobilizadas e desprotegidas de resíduos culturais, pelo efeito do preparo do solo, podem contribuir, expressivamente, para o aumento da erosão hídrica, por sua baixa tensão crítica de cisalhamento.

Paiva et al. (2001) verificaram que o aumento da percentagem de cobertura do solo propiciou uma expressiva redução na vazão máxima e na altura da lâmina de água escoada, atribuindo a isso o fato do solo estar protegido do impacto direto das gotas de chuva, reduzindo assim o processo de selamento superficial e mantendo maiores taxas de infiltração, resultados observados também por Alvez et al. (1995) e Cogo et al. (1996).

O sistema convencional de preparo do solo é o mais utilizado pelos agricultores em todo o mundo. Caracteriza-se por intensa mobilização do solo, com revolvimento da camada superficial e incorporação quase total dos restos culturais (Carvalho et al., 1991; Blevins & Frye, 1993). Já por sistema de preparo conservacionista é denominado toda forma de preparo que reduza a movimentação do solo em relação ao sistema convencional e que mantenha após o plantio pelo menos 30% dos restos de cultivos anteriores sobre a superfície (Lal et al., 1990; Carvalho et al., 1991). Esta combinação (cobertura morta e pouca movimentação do solo) é a característica principal dos sistemas conservacionistas de preparo do solo.

São três as designações comumente atribuídas aos sistemas conservacionistas de preparo do solo: Preparo Reduzido, Cultivo Mínimo e Plantio Direto (Derpsch, 1991;

Carvalho et al., 1991; Blevins e Frye, 1993). Apesar das diferentes designações, estes sistemas de manejo conceitualmente se confundem comumente na literatura; pode-se dizer que são basicamente sinônimos, por estarem fundamentadas no mesmo princípio conservacionista.

O termo Preparo Reduzido é utilizado para designar formas de preparo que reduzem a superfície afetada, a profundidade trabalhada e o número de operações em relação ao sistema convencional. No Cultivo Mínimo, o solo não é movimentado no intervalo entre a colheita e o próximo plantio. O preparo da cama para a semeadura é realizado através da abertura de sulcos, deixando-se os resíduos entre sulcos na superfície. O plantio é feito em linha nos sulcos, mantendo-se o solo e a cobertura intactos entre as linhas. O controle de plantas invasoras é, comumente, feito por herbicidas.

O termo Plantio Direto aplica-se ao mais pesquisado e difundido dos sistemas conservacionistas de preparo do solo e semeadura. Neste sistema, o plantio é realizado sem qualquer movimentação do solo e a semeadura é feita em pequenos sulcos (rasgos) nas linhas de plantio, onde também são depositados os fertilizantes. O sistema, no início da implantação, é dependente de herbicidas para o controle das plantas daninhas e está associado a rotação de culturas, comerciais ou para incorporação de resíduos vegetais. Em geral, solos manejados sob sistema de plantio direto adquirem algumas condições físicas diferentes de outros sistemas, como por exemplo, do manejo convencional (Reinert et al., 1984) citados por Albuquerque et al. (1995).

Alguns dos sistemas de manejo do solo empregados na agricultura procuram não apenas melhorar a produtividade, mas principalmente reduzir a erosão e evitar a degradação do solo. Estudos têm demonstrado diferenças nos atributos físicos e químicos do solo quando se comparam sistemas de cultivo reduzido (ou cultivo mínimo) e convencionais (De Maria & Castro, 1993).

As técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denominam-se práticas conservacionistas (Santos, 2001). Estudos têm demonstrado que mesmo em terrenos altamente favoráveis à erosão, práticas conservacionistas adequadas podem ajudar na redução das perdas das partículas do solo e nutrientes e, consequentemente, reduzir os custos de produção, proporcionando maior renda e obtendo uma maior sustentabilidade do agroecossistema (EMBRAPA, 1998 b).

Seganfredo et al. (1997) observaram sensíveis diferenças entre o manejo convencional e o conservacionista quanto à eficiência da diminuição das perdas de água por escoamento, verificando a ineficácia do primeiro nessa propriedade.

2.4. Práticas Agrícolas e Propriedades Edáficas

O sistema de preparo e as práticas de manejo agrícola afetam atributos do solo como: matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, pH, densidade, condutividade hidráulica, conteúdo de água disponível e estabilidade dos agregados. Em geral, em condições de solos bem drenados, as formas conservacionistas de preparo melhoram as condições de todos estes atributos, especialmente na camada superficial (Derpsch, 1991; Cannell & Hawes, 1994). Desse modo, a adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo, além de resultar em melhor controle da erosão, tende a melhorar a qualidade da água, a eficiência no uso de energia e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e sua produtividade.

2.4.1. Propriedades físicas

De modo geral, o aumento do número de operações nos sistemas convencionais, principalmente com equipamentos de tração mecânica para preparo do solo, diminui a rugosidade e a porosidade total da camada superficial, aumentando a desagregação e a

quantidade de solo transportado (Cogo, 1981), favorecendo a formação de sulcos e as perdas de solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987).

Para que os sistemas agrícolas sejam estáveis e continuamente produtivos, é necessário manter adequadas as condições físicas do solo, adicionar os nutrientes conforme a necessidade da cultura e controlar a erosão, por métodos efetivos e que não tornem oneroso o processo de produção. Estudos recentes indicam que a adequada cobertura do solo por resíduos culturais pode prevenir a erosão, manter o conteúdo de matéria orgânica e permitir a sustentabilidade das culturas. Para manter o solo coberto, recomenda-se o uso de sistemas de manejo conservacionistas como o plantio direto ou o cultivo mínimo, com economia de tempo, combustível e trabalho. Ainda, a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, aliada as demais práticas conservacionistas, como plantio em nível, cordões em contorno e terraceamento, diminui a evaporação e o escoamento superficial, elevando a taxa de infiltração (Derpsch et al., 1986). O sistema de manejo convencional tem sido criticado por contribuir para o processo erosivo do solo, resultando em poluição ambiental.

O sistema de plantio direto produz condições na zona radicular, que podem parecer menos favoráveis para o crescimento das plantas, pois, em alguns trabalhos são detectados maiores valores de densidade do solo e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total, nas camadas superficiais do perfil, em comparação com o preparo convencional (Stone et al., 2001). Isto é decorrente, principalmente do não revolvimento do solo e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas ou implementos agrícolas, sobretudo quando realizada em solos com elevados teores de argila (Corrêa, 1985). Porém, segundo Fernandes et al. (1983) e Reeves (1995), com o passar dos anos, a densidade do solo sob plantio direto, pode diminuir, em parte devido ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a agregação do solo. Por outro lado, Zaffaroni et al. (1991) não encontraram diferenças na produtividade do feijoeiro em plantio direto ou convencional em Latossolo Vermelho-amarelo plano. Sampaio et al. (1989) e Siqueira (1989), por sua vez, observaram maior produtividade no preparo convencional.

Contudo, o sistema de plantio direto tem-se mostrado como o mais produtivo na cultura do milho, ao diminuir as perdas de água por evaporação e perdas de solo transportado pela enxurrada, com o aumento da taxa de infiltração de água. Hill (1990), em trabalho com onze anos de duração, encontrou para o sistema de manejo convencional, a densidade do solo, na camada superficial, foi menor quando comparada ao sistema de plantio direto.

Voorhees et al (1989), não encontraram diferenças consistentes de produtividade de grãos de milho, afetadas pela compactação de camadas subsuperficiais e da superfície do solo, indicando que, em algumas situações, a maior densidade do solo pode não ser prejudicial para a produtividade das culturas.

Diferenças na densidade entre solos sob tratamentos de manejo convencional e plantio direto têm sido relatadas como significantes, mas nem sempre são encontradas (Fernandes, 1983). Voorhees (1984) informa que são necessários três a quatro anos, sob condições de manejo conservacionista, para desenvolver porosidade mais favorável na camada de 0-15 cm, quando comparado com solos arados continuamente.

2.4.2. Nutrientes e carbono orgânico

A perda de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, com consequentes aumentos em seu custo de produção e na contaminação ambiental. Alguns trabalhos apontam perdas significativas de nutrientes por erosão hídrica, em relação ao que as culturas exigem (Schwarz, 1997; Schick, 1999),

refletindo-se no custo de produção das culturas. Além dos prejuízos econômicos, também deve ser considerada a deterioração da qualidade das águas superficiais, onde os elementos removidos do solo são depositados.

Essa mesma perda de nutrientes pode ser expressa tanto em concentração do elemento na suspensão ou no sedimento, como em quantidade perdida por área. A concentração de determinado elemento na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelas fertilizações, manejo e tipo de solo. A quantidade total transportada, no entanto, depende do tanto da concentração do elemento no material erodido quanto do volume total desse material perdido (Seganfredo et al., 1997).

Segundo Castro et al. (1986) e Dedecek et al. (1986), a variação no sistema de preparo do solo não influencia a concentração de nutrientes no sedimento transportado, o que entretanto, não foi confirmado por Seganfredo et al. (1997) e Schick (1999). Estudos relativos à efetividade de sistemas conservacionistas de preparo do solo no controle de perdas de nutrientes indicam que o total de nutrientes perdidos pela erosão hídrica decresce quando tais sistemas são utilizados (Seganfredo et al., 1997; Schick, 1999). Esse comportamento resultaria dos efeitos combinados do aumento na cobertura do solo com restos culturais, do decréscimo da incorporação de fertilizantes e da redução de perdas de solo e água (McDowell & McGregor, 1984, citados por Schick, 2000).

Os sistemas de preparo do solo, ao alterarem as propriedades físicas do perfil do solo, podem afetar o fluxo e a disponibilidade de água para as plantas. Em consequência, a absorção de nutrientes também é afetada, pois a sua relação com a concentração dos nutrientes em solução é muito estreita, pelo efeito desta sobre os mecanismos de contato íon-raiz (Rosolem, 1987).

Quanto às características químicas do solo, alguns trabalhos mostram que existem alterações na camada arável do solo. Muzilli (1983) detectou um acúmulo de fósforo nas camadas superficiais, no sistema de plantio direto, assim como menor quantidade de nitrogênio. Os dados avaliados por Ike (1987) confirmam os de outros autores e demonstram que a quantidade de nutrientes na camada superficial com semeadura direta, são significativamente maiores que em outros tipos de preparo do solo.

Normalmente observa-se maior teor de fósforo na camada superficial dos solos sob manejos conservacionistas, em comparação aos sob preparo convencional. O que é devido à pequena mobilidade do elemento no solo, que mantém o adubo residual na profundidade de aplicação, e da imobilidade e baixa solubilidade dos compostos de fósforo, sobretudo em solos de natureza ácida e com altos teores de argila, óxidos de ferro e de alumínio (Salles et al., 1997; Pereira et al., 1999).

Oliveira et al. (2001), em Nitossolo Vermelho no estado do Paraná, verificaram que na camada de 5-10 cm não houve influência entre os sistemas de preparo nos teores de fósforo. Os resultados obtidos por Siqueira (1995) demonstram que, em profundidade, ocorrem decréscimos nos teores de P, sendo maiores no preparo convencional. Tal fato pode ser ainda atribuído ao maior revolvimento do solo no preparo convencional, possibilitando maior contato entre o fertilizante e as partículas inorgânicas do solo (Raij, 1991).

Com relação ao potássio, os resultados variam, conforme o tipo de solo (textura e mineralogia), regime de umidade e drenagem do solo e da intensidade de adubação. Muzilli (1983) observou distribuição similar do potássio em Latossolo nos sistemas plantio direto e preparo convencional. Já De Maria & Castro (1993) observaram, após sete anos, em cultivo de milho e soja em Latossolo Roxo, que os teores de K foram mais

elevados nas camadas superficiais em áreas com preparo reduzido. Klepker & Anghinoni (1995a) verificaram, maior concentração de potássio nas camadas superficiais para o tratamento sem revolvimento do solo, já no segundo ano de cultivo.

Os sistemas de preparo do solo aparentemente não têm afetado os teores de Al, Ca e Mg trocáveis ou o pH. Klepker & Anghinoni (1995a) constataram em que a distribuição de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, o pH em água e a necessidade de calcário foram semelhantes nos manejos convencional e reduzido.

Diferentes sucessões e rotação de culturas podem também afetar o teor de nutrientes, em vista das diferenças em exigência nutricional, profundidade de raízes e quantidade de material vegetal que permanece no solo (Silveira & Stone, 2001). Do ponto de vista químico, em geral os solos cultivados no plantio direto apresentam maior concentração de nutrientes, matéria orgânica (Muzilli, 1983; Centurion et al., 1985) e metais pesados (Núñez, 1998) na camada superficial do solo. Esse acúmulo ocorre em virtude da contínua aplicação de fertilizantes a uma pequena profundidade, aliada à deposição dos resíduos das culturas sobre a superfície, onde permanecem devido ao não revolvimento do solo.

Núñez et al. (1997), avaliando solos em parcelas de erosão instaladas em uma microbacia hidrográfica no município de Paty do Alferes (RJ), segundo o modelo experimental de Wishmeier et al. (1969), verificaram que além das perdas de nutrientes a erosão também pode aumentar a perda de metais pesados do solo, o que pode trazer sérios riscos de contaminação em outras áreas e em corpos d'água.

O manejo agrícola e a produtividade das terras no ambiente de Mar de Morros estão fortemente relacionados à intensidade de uso e à topografia do terreno. Menezes et al. (2000), em estudo no município de Pinheiral (RJ), avaliaram propriedades edáficas de áreas agrícolas com culturas de subsistência e pastagem em encostas declivosas e no topo de elevações. Os autores verificaram que as maiores perdas de K, na camada de 0-10 cm, ocorreram no terço médio da encosta, em relação às posições de topo e terço inferior. As perdas de Ca+Mg foram maiores no terço médio da encosta e em áreas de pastagem. Os maiores valores de densidade do solo e teores de C orgânico foram encontrados nas posições de topo de elevação (0-5 cm), para pastagem e culturas de subsistência em relação ao terço superior e médio da encosta.

Quanto à matéria orgânica, teores mais altos de carbono orgânico foram encontrados em solos cultivados sob plantio direto do que no preparo convencional na camada de 0-5 cm (Santos et al., 1995; De Maria & Castro, 1993), indicando que o teor de matéria orgânica é função do manejo atual e histórico dos restos de cultura. Muzilli (1983), verificou teores de matéria orgânica superiores nos sistemas de plantio direto em relação ao convencional. Resende et al. (1996), em revisão sobre desenvolvimento sustentável, concluíram que a queda nos teores de matéria orgânica em solos com grande declividade e constante uso agrícola, pode estar mais relacionada com a perda por erosão do que com a mineralização propriamente dita.

Bayer & Mielniczuk (1997), realizando um estudo sobre os efeitos do preparo do solo no conteúdo de carbono orgânico, observaram que a medida que se reduziu o revolvimento, ocorreu aumento no conteúdo de carbono orgânico total nos diferentes sistemas testados.

Em geral, as perdas de carbono orgânico por erosão hidrica são elevadas (Schick, 1999) e podem constituir importante fator de degradação do solo. Em geral, sua concentração no sedimento erodido correlaciona-se linear e positivamente com o conteúdo na camada superficial do solo de onde o sedimento se originou, podendo essa perda ser prevista através de modelos de regressão linear simples (Schwars, 1997; Schick, 1999, Schick et al., 2000).

2.4.3. Propriedades físico-hídricas e perdas de solo e água

De acordo Shaxson (1988), quanto maior for o volume de água infiltrado no solo, mais seguro será seu armazenamento, melhor será o crescimento das plantas e menores os problemas com erosão, escoamento superficial, enchentes, assoreamento de rios e reservatórios, etc. Quanto melhores forem as condições do solo como ambiente para o crescimento do sistema radicular - em termos de condições estruturais e de umidade do solo, da disponibilidade de nutrientes para as plantas, de materiais e processos orgânicos - melhor será o rendimento das culturas, maior volume vegetal, maior proteção para a superfície do solo.

Segundo o mesmo autor, sistemas de cultivo menos agressivos ao arranjo estrutural, como o cultivo mínimo ou plantio direto, e o melhor manejo de pastagens, reduzem a pulverização e/ou compactação do solo, o que favorece tanto o crescimento vegetal como a infiltração de água. Entretanto, as medidas físicas (mecânicas) de conservação do solo são eficientes somente contra o escoamento superficial. Elas não substituem a vegetação na proteção do solo, nem mesmo na manutenção de suas condições estruturais, devendo, portanto, serem usadas como complemento ao manejo do solo, jamais como seu substituto. Se a água, o solo e as plantas forem bem manejados, solo e água serão automaticamente conservados, como consequência dessas ações.

A taxa de infiltração e o armazenamento da água no solo podem também ser influenciadas pelas práticas de manejo adotadas. Os sistemas de preparo que reduzem o número de operações com implementos de discos provocam menor pulverização do solo superficialmente, reduzem a formação de camadas compactadas e aumentam a capacidade de infiltração e a quantidade de água armazenada no solo (Oliveira et al., 1990). Os sistemas de preparo do solo existentes afetam distintamente o escoamento superficial e consequentemente o processo erosivo, por causa das diferentes intensidades de movimentação que provocam, conforme foi observado por Margolis & Mello Netto (1977) no Agreste de Pernambuco.

Diversos estudos comprovam a relação entre práticas de cultivo das terras e rotação de culturas nas propriedades físicas do solo, principalmente na sua estrutura. Isensee & Sadegui (1993) verificaram redução das perdas de água, de sedimentação e de perdas de solo por erosão em solos sob cultivo mínimo quando comparados com o preparo convencional. Canalli & Roloff (1997), observaram em Latossolo Vermelho Escuro maior capacidade de armazenamento de água em terras sob plantio direto como consequência do melhor arranjoamento de poros. Ao contrário, terras que foram cultivadas com maquinário pesado apresentaram maior compactação.

Outros trabalhos têm evidenciado que, em plantio direto, o conteúdo de água do solo é maior que em áreas cultivadas com preparo convencional (Salton & Mielniczuk, 1995). Sidiras et al. (1983) verificaram que, no cultivo de soja em plantio direto em Latossolo Roxo distrófico, o solo reteve de 36% a 45% mais água disponível para culturas, reduzindo as perdas de água por evaporação e aumentando o armazenamento de água no solo.

O sistema de plantio direto proporciona aumento da taxa de infiltração de água no solo ao favorecer o maior tamanho de agregados estáveis em água que o preparo convencional do solo, possivelmente devido a não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo e pela proteção que a palha oferece na superfície. É de se esperar, portanto, maior resistência à erosão dos solos manejados no sistema de plantio direto do que em preparo convencional (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Schick et al (2000), quantificando as perdas de solo e água em Santa Catarina em Cambissolo Húmico alumínico submetido à diferentes sistemas de preparo e cultivo

do solo na sucessão de trigo e soja, observaram que a semeadura direta reduziu as perdas de solo em 68% quando comparada ao pregar com aração + duas gradagens.

Núñez (1998), avaliando a influência de diferentes sistemas de pregar do solo no controle da erosão numa área com 45% de declividade no município de Paty do Alferes (RJ), mostrou que o cultivo mínimo reduziu as perdas de solo em até 87% quando comparado ao pregar com aração com trator morro abaixo e queima dos restos vegetais.

2.5. Compactação e resistência do solo

A compactação é caracterizada pela redução do volume do solo quando uma pressão externa é aplicada (Hakansson & Voohes, 1998). Para Gupta & Allmaras (1987), compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado, na qual acontece um aumento da sua densidade em consequência da redução do seu volume, devido à expulsão do ar dos poros do solo. Mantovani (1987) caracterizou um solo como agronomicamente compactado, quando a proporção do volume total de poros, para um certo volume de solo, é inadequada ao máximo desenvolvimento de uma cultura ou manejo eficiente do campo. Já Daniel & Maretti (1990) conceituaram camada de solo compactada, como a faixa do perfil que, em sua extensão superficial ou subsuperficial, apresenta, devido a uma carga de compressão mecânica, um valor de densidade do solo maior do que no seu estado natural. Para uma mesma condição, o fator que governa a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo é a umidade (Imhoff, et al. 2000).

As forças que atuam no solo podem ser classificadas como externas e internas. Forças externas resultam do tráfego de veículos, animais ou pessoas, assim como do crescimento de raízes grandes que empurram as partículas do solo para forçar sua passagem, podendo até causar compactação. As forças internas resultam de ciclos, como congelamento e degelo, umedecimento e secamento, e expansão e contração da massa do solo. Quando expressas como pressão, essas forças provavelmente têm a mesma ação no sistema, não sendo necessária distinção entre elas (Camargo e Alleoni, 1997).

A compreensão do processo de compactação do solo e de sua relação com os tipos de operações agrícolas são elementos importantes no manejo adequado das condições físicas dos solos para otimização dos sistemas de produção agrícola. O grau de compactação tolerado depende do objetivo pretendido. A compactação do solo modifica a quantidade e distribuição dos tamanhos de poros alterando a quantidade e o fluxo de água no solo, aumentando a resistência à penetração do solo, reduzindo a aeração, influindo no desenvolvimento das raízes, prejudicando suas atividades metabólicas e, como consequência, diminuindo a qualidade e quantidade dos produtos agrícolas colhidos (Balastreire, 1987; Soane & Van Ouwerkerk, 1995).

Estudos mostram que a formação de camadas subsuperficiais mais densas no solo se dá pela eluição de partículas finas para horizontes inferiores adjacentes, obstruindo os poros formados entre as partículas maiores ou microagregados, ou seja, ocorre maior contato entre as partículas, diminuindo a macroporosidade do solo. Tal processo é caracterizado como adensamento (Jucksch, 1987).

A desagregação, no adensamento ou na compactação, é causada por modificações químicas, como a calagem (Jucksch, 1987; Carvalho Júnior, 1995), e físicas, provocadas por ciclos de umedecimento e secagem (Oliveira et al., 1992). As principais causas, que podem ser naturais ou antrópicas, são a chuva e os dispersantes químicos, que desagregam parcialmente o solo, levando à dispersão das partículas químicas, que desagregam parcialmente os implementos que revolvem o solo. Em áreas com sólidas, além da ação mecânica dos implementos que revolvem o solo. Em áreas com intenso uso de máquinas, a desagregação do solo e a subsequente movimentação

vertical de argilas, seguida de deposição na superfície, formam camadas compactadas logo abaixo da camada arável (Mantovani, 1987; Carvalho Júnior, 1995). Oliveira (1992) destaca, neste processo, a dispersão de argila, provocada por uma maior taxa de oxidação da matéria orgânica do solo, e por alterações químicas quando esses solos são utilizados para a produção agrícola.

As evidências verificadas em diversos estudos (Pedrotti et al., 2001; Tavares Filho et al., 2001; Muller et al., 2001) têm mostrado que os sistemas de produção agrícola que são intensamente mecanizados, provavelmente, têm sido influenciados adversamente pela compactação do solo, o que é indicado pela maior resistência à tração e relação tensão-deformação. A compactação induz ao aumento da densidade do solo (Azenegash et al., 1997), à diminuição da porosidade total e à alteração na distribuição dos tamanhos dos poros (Dexter, 1988) e das propriedades hidráulicas do solo (Horton et al., 1994). Outros efeitos tem sido observados, como modificações na estabilidade dos agregados e aumento na resistência do solo à penetração das raízes (Murphy et al., 1995).

O aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento da densidade do solo e drástica redução na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível à planta, e na aeração (Alvarenga, 1996). Essas alterações, além de favorecerem a formação de ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas, comprometem a infiltração de água e a penetração das raízes, tornando os solos mais suscetíveis à erosão (Vepraskas & Wagener, 1990).

Para Camargo e Alleoni (1997), à medida que atributos físicos do solo como aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração são modificados, eles afetam também atributos químicos (disponibilidade dos nutrientes para as plantas), biológicos (condições do solo para o desenvolvimento de microrganismos) e a região ocupada pelas raízes – a rizosfera. Ainda para esse autor, no final do processo, encontra-se a planta, que será, em suma, o retrato do sistema de manejo adotado.

2.5.1. Efeitos da compactação em atributos físicos do solo

Os atributos físicos dos solos favoráveis ao crescimento radicular são necessários para a obtenção e manutenção de elevadas produtividades. Os solos devem possuir suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases e resistência favorável à penetração das raízes. Neste contexto, a compactação causada pelo manejo do solo, concorre para a redução da produtividade e longevidade das lavouras.

O preparo do solo promove alterações nas suas características físicas, químicas e biológicas, principalmente em decorrência do maior ou do menor revolvimento e da profundidade de trabalho a que é submetido. Dessa forma, na semeadura direta, o tráfego de máquinas e implementos provoca compactação superficial (Woorhees & Lindstron, 1983), enquanto nos preparamos convencionais a compactação ocorre abaixo da camada arável.

As principais modificações de importância agronômica que ocorrem em solos compactados são: aumento da densidade do solo (Zhang et al. 2001) e da resistência mecânica à penetração radicular (Rosolen et al. 1999; Radford et al. 2001), redução da aeração (Borges et al. 1999; Ishaq et al. 2001), alteração do fluxo de água (Borges et al. 1999; Martins Filho et al. 2001) e de calor (Salton et al. 1995; Camargo & Alleoni, 1997), da disponibilidade de água (Stone et al. 1999), formação de crostas superficiais (Proffitt et al. 1995; Robinson et al. 2001), aumento do escoamento e erosão (Nguyen et al. 1998) e reduções no conteúdo de matéria orgânica (Ferrero, 1991). Num determinado tempo e local, um ou mais desses efeitos pode tornar restrito o desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estádio de desenvolvimento da planta (Camargo & Alleoni, 1997).

De acordo com Hillel (1982), a compactação aumenta a densidade do solo e a sua resistência mecânica e diminui a porosidade total, em relação ao tamanho e continuidade dos poros. Para este autor, reduções significativas ocorrem principalmente no volume dos macroporos, enquanto os microporos permanecem inalterados. Neste sentido, segundo Moura Filho e Buol (1972), a compactação excessiva pode limitar a infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas, e o desenvolvimento do sistema radicular.

No que se refere a atributos de solo que possam ser indicadores de compactação, o mais utilizado é a densidade do solo. Entretanto, a densidade do solo é uma propriedade que varia naturalmente de solo para solo e dentro de um mesmo solo nos diversos horizontes, dependendo da textura, da mineralogia, do grau de compactação ou adensamento, do teor de matéria orgânica, da ausência ou presença de cobertura vegetal, e do sistema de cultivo empregado (Brady, 1989). Segundo Kiehl (1979), as amplitudes de variação das densidades de solo situam-se dentro dos seguintes limites médios: solos argilosos, de 1,00 a 1,25 g cm⁻³; solos arenosos, de 1,25 a 1,40 g cm⁻³; solos humíferos, de 0,75 a 1,00 g cm⁻³; e solos turfosos, de 0,20 a 0,40 g cm⁻³.

Existe estreita relação entre a densidade do solo e outros atributos, como: porosidade total, macroporosidade e teor de matéria orgânica. Kiehl et al., (1972), ressaltam que para uma correta interpretação dos resultados da densidade do solo é indispensável compará-los com outras informações, como: densidade de partículas, distribuição dos poros por tamanho, teor de matéria orgânica e grau de agregação.

Segundo Grohman (1972), dentre os atributos físicos do solo sujeitos à alterações pelo cultivo, a porosidade total, por estar relacionada com o volume e com a distribuição dos espaços porosos, merece especial atenção, visto que nesses espaços se processam os principais fenômenos que regulam o crescimento e produção vegetal. Para Baver (1956), citado por Carvalho et al., (1999) a variação da porosidade total depende do tamanho das partículas e do grau de agregação, e a matéria orgânica tem um papel importante, uma vez que favorece a formação de agregados, com consequente aumento na porosidade.

A compactação do solo reduz o espaço poroso total e consequentemente reduz a condutividade hidráulica do solo quando saturado com água. A condutividade hidráulica de um solo não saturado, com umidade abaixo da capacidade de campo, é maior para um solo compactado do que para um solo não compactado devido ao aumento do número de poros pequenos, ao contrário do que acontece para a condutividade hidráulica do solo saturado. Para um mesmo solo, em condição não saturada, a diminuição do conteúdo de água provoca uma queda menos acentuada da condutividade hidráulica num solo compactado que num solo não compactado (Kemper et al. 1971).

Outro atributo influenciado pela compactação é a aeração do solo. Para Braunack & Dexter (1989) a aeração depende de fatores tais como a distribuição do tamanho de agregados e o teor de água do solo, considerando-se que estas propriedades afetam a porosidade do solo. Grable & Siemer (1968) relatam que a difusão dos gases pode cessar quando os macroporos forem reduzidos para um valor inferior a 10%. Estas mudanças na distribuição dos espaços vazios, que acompanham a redução na porosidade após a compactação, podem restringir o movimento de água, a aeração e o desenvolvimento das raízes.

2.5.2. Efeito da compactação sobre o estado nutricional das plantas

Existem diversos fatores que ocasionam um crescimento deficiente do sistema radicular de plantas cultivadas, podendo ser citados: danos causados por insetos e moléstias, deficiências nutricionais, acidez do solo, drenagem insuficiente, baixa taxa de oxigênio, temperatura imprópria do solo, compactação do solo e dilaceramento

radicular. Dentre estas limitações, a compactação do solo toma, muitas vezes, dimensões sérias, pois ao causar restrição ao crescimento e desenvolvimento radiculares, acarreta uma série de problemas que afetam direta e indiretamente a produção das plantas (Camargo & Alleoni, 1997), através da interferência no processo de absorção de nutrientes (Nguyen, 1998).

As plantas obtêm os nutrientes que necessitam através da absorção, pelas raízes, dos elementos existentes na solução do solo. A absorção destes nutrientes dá-se por três processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão (Barber & Olson, 1968; Corey, 1973 citados por Raij, 1991). De acordo com Ruiz (1986), uma análise mais crítica questionaria o conceito de interceptação radicular, pois, na prática, esse processo não passaria de um mecanismo de fluxo de massa ou difusão, alterados pela menor distância percorrida e pelo maior gradiente de concentração do íon.

O fluxo de massa está associado ao gradiente de potencial matricial provocado pela absorção de água pelas plantas. Assim, a concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade transportada por esse mecanismo. A difusão, pelo contrário, é devida ao movimento térmico, ao acaso, dos íons ou moléculas num meio líquido. O gradiente de concentração provoca um movimento maior de íons em direção aos pontos de absorção do que no sentido oposto (Barber, 1974 e Wild, 1981, citados por Ruiz, 1986).

A compactação pode afetar o estado do nutriente no solo, tanto por caminhos deletérios quanto benéficos. Desta forma, a compactação pode aumentar a taxa de movimentação dos nutrientes, para as raízes, por difusão e fluxo de massa. Por outro lado, pode resultar em um decréscimo na quantidade de nutrientes mineralizados provenientes da matéria orgânica do solo. Se a compactação aumenta o escoamento superficial e com isso reduz o conteúdo de água no solo, a área seccional de passagem disponível para a difusão decresce, reduzindo com isso, o fluxo difusivo, e talvez reduzindo o fluxo convectivo de nutrientes. De qualquer modo, se a entrada de água permanecer satisfatória e as práticas de manejo garantirem uma fertilização adequada, uma compactação moderada pode não ser danosa para o status de nutrientes à planta (Kemper et al. 1971).

A influência da compactação na difusão de nutrientes ainda não é muito clara. Existem experimentos nos quais a compactação aumenta, e outros nos quais ela diminui o coeficiente de difusão dos íons (Camargo & Alleoni, 1997). Assim, por exemplo, se a compactação aumenta a condutividade do solo não saturado, o fluxo de massa será maior, carreando mais rapidamente os íons da solução. Por este mecanismo, a compactação aumentará o transporte de íons até a superfície absorvedora ou poderá favorecer a sua lixiviação. Isto ocorre com o íon nitrato, por exemplo, dado que o fluxo de massa é muito importante para seu movimento (Kemper et al. 1971; Camargo & Alleoni, 1997).

Segundo Novais & Smith (1999), as menores respostas à adubação observadas em nossos solos, com o aumento do número de anos de cultivo, em boa parte, seriam resultantes da degradação das propriedades físicas desses solos, levando ao aumento de suas densidades e, como consequência, à adsorção de fósforo, preferencialmente ao fluxo difusivo. Com a compactação, aumenta a participação de microporos; há o aumento da energia de retenção da água no solo, assim aumenta a viscosidade da água e a interação de íons de fosfato e superfície dos colóides ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que o fosfato tenha que se difundir cada vez mais próximo de superfícies positivamente carregadas, que o adsorvem. Para que o P continue chegando até às raízes, doses cada vez maiores terão de ser aplicadas, de modo que aumente a

saturação por P nessas superfícies adsorventes e possibilite a manutenção do fluxo difusivo em níveis pelo menos razoáveis, em termos de demanda da planta.

Trabalhando com resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade, Ribeiro et al., (1999), observaram que o fluxo difusivo do P nos solos estudados foi fortemente reduzido pelo decréscimo de umidade do solo ou pelo aumento da sua densidade, sendo que o aumento da densidade do solo foi mais prejudicial ao crescimento das plantas no Latossolo Vermelho-Escuro do que no Latossolo Vermelho-Amarelo.

Avaliando as respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo, Borges et al., (1988), observaram que as concentrações de fósforo, potássio e magnésio na parte aérea das plantas aumentaram, com a compactação, até a densidade de, aproximadamente $1,0 \text{ g cm}^{-3}$, caindo daí por diante. Todavia, a concentração de cálcio decresceu linearmente com o aumento da compactação do solo.

Já Silva & Rosolem (2001) verificaram que quando a densidade aumentou de 1,12 para $1,36 \text{ g cm}^{-3}$, houve uma significativa redução no acúmulo de K, Ca e Mg na parte aérea da soja cultivada em Latossolo Roxo em Botucatu-SP. De acordo com Marschner (1986) citado pelos mesmos autores, dependendo do tipo de solo e da umidade, em densidades do solo de até $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ não há inibição na absorção de nutrientes.

Nas camadas compactadas, além da resistência ser maior que no restante do solo, com prejuízo para o desenvolvimento radicular (Barley & Greacen, 1967), existe a possibilidade da redução do espaço aéreo e suprimentos deficientes de oxigênio, resultando em redução da pressão de crescimento das raízes e interferindo na disponibilidade de alguns nutrientes (Eavis et al. 1969).

2.5.3. Compactação e crescimento e resistência à penetração de raízes no solo

O desenvolvimento do sistema radicular das culturas é afetado pelo ambiente, que influencia a parte aérea, bem como por fatores do solo. Entre esses, destacam-se o impedimento mecânico, a disponibilidade de oxigênio e nutrientes, a presença de substâncias e elementos tóxicos, temperatura, umidade e ataque de pragas e moléstias (Taylor & Arkin, 1981).

A caracterização da distribuição do sistema radicular de uma cultura agrícola pode ser entendida como uma prática fundamental em estudos sobre a eficiência de sistemas de manejo. Estes visam à otimização da produtividade agrícola num contexto de sustentabilidade e conservação dos agentes integrantes no sistema solo-planta-atmosfera. Esta distribuição resulta de uma série de processos complexos e dinâmicos que se inter-relacionam com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Brown & Scott (1984), as condições que determinam o crescimento das raízes e sua forma de distribuição, encontram-se nas características e propriedades do solo na zona radicular, como a densidade e porosidade do solo, o movimento de água, os nutrientes, o pH e a presença de elementos tóxicos, dentre outros.

O efeito da compactação no rendimento das culturas ainda não está muito claro. Há experimentos em que a compactação leva à redução e outros em que leva ao aumento de rendimento (Borges et al. 1988). Segundo o mesmo autor, o rendimento das culturas em solos compactados depende da classe de solo, da atividade de argila, da umidade, das espécies e mesmo, da variedade.

O impedimento mecânico que restringe ou inibe o crescimento radicular pode ser indicado em termos de maiores valores de densidade do solo (Taylor & Gardner, 1963). Para o mesmo solo, quanto mais elevada for a densidade em relação ao mesmo sob condições de vegetação natural, maior será a sua compactação, menor a sua

porosidade total e, consequentemente, maiores serão as restrições ao desenvolvimento das plantas (Kiehl, 1979).

Desenvolvendo trabalho sobre densidade do solo e penetração de raízes, Veihmeyer & Hendrickson (1948) mostraram que a capacidade das raízes de penetrar solo compactado varia de solo para solo e mesmo de planta para planta. Quase sempre o valor-limite situa-se em torno de 1,75 g cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos. Em relação às raízes de girassol, estes autores observaram que elas não penetraram em alguns solos com densidade entre 1,7 e 1,8 g cm⁻³, e a restrição ao crescimento foi total em todos os solos estudados, quando a densidade foi igual ou maior que 1,9 g cm⁻³.

As características fisico-hídricas do solo, alteradas pelo preparo, influenciam o crescimento das raízes. Ricther et al., (1990) citados por Stone & Silveira (1999), observaram maior produção de raízes de culturas em plantio direto que no preparo convencional. No entanto, no plantio direto, a maior quantidade de raízes ficou concentrada nos primeiros 15 cm do solo.

Avaliando a capacidade das raízes de plantas jovens de aveia de penetrar em poros de diversos diâmetros e diversos graus de rigidez, Wiersum (1957) citado por Dias Junior (1995), encontrou dados que indicam que tais raízes só penetraram nos poros cujo diâmetro é maior que os das raízes muito jovens, uma vez que a menor plasticidade da ponta de raízes jovens não lhes permite contrair-se para se introduzirem em um poro mais estreito.

As raízes das plantas ao se desenvolverem no solo atravessam poros com diâmetros superiores aos seus, ou outros poros que foram aumentados pelo deslocamento das partículas do solo pelo próprio crescimento das raízes, o qual será diminuído ou inexistente quando a pressão hidrostática das células das raízes não for capaz de vencer a resistência oferecida pelas camadas compactadas do solo (Taylor, 1974).

Glinski & Lipiec (1990) observaram que impedimentos mecânicos na superfície do solo resultaram em uma acumulação superficial de raízes e também afetaram a distribuição vertical e horizontal de raízes de milho ao longo de todo o perfil do solo. Segundo estes autores, esta acumulação pode promover distribuição desuniforme de nutrientes e, ao mesmo tempo, exaustão das camadas superficiais. Quando os obstáculos mecânicos localizavam-se na base da camada arável, houve redução na densidade das raízes do milho não só na área compactada, como também ao longo de todo o perfil. Para estes autores, estas alterações na proliferação e no crescimento das raízes dentro do perfil do solo afetam a assimilação de água e nutrientes pelas plantas.

Independentemente da distribuição espacial e do perfil, a compactação cria um ambiente desfavorável para o crescimento das plantas. Vários estudos ressaltam a importância de se avaliar os atributos físicos do solo, uma vez que as raízes das plantas que crescem sob condições de estresse parecem ser capazes de identificar essas condições e enviar sinais para a parte aérea, às que controlam a expansão foliar (Tardieu, 1994). Em solos compactados e sob secamento, esses sinais de inibição ocorrem em associação com o aumento da resistência do solo à penetração das raízes (Passioura & Gardner, 1990). Valores de resistência mecânica do solo entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular para várias culturas anuais, como milho e algodão (Gupta & Allmaras, 1987; Vepraskas, 1994).

Quanto à determinação da resistência à penetração, Bengough & Mullins (1990), citados por Imhoff et al., (2000), assinalaram que os penetrômetros fornecem rápidas e boas estimativas da resistência mecânica do solo à penetração das raízes. Porém apesar das vantagens do uso do penetrômetro, a resistência varia diretamente

com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água do solo (Busscher et al. 1997), dificultando a interpretação caso esses fatores não sejam levados em consideração.

Vários trabalhos têm destacado a densidade e a porosidade do solo como os principais agentes responsáveis na interação solo-raiz, a partir de relações existentes entre estes atributos físicos do solo e o crescimento de raízes (Salih et al. 1998; Merotto Jr. & Mundstock, 1999). Nestes trabalhos, foram verificadas correlações negativas entre a densidade do solo e a presença de raízes, assim como correlações entre esta presença radicular e a porosidade do solo.

As plantas desenvolvem-se melhor em solos que não apresentam limitação ao crescimento radicular, portanto, com baixa densidade, porém alta o suficiente para oferecer bom contato raízes-partículas de solo (Kluthcouski, 1998). Em solos muito compactados, pode ocorrer rapidamente a depleção de água e de nutrientes disponíveis ao sistema radicular que explora um pequeno volume de solo. Por outro lado, em solos com baixos valores de densidade, o crescimento deficiente das plantas pode ser devido à menor absorção de nutrientes em consequência do baixo contato solo-raízes (Stizaker et al. 1996). Consequentemente, a absorção de água e nutrientes será tanto maior quanto maior a quantidade de raízes presentes em ambientes com maior disponibilidade de nutrientes e quanto melhor for o contato raízes-partículas do solo. Níveis de compactação do solo que limitem a taxa de alongamento radicular, ou que não permitam bom contato raízes-partículas, reduzem o desenvolvimento das plantas e, geralmente, resultam em decréscimo da produtividade (Veen et al. 1992).

Segundo Jones et al. (1991), em condições ótimas de umidade, a densidade do solo precisa ser aumentada em, pelo menos, $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ para reduzir o crescimento radicular de seu ótimo até praticamente zero. Dexter (1987) demonstrou que o crescimento de raízes pode ser inibido quando encontrados valores de resistência à penetração menores que 1 MPa em solos secos, mas, com umidade suficiente, pode haver crescimento até em ambientes com resistência à penetração entre 4,0 e 5,0 MPa. No entanto, dependendo do tipo de solo e da umidade, em densidades do solo de até $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, a inibição do crescimento radicular não está necessariamente correlacionada com a inibição na absorção de nutrientes (Marschner, 1986), uma vez que o aumento na densidade leva ao aumento do contato raízes-solo favorecendo a absorção de nutrientes (Silberbush et al. 1983).

A avaliação do sistema radicular de uma cultura pode ser considerada como fundamental no diagnóstico de sistemas de manejo que visam à otimização da produtividade agrícola. A distribuição das raízes no solo é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento. Em linhas gerais, segundo Bohm (1979), estudos sobre crescimento radicular devem ser feitos a partir da avaliação das características das raízes, como massa, comprimento e área, no tempo e no espaço, em conjunto com os fatores que influenciam a distribuição do sistema radicular, como densidade e porosidade do solo, água e ar disponíveis no solo, nutrientes e pH, dentre outros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O projeto foi desenvolvido no Campo Experimental da Pesagro-RJ localizado no distrito de Avelar, município de Paty do Alferes (RJ), no período de março de 2000 a fevereiro de 2002, em um experimento de parcelas de erosão implantado em 1995. A região, que inclui os municípios de Miguel Pereira, Paty do Alferes, Vassouras, Valença e outros 5 municípios vizinhos, nos quais caracteriza-se o predomínio de áreas com culturas anuais de tomate, pimentão, couve-flor, vagem, pepino, etc., vizinhas à pastagens para pecuária leiteira, destaca-se no Estado do Rio de Janeiro como a maior produtora de olerícolas (IBGE, 2000).

O relevo é característico do domínio morfoclimático de “Mar de Morros” (Ab Saber, 1970), com predomínio de topografia forte-ondulada e ondulada e vales estreitos encaixados, com algumas encostas e pequenas elevações de topografia suave ondulada. O substrato principal é de rochas cristalinas, englobando uma associação de gnaisses e granitos que deram origem a solos de baixa fertilidade e alta suscetibilidade à erosão (EMBRAPA Solos, 1998ab; Fernandes, 1998).

Os dados obtidos na estação meteorológica da Pesagro-Rio em Avelar (EMBRAPA Solos, 1998 b), de 1971 a 2001, indicam que o clima é do tipo Cw de Köppen, caracterizado como temperado, com a temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C. A época seca coincide com o inverno. O trimestre mais chuvoso compreende os meses de novembro, dezembro e janeiro (com 575 mm, representando 48% da precipitação anual, que é de 1196 mm), e o mês mais chuvoso é janeiro, com 219,3 mm. O período seco ocorre no trimestre junho-julho-agosto, com uma precipitação média de cerca de 74,7 mm, correspondendo a 6,2% da precipitação anual, sendo julho o mês mais seco, cuja precipitação corresponde a 19,8 mm. O regime térmico é caracterizado por uma temperatura média anual de 20,7°C, com máxima em fevereiro (24,0°C) e mínima em julho (16,5°C). A distribuição de chuvas e a variação de temperatura no período deste estudo são apresentadas na Figura 2.

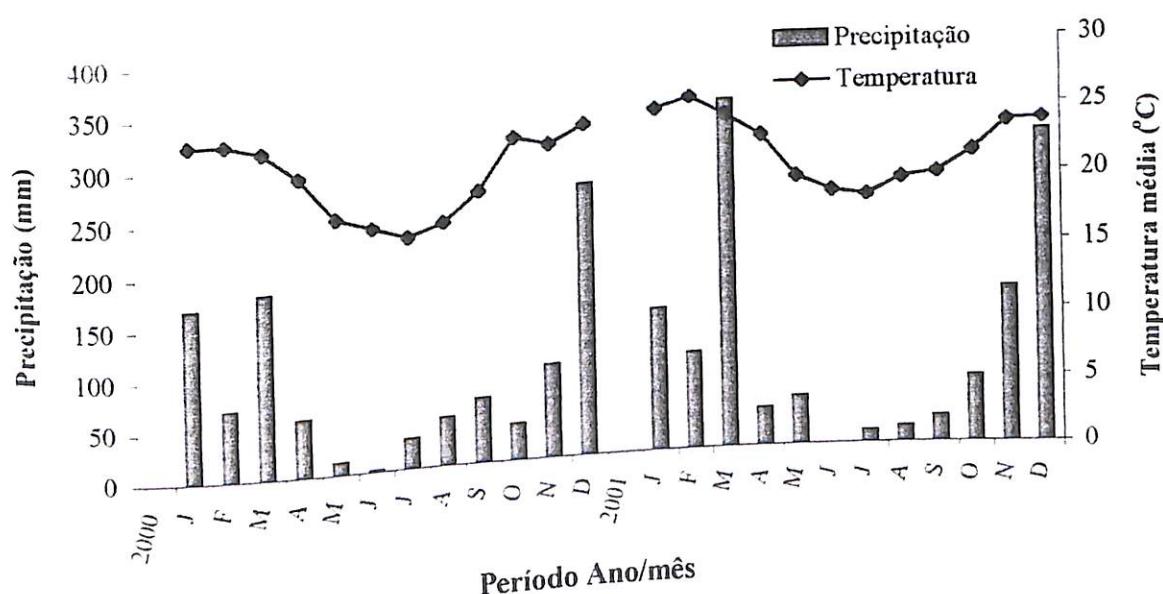


Figura 2. Distribuição de chuvas e temperatura no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2001
(Fonte Pesagro-Rio, Estação de Avelar).

A evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) varia de 135 mm em janeiro a 45 mm em julho, com um total anual de 1070 mm. O trimestre com maior ET_0 é o de novembro-dezembro-janeiro, com 382 mm, correspondendo a 35,7% do total anual. O trimestre de menor ET_0 é junho-julho-agosto, com 150 mm, com 12,5% da ET_0 anual (EMBRAPA Solos, 1998 ab; Fernandes 1998).

A área era originalmente coberta pelas florestas tropicais da Mata Atlântica, com vegetação dominante subcaducifólia (Figura 3) (EMBRAPA Solos, 1998ab).



Figura 3. Ambiente característico da região de Avelar, Paty do Alferes (RJ), com fragmentos de vegetação secundária.

Quanto ao histórico de utilização, a primeira forma de uso da área foi o extrativismo, sendo posteriormente substituída, no período colonial, pela cultura do café. Progressivamente as lavouras cafeeiras deram lugar a pecuária leiteira e mais recentemente a olericultura (Fernandes, 1998).

Segundo levantamento da EMBRAPA Solos (1998b), a maior parte da área do município (54,74%) se destina à pastagem e apenas 3,13% são destinados às culturas de ciclo curto; ainda que esta última atividade tenha uma importância econômica fundamental para o município, principalmente considerando a cultura do tomate.

Trata-se de uma agricultura praticada de modo intensivo, onde a adoção de métodos inadequados de manejo e conservação em relevo acidentado, promovem uma forte degradação nos agroecossistemas do município e a forma “nômade” de uso das terras, além da utilização de irrigação (sem projetos adequados) e de grande quantidade de insumos, principalmente agrotóxicos. Os plantios de tomate e outras oleráceas são estabelecidos em determinados locais por um período, quase sempre menor que 2 anos e em seguida, quando a produção entra em declínio, os agricultores partem para outras áreas.

Em função destas diferentes formas de utilização, são observadas na região grandes extensões de terras em variados estágios de degradação, encontrando-se em alguns pontos manchas de mata de regeneração com aspecto de ilhas em meio à predominância de pastagens degradadas, nativas e plantadas, e plantios de oleráceas (Fernandes, 1998).

3.2. Descrição da Área Experimental e dos Tratamentos

As parcelas foram instaladas em 1995, no Campo Experimental da Pesagro - RJ, (Figura 4), quando da implementação do projeto DESUSMO (Desenvolvimento Sustentável de Sistemas Agrícolas em Terras Montanhosas de Baixa Fertilidade com Pastagens na América do Sul, EMBRAPA Solos) no município de Paty do Alferes. As parcelas estão dispostas em uma encosta de pendente linear e contorno convexo com declive de 30%. Todas têm dimensões de 22,0 x 4,0 m (cerca de 88 m²), com um ponto de coleta de água e sedimentos ao fim de cada parcela (Figura 5), de acordo com o modelo de Wischmeier (Meyer & Wischmeier, 1969).



Figura 4. Visão geral (ao fundo, na encosta, as parcelas experimentais) da Estação Experimental da Pesagro-Rio, Avelar, Paty do Alferes (RJ) (Fonte: Turetta, 2000).



Figura 5. Detalhe das parcelas experimentais de erosão, modelo de Wischmeier (Meyer & Wischmeier, 1969) (Fonte: Turetta, 2000).

O solo representativo da área onde estão as parcelas de erosão é o LATOSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (EMBRAPA/Solos, 1999). Alguns dados analíticos do perfil são apresentados no Quadro 1. A descrição do perfil e dados analíticos completos são apresentados no anexo I.

Quadro 1. Algumas características físicas e químicas do perfil do solo da área de estudo.

Horizonte		Composição granulométrica da TFSA (%)					Grau de floculação	Silte/Argila	
Símbolo	Prof. cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total				
Ap	0-22	2-0,20 mm	0,20-0,05mm	0,05-0,002 mm	<2 μ	16	%	0,29	
		38	13	11	38				
Bw2	68-92	27	13	15	45	100		0,36	
Horizonte		Complexo sortivo ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ solo)			pH (1:2,5)	Valor V	C.org	g.kg^{-1}	
Símbolo	Prof. cm	Valor S (Soma)	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor T (Soma)	Água	KCl		
Ap	0-22	2,8	0,0	5,9	8,7	5,8	4,7	32	11,3
		0,9	0,5	2,6	3,1	4,8	3,8	29	3,1

Os tratamentos de preparo de solo e cultivo agrícola, iniciados no final de 1995 e repetidos continuamente até o ano de 2001, são os seguintes:

- a) Parcada de Referência, Sem Cobertura (SC) - sem cobertura vegetal, solo desnudo, e apenas uma aração e uma gradagem com trator no sentido do maior declive (morro abaixo), capina superficial ou aplicação de herbicidas para eliminação de resíduos.
- b) Parcada Plantio Convencional (PC) - preparo convencional, com queima de resíduos da cultura anterior, e uma aração com arado de discos, na profundidade de cerca de 20 cm, e uma gradagem, com trator no sentido do maior declive (morro abaixo).
- c) Parcada Plantio em Nível (PN) - preparo em nível, sem queima de resíduos da cultura anterior, e aração com tração animal, usando arado de aiveca, no sentido das curvas de nível e com faixas de contenção a cada 7 m (capim colonião).
- c) Parcada Cultivo Mínimo (CM) - cultivo mínimo com plantio direto nas covas, sem queima de resíduos da cultura anterior e com preservação da cobertura vegetal nas entre linhas da cultura.

Nas parcadas PC, PN e CM, desde janeiro de 1996, vêm sendo alternadas as culturas de quiabo, couve-flor, tomate, vagem, pimentão e abobrinha, em função das condições climáticas predominantes. Nos períodos de maior déficit hídrico as parcadas cultivadas são irrigadas, sendo a água bombeada e aplicada manualmente com o uso de mangueiras, prática comum na região.

3.3. Coleta e preparo das amostras de solo, sedimentos e sistema radicular.

Amostras compostas deformadas e amostras indeformadas foram coletadas em diferentes profundidades da camada superficial do solo, em cada parcela experimental, no período de 2000 a 2001 (Quadro 2).

Quadro 2. Profundidades e número de amostras para os atributos físicos, químicos e biológicos avaliados.

Atributos	Amostragem
Físicos	
Densidade do solo e das partículas, Volume Total de Poros	Amostras indeformadas; 1 amostra de 0-5 cm e 1 de 5-10 cm em 3 pontos da parcela, com anel de Kopecky
Macro e microporos e condutividade hidráulica, CC e PMP	Amostras indeformadas, coletor de Uhland, e amostras deformadas para CC e PMP, todas de 0-10 e 10-20 cm
Infiltração da água no solo	Medida diretamente na camada superficial do solo em um ponto por parcela, em dois momentos de leitura
Resistência à penetração	Penetrômetro, 6 medições por parcela
Granulometria	Amostras deformadas, amostra de 0-5 cm, 5-10, e 10-20 cm, em 3 pontos de cada parcela
Químicos	
Complexo sortivo e C orgânico	Amostras deformadas compostas; 1 amostra composta de 0-5 cm e 1 de 5-10 cm, em 3 pontos de cada parcela
Nutrientes na solução e no sedimento escoados (Ca+Mg, P e K).	Sedimento: P e K. Solução: Ca+Mg, P e K, em amostras referentes ao período de chuvas de 07 a 11/2001.
Biológicos	
Distribuição e densidades de raízes	Coletada através de monolitos até 20cm de profundidade
Produção de matéria seca total e produtividade	6 plantas por parcela. Produtividade cumulativa.

Foram realizadas cinco coletas de material de solo, no período de maio de 2000 a novembro de 2001, com suas respectivas datas de amostragem e avaliações realizadas identificadas a seguir:

1^a coleta - 15 de maio de 2000; densidades, porosidade, complexo sortivo e erosão; cultivo de feijão de vagem.

2^a coleta - 13 de novembro de 2000; densidades, porosidade, complexo sortivo e erosão; pousio.

3^a coleta - 26 de abril de 2001; densidades, porosidade, complexo sortivo, erosão, macro e microporos e Ks; cultivo de pimentão.

4^a coleta - 06 de agosto de 2001; densidades, porosidade, complexo sortivo, erosão, macro e microporos, Ks, VIB; pousio.

5^a coleta - 29 de novembro de 2001; densidades, porosidade, complexo sortivo, erosão, macro e microporos, Ks, VIB e resistência a penetração; feijão de vagem.

Cada parcela experimental foi dividida no campo em três seções (superior, média e inferior) de cerca de 7,3 m, no sentido do comprimento, para as coletas de

amostras de solo, compondo assim três repetições por parcela. Em todas as coletas foram tomadas amostras para avaliar propriedades físicas e químicas.

As amostras para a determinação de densidade do solo e das partículas foram obtidas com coletores de Kopecky, de volume de cerca de 50 cm³, medido para cada anel coletor, em covas estreitas abertas com pá reta na linha de plantio. As amostras para fertilidade do solo foram coletadas com trado, em cada seção das parcelas experimentais, na linha de plantio da cultura e em número de três amostras simples para cada composta.

As amostras de sedimento e água nas caixas coletoras, no período de 2000-2001, foram coletadas após cada evento de chuva, após homogeneizar e medir o volume total de suspensão escoado para as caixas no campo. Em amostras selecionadas foram separadas alíquotas para determinação do teor de nutrientes (P, K, Ca e Mg) na solução e no sedimento escoados em cada parcela.

Após a coleta do material de solo, as amostras deformadas foram secadas ao ar, destorreadas e passadas em peneiras de 2,0 mm para obtenção da fração Terra Fina Secada ao Ar (TFSA), conforme a metodologia adotada pela EMBRAPA Solos (1997).

3.4. Métodos Analíticos

As determinações analíticas foram feitas nos laboratórios de Física do Solo e de Gênese e Classificação do Solo, da UFRRJ - IA/DS, de acordo com a metodologia adotada pela EMBRAPA Solos (1997).

3.4.1. Análises físicas e hídricas

a) Composição granulométrica

As amostras foram dispersas com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas. O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta. As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malhas 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença. A argila natural foi obtida segundo a mesma metodologia, usando-se, porém, água destilada para dispersão.

O Grau de Floculação (GF) foi calculado conforme a fórmula:
GF(%) = [argila total (%) - argila dispersa em água (%)] / argila total (%)] x 100

b) Densidade do solo e das partículas e porosidade total e macro e microporos

A densidade do solo (Ds), em amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, foi determinada pelo método do anel volumétrico (Kopecky), expressa em kg dm⁻³ (Método SNLCS 1.12). A densidade das partículas (Dp) foi determinada pelo método do álcool etílico em balão aferido de 50 cm³ (Método do SNLCS 1.12). A porosidade total ou Volume Total de Poros (VTP %) foi calculada com o uso da fórmula:

$$VTP (\%) = (1 - Ds/Dp) \times 100$$

A macro e microporosidade foram determinadas em amostras indeformadas, obtidas com o coletor de Uhland, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, saturadas e colocadas em mesa de tensão com cerca de 60 cm de coluna de água até cessar o fluxo de água e então determinado o peso úmido e o peso seco em estufa. Nestas amostras foram também calculadas Ds e o VTP, para comparação de métodos.

c) Condutividade hidráulica saturada (K_s)

Foi determinada em amostras indeformadas obtidas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm com o coletor de Uhland, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA-CNPS (1997) e calculada a condutividade com base na Equação de Darcy.

$$q = \frac{v}{A \cdot t} = -K \frac{\Delta h}{L} = -K \cdot i \quad \text{em que:}$$

q = fluxo de água no solo, L·T⁻¹;

v = volume de água coletado, L³;

A = área do permeâmetro, L²;

T = tempo de coleta, T;

L = altura do permeâmetro, L;

I = gradiente de potencial.

d) Infiltração da água no solo

Foi determinada no campo pelo método do duplo cilindro concêntrico, após umedecimento do solo até atingir valores constantes (EMBRAPA Solos, 1997). Foi medida em um ponto por parcela, sendo procedidas duas leituras - expressa em mm h⁻¹, uma em cada ciclo de cultivo.

Em função do grau de declividade da pendente nas parcelas avaliadas, foi feita uma pequena adaptação na metodologia; para que os anéis concêntricos ficassesem nivelados juntamente com a superfície do solo, foi removida uma camada fina de solo na porção mais alta do terreno, no exato local onde seriam instalados os anéis, fazendo assim com que a distribuição da altura da lâmina de água dentro dos anéis se tornasse homogênea.

e) Curva de retenção de umidade

Foi determinada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em amostras indeformadas para a tensão de 0,006 MPa e usando a mesa de tensão, e em amostras deformadas para 0,03 e 1,5 MPa, na panela de pressão (membrana extratora de Richards)(EMBRAPA Solos, 1997).

3.4.2. Análises químicas

a) Carbono orgânico

Foi determinado pela oxidação da matéria orgânica, pelo dicromato de potássio 0,2 mol L⁻¹ em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso amoniacial 0,1 mol L⁻¹.

b) pH em água

Foi determinado potenciométricamente na suspensão solo-líquido de 1:2,5, com tempo de contato não inferior a uma hora e agitação da suspensão antes da leitura.

c) Ca, Mg, K e Na trocáveis

Foram extraídos com solução de KCl 1mol L⁻¹ na proporção de 1:10, sendo obtidos por complexometria em presença do coquetel tampão. O Ca²⁺ foi determinado em presença de KOH a 10%, sendo ambos titulados com EDTA 0,0125 mol L⁻¹; o Mg²⁺ foi obtido por diferença. K e Na trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ na proporção solo-solução 1:10 e determinados por fotometria de chama.

d) Al trocável (Al^{+3}), hidrogênio e acidez extraível

O Al foi extraído com solução de KCl 1mol L⁻¹ na proporção de 1:10 e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Para H + Al foi usada a solução de acetato de cálcio 1mol L⁻¹, ajustada a pH 7,0 na proporção de 1:15 e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O hidrogênio extraível (H^+) foi obtido pela diferença entre a acidez extraível e o teor de alumínio.

e) Calculo do Valor S, Valor T, Valor V% e Porcentagem de saturação por Al

O Valor S (Soma de Bases) foi calculado pela soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis. O Valor T (Capacidade de Troca de Cátions) foi obtido pela fórmula: $\text{Valor T} = \text{Valor S} + \text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$.

O Valor V (porcentagem de saturação por bases) foi calculado pela fórmula: $\text{valor V} = 100 \times \text{Valor S}/\text{Valor T}$. A porcentagem de saturação por Al foi obtida pela expressão: $100 \times (\text{Al}^{+3}/\text{Valor S} + \text{Al}^{+3})$.

f) Fósforo assimilável

Foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ e determinado por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto.

3.4.3. Perdas de solo

Para o ano de 2000, após cada evento de chuva com escoamento o volume de solo foi medido e homogeneizado e amostras do sedimento em cada caixa (balde) coletora foram separadas para pesagem e análise em laboratório. As amostras de suspensão foram concentradas por evaporação inicial em banho-maria em placa aquecedora e evaporação do líquido remanescente em estufa. A partir do peso do solo seco a 105 °C em estufa foram calculadas em cada tratamento as perdas de solo por erosão, para cada evento de chuva e, considerando a área de cada parcela (88 m²), extrapoladas para um (01) hectare.

Já para o ano de 2001, nas amostras de erosão coletadas (suspensão+sólido), o procedimento foi diferenciado. Com a ajuda de uma bomba de sucção e uma pequena malha fina colocada na ponta da mangueira, a solução (água+sedimento suspenso) foi separada do sedimento sólido, filtrada em papel de filtragem rápida e acondicionada para posterior análise química; o sedimento sólido foi colocado em placa aquecedora, ajustada para cerca de 55 °C, e deixado até secagem completa.

3.4.5. Resistência à penetração

O penetrógrafo utilizado foi do tipo SC 60 com haste de 60 cm, ângulo sólido do cone de 60°, área da base de 129 mm² e diâmetro da haste de 9,5 mm. Foram realizadas 6 medições (repetições) em cada parcela na linha de plantio. Os resultados são obtidos em kg cm⁻² e depois convertidos para MPa. O teor de umidade do solo medido no momento da leitura se encontra no anexo (II a). A avaliação da resistência do solo foi efetuada quando o solo estava com baixo teor de umidade na camada de 0-5 cm, sob cultivo de feijão de porco (pousio) no estágio fisiológico de enchimento dos grãos.

3.5. Avaliação de Sistema Radicular

Escavou-se uma mini trincheira na linha de cultivo do pimentão (*Capsicum annuum*), em frente a uma planta escolhida ao acaso. A mini trincheira foi então subdividida verticalmente em seções de 0,1 x 0,2 m, até a profundidade de 0,2 m, para permitir o encaixe de um monólito metálico (0,1 x 0,2 x 0,05 m) com auxílio de marreta, segundo a metodologia descrita por Brasil (2001). Foram coletados blocos

prismáticos (monolitos) de 1,0 dm³, os quais foram condicionados em sacos plásticos para posterior lavagem e separação das raízes.

Cada monolito foi orientado de maneira que, tendo a planta como centro de referência, a coleta se posicionasse 5 cm antes e após a linha de cultivo até a profundidade de 20. Foram obtidos um total de 4 monolitos por planta, num total de 4 plantas por parcela. As raízes, após lavagem manual e separação em peneira de 1 mm, foram secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C até massa constante, pesadas e subdivididas visualmente em relação aos seus diferentes diâmetros.

3.6. Análises Estatísticas

Dados sobre distribuição de chuvas, volume de sedimentos nas caixas coletoras, produtividade das culturas e tratos culturais foram usados para interpretar as alterações decorrentes dos sistemas de preparo agrícola. Foram consideradas como repetições as cinco coletas realizadas ao longo do período do estudo e, para alguns atributos, a repetição de coleta dentro de cada parcela. Como tratamentos, são diferenciados os sistemas de preparo de solo para plantio (PC, PN e CM) e tipo de cobertura (parcela de referência, SC).

Os dados analíticos foram avaliados através de testes estatísticos de significância (teste de Tukey a 5% de significância) pelo programa Statistica (1999). Para algumas propriedades do solo, devido ao coeficiente de variação elevado, os resultados foram avaliados apenas através da comparação dos dados em histogramas, tabelas e gráficos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre época de coleta e sistemas de preparo para alguns atributos físicos e químicos, em todas as camadas, decorrente não só das variações climáticas inerentes a cada época, que coincidiram com diferentes tipos de cobertura pelas culturas em diferentes estágios de desenvolvimento, mas principalmente pelas condições da umidade do solo no momento das coletas.

Contudo, a tendência do comportamento dos atributos físicos foi semelhante ao longo do tempo, assim, para efeito de discussão, para alguns atributos, foram consideradas as médias totais para comparação dos efeitos dos diferentes sistemas de preparo do solo.

4.1. Atributos Físicos e Hídricos

4.1.1. Densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade.

Na análise dos dados da densidade do solo é importante salientar que esse atributo foi avaliado de duas formas: pelo anel de Kopecky, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm e com o coletor de Uhland, sem que esse fosse um dos objetivos do trabalho, contudo aproveitando os dados da coleta para avaliação da condutividade e macroporosidade, nas camadas de 0-10 e 10-20cm. Como foram verificadas diferenças no comportamento da densidade do solo em função do método de coleta (Figura 6), a discussão será apresentada para ambos os métodos e suas respectivas profundidades de observação.

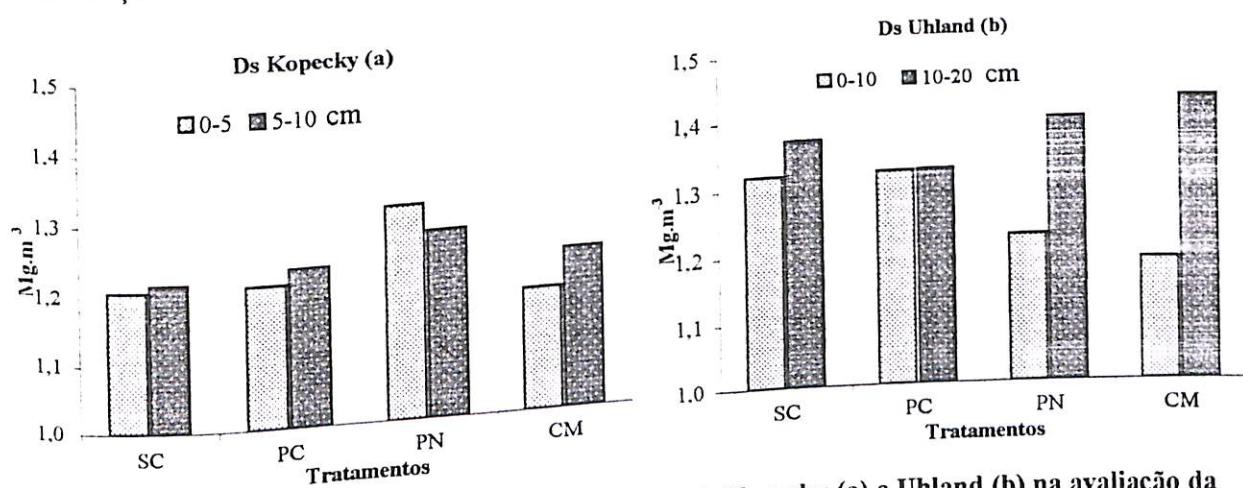


Figura 6. Comparação dos métodos de coleta com anel de Kopecky (a) e Uhland (b) na avaliação da densidade do solo. (SC – sem cobertura, PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Comparando-se os dados de densidade do solo obtidos com anel de Kopecky, verifica-se que não foram encontradas diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de tukey entre os sistemas de preparo. Todavia, pode-se constatar que na camada de 0-5 cm de profundidade, esta propriedade tendeu a ser menor no tratamento CM ($1,18 \text{ Mg.m}^{-3}$), com menor mobilização do solo em relação a PN e PC ($1,31$ e $1,21 \text{ Mg.m}^{-3}$) respectivamente, decorrente da alteração provocada pela ação dos implementos utilizados. Para a camada de 5-10 cm de profundidade também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, porém observa-se a mesma tendência da camada superior, onde os valores foram de $1,23$, $1,27$, e $1,23 \text{ Mg.m}^{-3}$ para PC, PN e CM respectivamente.

As diferenças no comportamento dos métodos e dos valores da densidade para a profundidade de 0-10 cm refletiram diferentes níveis de alterações entre as camadas 0-5 e 5-10 cm, que foram diluídas pelo método de Uhland, que considera ambas em uma única camada, ou diferenças estas exclusivamente inerentes aos métodos.

Nos três sistemas de preparo do solo, plantio convencional (PC), plantio em nível (PN) e cultivo mínimo (CM), houve diferenças significativas a nível de 5% nos valores de densidade do solo e macroporosidade (Tabela 1 e 2). Em ambos os métodos de avaliação, a densidade foi em geral, ligeiramente superior na camada subsuperficial, possivelmente por essa camada não ser mobilizada por operações mecânicas, no sistema de plantio direto, e pela menor mobilização no manejo convencional.

de plantio direto, e pela menor mobilização no manejo do solo.

Tem-se observado o aumento da densidade do solo no sistema de plantio direto, nos primeiros anos de sua implantação na camada superficial, devido ao arranjo natural do solo quando este não é revolvido, principalmente em solos argilosos. No entanto, com o passar dos anos, a densidade do solo pode diminuir, devido, em parte, ao aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial, o que favorece o melhor desenvolvimento da agregação do solo (Fernandes et al., 1983; Resende et al. 1999).

Os tratamentos cultivo mínimo (CM) e plantio em nível (PN), nas amostras da camada de 0-10 cm obtidas com coletor de Uhland, apresentaram menores valores de densidade do solo (Figura 6) e maiores de porosidade total (Figura 7), ambos diferindo apenas do plantio convencional (PC). Urchei (1996) e Stone et al. (2001), verificaram que pelo não revolvimento, sem a movimentação de máquinas agrícolas, os tratamentos com menor mobilização de solo apresentaram um comportamento inverso ao verificado neste estudo. O preparo convencional, por sua vez, propiciou, na camada de 0-10 cm, valores de densidade ligeiramente maiores (Figura 6), concordando com os menores valores de porosidade.

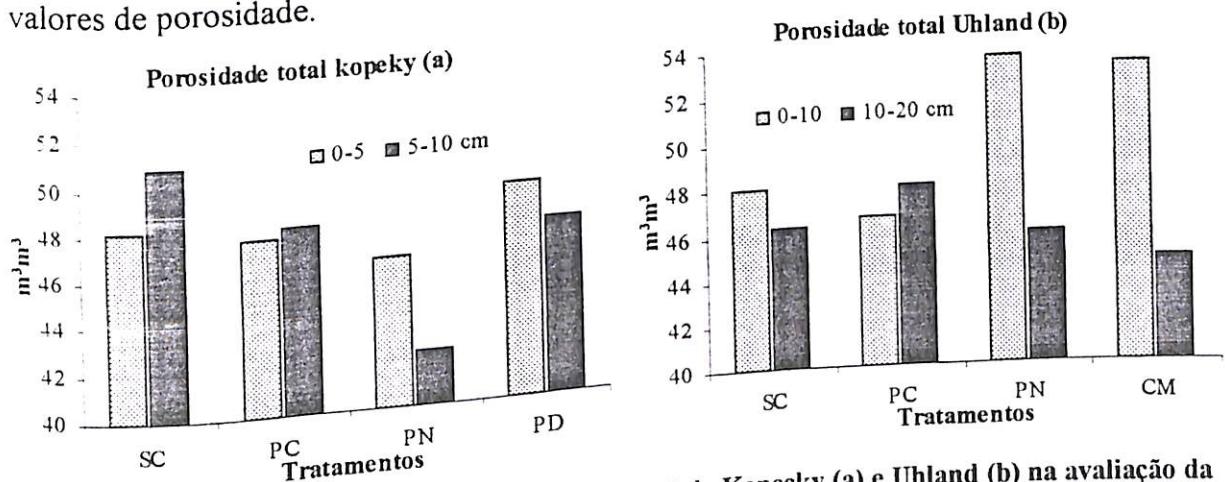


Figura 7. Comparação dos métodos de coleta com anel de Kopecky (a) e Uhland (b) na avaliação da porosidade total do solo (VTP). (SC – sem cobertura, PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Ainda com relação a densidade do solo, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e profundidades. Verificou-se um aumento nos valores desta variável nas amostras coletadas com Uhland, na camada de 10-20 cm, nos sistemas CM e PN; logo, conclui-se que os tratamentos com menor intensidade de preparo apresentaram um aumento na densidade do solo em profundidade. Na camada de 10-20 cm em geral, os valores de densidade do solo foram os menores e os de porosidade total maiores nas parcelas com preparo de solo com arado de disco e gradagem (PC e SC), refletindo a ação de revolvimento mais profundo do implemento, porém não diferindo significativamente em relação a camada de 0-10cm (Tabela 1).

Ao estudar o efeito do plantio direto sobre parâmetros físicos, Vieira (1981) concluiu que o solo sob PD apresentava a camada superficial mais compactada, caracterizada por uma porosidade total menor. Hill (1990), em trabalho com onze anos de duração, encontrou no sistema convencional, menores valores de densidade que no sistema PD. Bruce et al. (1990), trabalhando com soja, sorgo e trigo em três sistemas de manejo de solo, verificaram que a densidade do solo e a porosidade total foram significativamente menores e maiores, respectivamente, ao manejo convencional, quando comparado ao cultivo mínimo e ao PD. Diferindo desse comportamento, os trabalhos realizados por Bezerra (1978), Moura (1981) e Albuquerque et al. (1995), mostram não ocorrer aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total no sistema PD, se comparados ao sistema convencional.

Tabela 1 – Densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) dos diferentes tratamentos.

Prof. (cm)	Tratamentos			
	Ds Mg.m ⁻³ (Uhland)			
	SC	PC	PN	CM
0-10	1,31 Aa	1,32 Aa	1,22 ABa	1,18 Ba
10-20	1,37 Aa	1,32 Aa	1,39 Ab	1,42 Ab
	VTP m ³ .m ⁻³ (Uhland)			
	SC	PC	PN	CM
	48,0 Ba	46,7 Ba	53,0 Aa	53,1 Aa
0-10	46,2 Aa	48,8 Aa	45,8 Ab	44,6 Ab
10-20				

* Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas representam a comparação entre tratamentos e minúsculas entre profundidade dentro dos tratamentos (SC – sem cobertura, PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo).

Os resultados médios de porosidade total pelo coletor de Uhland (Figura 7) ilustram as diferenças significativas (Tabela 1) entre os sistemas de preparo do solo para ambas camadas. A maior movimentação do solo, e consequente desagregação no sistema PC, proporcionou diminuição no volume de poros na camada superficial. Observa-se ainda que, os tratamentos que apresentaram na camada de 10-20 cm um aumento na densidade do solo, como PN e CM (Figura 6), apresentam menores valores de porosidade total (Figura 7), porém essas diferenças não são significativas. Esses resultados dão consistência aos valores obtidos de densidade do solo, pois sabe-se que a densidade varia de modo inverso à porosidade total. Observa-se também, que o espaço poroso do solo aumentou ligeiramente em profundidade no tratamento PC.

Com relação à macro e microporosidade (Figura 8), verifica-se que o espaço poroso do solo estudado é composto predominantemente por microporos, independente do tratamento avaliado. Entretanto, observa-se que os sistemas de preparo que promoveram maior revolvimento do solo contribuíram para uma diminuição nos macroporos em relação ao cultivo mínimo, na camada de 0-10 cm.

Analizando-se os valores referentes à macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (Figuras 7 e 8), nas amostras obtidas com coletor de Uhland, das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, verifica-se que os tratamentos onde o preparo do solo foi mais intenso (PC) diferiram significativamente (Tabela 2) daqueles com menor mobilização (PN e CM), constatando-se uma diminuição da macroporosidade e da porosidade total, sobretudo de 0-10 cm. Para estes mesmos tratamentos, a microporosidade na camada de 0-10 cm não apresentou diferença em relação ao manejo PC. Já para a camada de 10-20 cm, observou-se que no tratamento

CM a microporosidade diferiu significativamente do PC, apresentando, juntamente com PN, os menores valores desse atributo. Outros autores como Souza & Cogo (1978), Fernandes et al., (1983) e Moraes & Benez (1996) verificaram que os manejos com maior mobilização proporcionaram maiores valores de macro e menores de microporosidade. Eltz et al. (1989) verificaram aumento da microporosidade em detrimento a diminuição da macroporosidade em profundidade, que poderia ser atribuída em parte, por mudança da característica estrutural no perfil do solo, em relação a camada sobrejacente, um aumento do teor de argila, mas principalmente pela menor efetividade do revolvimento do solo nessa camada.

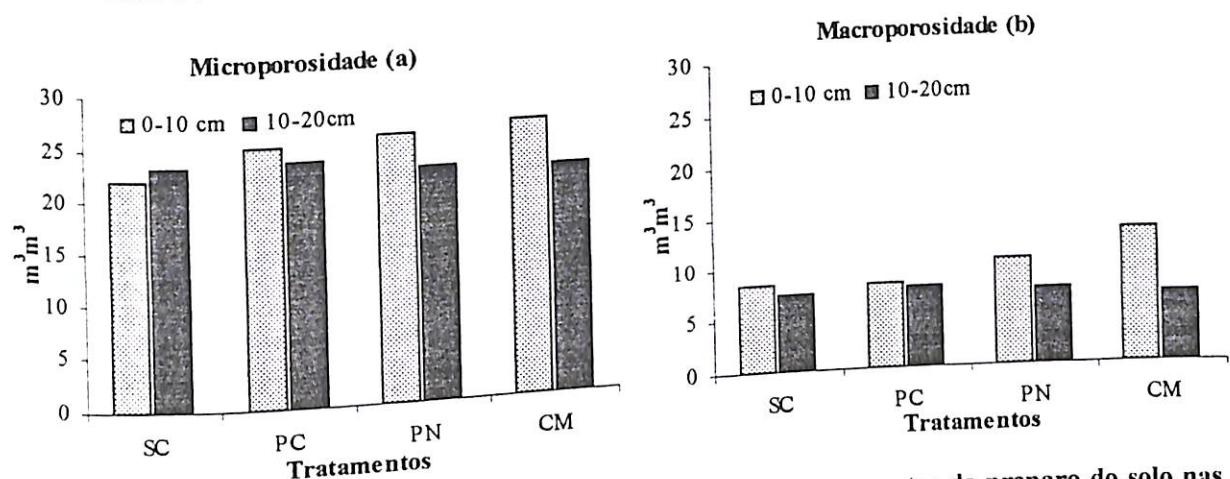


Figura 8. Valores da macro (a) e microporosidade (b) para os tratamentos de preparo do solo nas diferentes profundidades. (SC – sem cobertura. PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Os valores de macroporosidade entre os sistemas de preparo do solo para as amostras coletadas na profundidade de 10-20 cm foram muito semelhantes, não havendo diferenças significativas (Tabela 2). Entretanto, para os tratamentos com cultivo, os valores da camada subsuperficial se mostraram sempre inferiores em relação à superficial, onde se constatou para CM e PN diferenças entre as camadas, havendo diminuição da macroporosidade com o aumento da profundidade nestes tratamentos, acompanhada da diminuição da porosidade total (Figuras 7 e 8).

Tabela 2 – Macro e microporosidade do solo nos diferentes tratamentos.

Prof. (cm)	Tratamentos			
	Macro $m^3 m^{-3}$			
cm	SC	PC	PN	CM
0-10	7,5 ABa	6,7 Ba	8,9 ABa	11,1 Aa
	6,3 Aa	5,9 Aa	5,6 Ab	5,2 Ab
10-20	6,3 Aa	5,9 Aa	5,6 Ab	5,2 Ab
	6,3 Aa	5,9 Aa	5,6 Ab	5,2 Ab

Prof. (cm)	Tratamentos			
	Micro $m^3 m^{-3}$			
cm	SC	PC	PN	CM
0-10	22,7 Ba	25,9 ABa	26,3 ABa	27,7 Aa
	23,5 ABA	24,7 Aa	23,3 ABa	22,8 Ba
10-20	23,5 ABA	24,7 Aa	23,3 ABa	22,8 Ba
	23,5 ABA	24,7 Aa	23,3 ABa	22,8 Ba

* Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas representam a comparação entre tratamentos e minúsculas entre profundidade dentro dos sistemas (SC – sem cobertura. PC – plantio convencional. PN – plantio em nível. CM – cultivo mínimo)

Um fato que deve ser observado, é que os valores tanto da macro como da microporosidade para a camada de 10-20 cm se aproximaram dos observados na parcela

de referência (SC), o que poderia estar indicando que nenhum dos tratamentos adotados foi capaz de alterar significativamente esse atributo do solo nessa profundidade, já que a parcela CM não foi submetida à nenhum tipo de preparo, o que conservaria, em parte, alguns de seus atributos físicos.

Fazendo uso das inter-relações entre a porosidade total, macro e microporosidade (Tabela 3), verifica-se também que a microporosidade teve estreita relação com a densidade para a camada de 10-20 cm, apresentando um coeficiente de correlação negativo igual a $r^2 = 0,96$. Já para a camada de 0-10 cm, observa-se um $r^2 = 0,91$ negativo para a macroporosidade e a densidade do solo. Nesta mesma tabela, verifica-se que as correlações entre macro e microporosidade com a porosidade total, mantem o mesmo padrão de comportamento que o observado para a macro e microporosidade e a densidade do solo, alta correlação entre VTP e macroporosidade para 0-10 cm, e entre VTP e microporosidade para 10-20 cm. Esses resultados, segundo Albuquerque et al. (1995) estariam de acordo com a hipótese de que a degradação da estrutura do solo em superfície, tendo como consequência a redução da porosidade total, é mais evidenciada pela redução da macroporosidade.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de correlação entre diferentes atributos do solo e profundidades.

Atributos	Macro 0-10cm	Macro 10-20cm	Micro 0-10cm	Micro 10-20cm
Ds 0-10cm	-0,9126*	-	-0,5927 ^{ns}	-
Ds 10-20cm	-	-0,4553 ^{ns}	-	-0,9652*
VTP 0-10cm	0,7521*	-	0,3902 ^{ns}	-
VTP 10-20cm	-	0,3815 ^{ns}	-	0,9750*

Legenda – Macro-macroporosidade; Micro-microporosidade; Ds- densidade do solo; VTP-porosidade total. *- ($p < 0,05$); ns – não significativo.

Logo, sistemas de preparo que revolvem o solo mais intensamente propiciaram, na camada de 0-10 cm, menores valores de macroporosidade que no cultivo mínimo; efeito esse contrário aos resultados obtidos por Urchei (1996) e Stone et al., (2001). Na camada de 10-20 cm, o preparo do solo com implemento, seja ele arado de disco ou aiveca, propiciou valores ligeiramente superiores de macroporosidade, porém não diferindo estatisticamente.

A redução da porosidade total e da macroporosidade em profundidade nos tratamentos sob cultivo mínimo e plantio em nível (Figuras 7 e 8) podem, entretanto, não afetar o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular. Henklin et al. (1996), verificaram que estes fatores foram melhores sob plantio direto em comparação ao convencional, graças a qualidade dos poros que, embora menores, apresentavam-se contínuos ao longo do perfil, aos canais e galerias formados pela atividade biológica e pela decomposição de raízes das culturas anteriores e ainda pelas fendas de contração causadas pelos gradientes de umidade.

4.1.2. Condutividade hidráulica saturada (Ks) e VIB

Os sistemas de preparo influenciaram na condutividade hidráulica saturada do solo. Observou-se, ao contrário de muitos autores (Vieira et al., 1978; Abraão et al., 1979), uma tendência de maior condutividade nos sistemas com menor mobilização do solo. O fato da análise estatística não mostrar diferenças pode ser atribuído à

variabilidade encontrada para esse parâmetro, com um coeficiente de variação entre 49,9 e 129,2% (Anexo III).

A condutividade hidráulica saturada (Figura 9) na camada de 0-10 cm aumentou do tratamento SC para o PN, com valores próximos entre si para PC e CM; porém quando comparada à profundidade de 10-20 cm, a exceção da parcela PN, verificou-se uma menor condutividade em superfície em todos os tratamentos. Ainda, nota-se uma discordância com os valores observados no tratamento CM, na profundidade de 0-10 cm, onde apesar da diminuição da densidade do solo, do aumento da porosidade total e do aumento na macroporosidade (Figuras 6, 7 e 8) estes não se refletiram em maior condutividade hidráulica saturada.

O aumento de K_s em profundidade pode estar associado a um melhor arranjo natural dos poros nessa camada (10-20 cm) que na sobrejacente, já que o mesmo comportamento foi observado na parcela de referência.

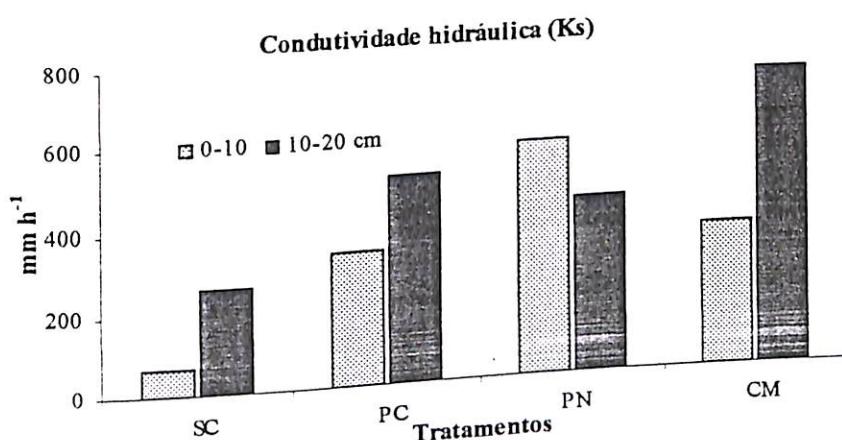


Figura 9 – Variação da condutividade hidráulica saturada em função dos tratamentos, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. (SC – sem cobertura, PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Este resultado pode ainda estar indicando um processo de selamento superficial pela destruição dos agregados do solo, mais evidente no tratamento de referência (SC), em decorrência do impacto das gotas de chuva no solo. O cultivo mínimo, apesar de apresentar os maiores percentuais tanto de macro como de microporosidade na camada de 0-10cm, esses atributos não mostraram relação com maiores valores de K_s ; nesse caso, para uma melhor compreensão desse evento, seria necessária a caracterização da continuidade desses poros e dos fluxos de água neste solo.

De forma distinta, como se pode observar em todas as parcelas, a condutividade hidráulica saturada na camada de 10-20 cm é muito alta, o que pode ser devido às próprias características de boa agregação do Latossolo Vermelho Amarelo, com menor influência do preparo ou da cobertura do solo; ainda que, a parcela SC tenha relativamente o menor valor. Para a camada de 10-20 cm, a parcela CM apresentou a maior condutividade hidráulica saturada, demonstrando que um possível efeito de compactade (compactação), causado pela falta de revolvimento mecânico do solo, não é expressivo e poderia ser facilmente revertido por uma escarificação leve ou mesmo o pousio e plantio de espécies de sistema radicular diferenciado, como as usadas para adubação verde.

Os valores da taxa de infiltração básica (Figura 10) indicam uma diferenciação do comportamento hidrodinâmico do solo em função do sistema de preparo, concordando com Centurion & Demattê (1985), onde a maior percolação de água foi

verificada na parcela com cultivo mínimo (CM) em oposição ao sem cobertura (SC), e concordando com os valores de K_s (Figura 9). Como consequência, têm-se as maiores perdas por erosão quando o solo encontra-se desnudo. Contudo, os valores encontrados para TIB nesse experimento podem não refletir completamente a realidade do solo na área, já que o método utilizado foi idealizado para terrenos planos, se fazendo necessário alguma adaptação como já discutido no item de métodos analíticos. Logo, os valores encontrados para esse atributo serão utilizados para comparação relativa entre os tratamentos, já que estes são uniformes quanto à classe de solo e declividade.

Por ter apresentado também um coeficiente de variação relativamente elevado, em função da própria variabilidade desse atributo e pelo pequeno número de repetições efetuado, as diferenças de comportamento da TIB nos tratamentos serão discutidas na sua tendência em relação à média ou aos valores individuais (CM). Verificou-se que a parcela plantio em nível apresentou valores intermediários entre PC e CM, o que sugere o menor impacto da tração animal e do preparo em nível na estrutura do solo. Já a parcela sem cobertura apresentou a menor taxa de infiltração básica, o que está coerente com as maiores perdas de solo por erosão em SC.

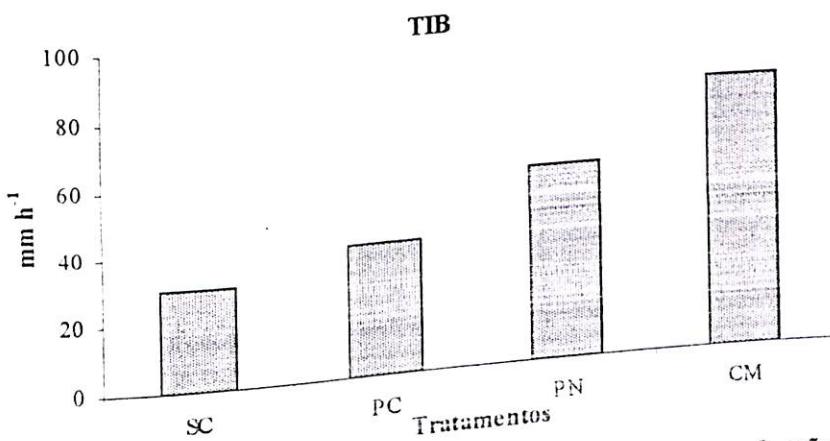


Figura 10. Valores médios da taxa de infiltração básica (TIB) em função dos tratamentos de previsão da cobertura. PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Considerando alguns atributos físicos e sua relação com os valores de K_s em cada tratamento, observam-se correlações significativas apenas para densidade do solo e macroporosidade, de 0-10 cm. Quando correlacionados com as distintas camadas, os valores desses coeficientes são alterados, visto as variações de equivalência de profundidades entre os atributos. Com a D_s (Uhland), para a camada de 0-10 cm, obteve-se correlação significativa ($r^2 = 0,91$) e negativa; já com a macro e microporosidade a TIB apresentou correlação significativa e positiva para camada de 0-10 cm ($r^2 = 0,88$ e $0,77$, respectivamente) e negativa para 10-20 cm, sendo apenas a microporosidade significativa ($r^2 = 0,96$) (Tabela 4).

Esses resultados confirmam as afirmações apresentadas por Baver et al. (1972) citado por Sales et al. (1999) e Resende et al. (1997) que apontam a estrutura, o tamanho e disposição dos poros como alguns dos fatores responsáveis pelas variações na taxa de infiltração. Ainda, considerando os resultados das análises de correlações e as peculiaridades que envolvem cada atributo físico e método de determinação, é razoável admitir para este estudo, que boas estimativas da TIB poderiam ser obtidas a partir de K_s e D_s , simplificando e melhorando a acurácia da avaliação deste atributo do solo.

Estreitas correlações envolvendo a Ks e Ds foram observadas em estudos feitos por Sales et al. (1999).

Tabela 4. Valores de correlação entre a TIB e outros atributos físico-hídricos.

Atributos	TIB	
	0-10cm	10-20cm
Ds (Uhland)	-0,9169*	0,6285 ns
Macroporosidade	0,8853*	-0,9574*
Microporosidade	0,7720 ns	-0,4427 ns
Ks	0,3274 ns	0,7590 ns
VTP	0,6935 ns	0,5660 ns

Ks – condutividade saturada; Ds – densidade do solo; VTP – volume total de poros; ns – não significativo; * - significativo ($p < 0,05$).

Observou-se variações no comportamento dos dados referentes à TIB, que primariamente parecem estar relacionados ao estado de umidade inicial do solo. Foi observado que as leituras efetuadas em solo num estado de umidade próximo à capacidade de campo foram relativamente inferiores às obtidas no momento em que as parcelas se apresentavam com uma umidade inferior, próxima a 1/3 da capacidade de campo, correspondente a primeira e segunda coleta, respectivamente, corroborando os dados obtidos por Araújo Filho & Ribeiro (1996) (Tabela 5).

Verificou-se que essas diferenças foram mais acentuadas nos tratamentos CM, onde as diferenças entre as coletas foram 1,46, 1,57, 1,47 e 4,6 vezes superiores para o período mais seco em SC, PC PN e CM, respectivamente; tais resultados poderiam ser explicados pela variação na relação entre os poros inter e intra-agregados. O solo quando seco contrai-se, aumentando relativamente o volume de poros inter-agregados, que por possuírem uma maior continuidade no perfil, favorecem a infiltração de água. Já nos poros intra-agregados por estarem relacionados à matriz do solo e serem bloqueados, esse efeito deve ser pequeno, não sendo a TIB modificada em função da umidade do solo.

Tabela 5 – Valores da TIB em função do estado inicial de umidade do solo.

Parcelas/umidade	TIB mm h ⁻¹	
	CC (%)	1/3 da CC (%)
SC	24,6	36,0
PC	31,2	49,2
PN	48,0	70,8
CM	18,0	82,8

Legenda - SC- sem cobertura. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo; CC – capacidade de campo.

Araújo Filho & Ribeiro (1996), avaliando o efeito da umidade inicial na infiltração da água no solo, obtiveram diferenças significativas na avaliação da taxa de infiltração básica. Em média, essas taxas foram reduzidas 31% quando obtidas a partir de solo inicialmente úmido. Isso indica que o efeito da umidade inicial do solo é uma fonte de variação importante das taxas de infiltração básica, corroborando os dados de Philip (1957). Resultados da CODEVASF (1988) citados por Araújo Filho & Ribeiro (1994), na região do baixio do Irecê, mostraram reduções ainda mais acentuadas, da

ordem de 50%. Segundo estes mesmos autores, em solos essencialmente cauliníticos, as reduções das taxas de infiltração devem-se, em grande parte, ao rearranjo da macroporosidade dos espaços interagregados. Os autores observaram que no campo, a variação da umidade no solo durante 24 horas, tornava os agregados mais coalescidos.

Os resultados encontrados para os atributos fisico-hídricos indicam que a distribuição da água no solo expressa pela condutividade hidráulica e pela TIB, se apresenta de forma consistente com a distribuição de macro e microporos e com a natureza do solo.

Verificou-se valores diferenciados da TIB em função dos tratamentos, sendo, em geral, inversamente proporcional à intensidade de manejo, portanto maior para CM, PN e, por conseguinte PC, como já discutido, concordando com os dados de Centurion et al. (2001). Porém é interessante notar que nos primeiros 25 minutos dos testes de infiltração, os valores da taxa de infiltração dos tratamentos PC, PN e CM são relativamente próximos entre si, situando-se entre 8 e 10 mm, em comparação a parcela de referência SC com aproximadamente 4 mm (Figura 11). Isso indica que dentro desse intervalo tempo, a dinâmica do fluxo do escoamento deve apresentar comportamento semelhante diante de um evento de precipitação, evidenciando que nos primeiros minutos de uma chuva intensa, nesse caso maior que 60 mm, a geração do escoamento superficial e o início do processo erosivo se daria primeiramente no tratamento CM, superficial e o início do processo erosivo se daria primeiramente no tratamento CM, dentre as parcelas com lavoura. Logo, pode-se inferir que o escoamento tem um caráter diferenciado sobre o arraste das partículas, visto, que sendo os fluxos semelhantes, as perdas de solo foram maiores nos tratamentos de mais intenso manejo do solo.

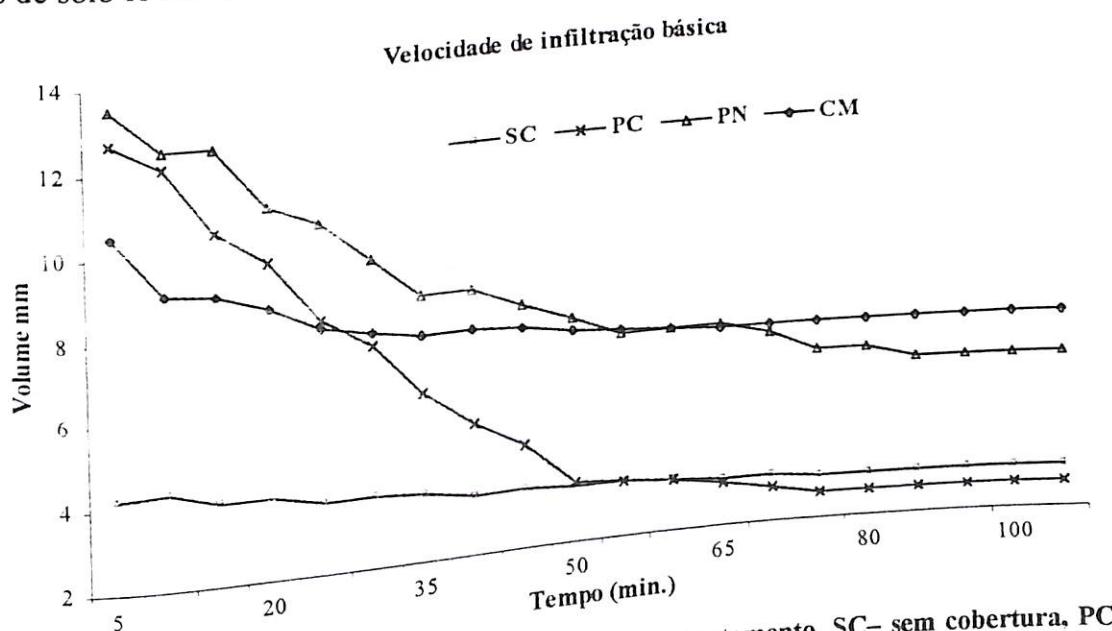


Figura 11. Velocidades de infiltração instantânea para cada tratamento. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Estes resultados concordam com os observados por Tureta (2000), que trabalhando na mesma área no período de 1998 a 2000, verificou taxas muito próximas de TIB entre PC e CM, que resultaram em diferentes perdas por erosão, onde PC obteve um volume 10 vezes maior de sedimentos em relação a CM.

Diante das observações efetuadas, tem-se para este trabalho que a curva ou a taxa de infiltração isoladamente não pode ser usada para prever ou estimar perdas por erosão e que a cobertura vegetal atuou como agente diferenciador na perda de solo, uma vez

que em CM e PN são mantidos os restos culturais em superfície e em PC eles são incorporados a uma profundidade de cerca de 20 cm.

4.1.3. Variação da retenção de umidade

Pela análise da retenção de umidade nos diferentes potenciais (Figura 12), observa-se que em todos os tratamentos, nas duas profundidades, a diferença entre os teores de umidade no solo é maior na faixa de tensão que vai desde a saturação (próximo de zero) até -0,006 MPa, provavelmente por causa da maior expressão dos macroporos, como já mencionado.

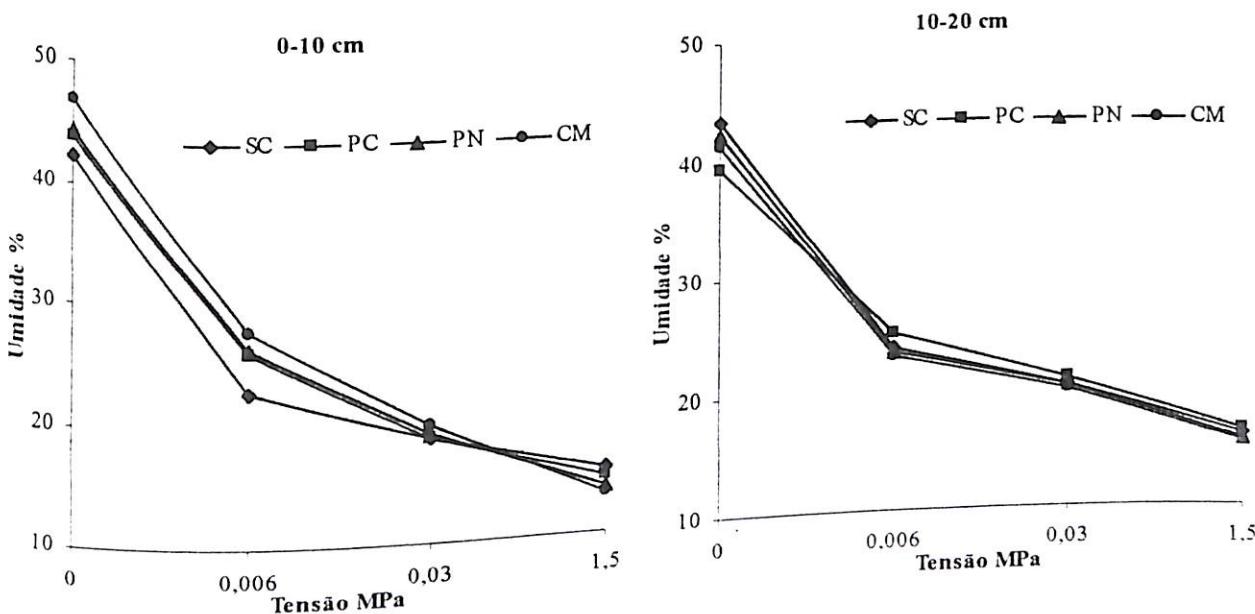


Figura 12. Retenção de umidade em função do sistema de preparo de solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo

Na faixa de potencial de maior importância para a maioria das plantas, ou seja, aproximadamente de 0,01 a 1,5 MPa, verifica-se que os teores de umidade retidos nos referidos potenciais são muito semelhantes. Observa-se maior umidade gravimétrica correspondente ao potencial de 0,006 MPa, na camada de 0-10 cm, no tratamento CM, contudo sem diferenças significativas entre as parcelas com cultura (Tabela 6). O maior teor de umidade, de zero a 0,03 MPa e na camada de 0-10 cm, pode estar associado ao maior teor de matéria orgânica em CM (Tureta, 2000; Machado, 2002).

Tabela 6. Umidade gravimétrica (%) em diferentes tensões, nos tratamentos e nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Trat.	10 cm				20 cm			
	0	0,006	0,03	1,5	0	0,006	0,03	1,5
SC	42.2 B	22.8 B	18.8 A	15.4 A	43.5 A	23.6 A	20.3 A	16.1 A
PC	43.9 AB	26.0 A	18.8 A	14.7 A	39.5 B	24.8 A	20.9 A	16.4 A
PN	44.4 AB	26.4 A	19.1 A	13.8 A	42.6 AB	23.3 A	20.4 A	15.7 A
CM	46.8 A	27.8 A	19.8 A	13.4 A	41.5 AB	22.9 A	19.9 A	15.3 A

Trat - tratamento: SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo. Letras maiúsculas na mesma coluna não diferem entre si (Tukey 5%).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Costa (1979), mostrando que a influência da textura do solo é muito grande; mas, solos da mesma classe textural podem ter curvas de tensão de umidade diferentes, como resultado do teor de matéria orgânica, do tipo de argila e das diferenças de microestrutura.

De maneira geral, o preparo do solo com aração e gradagem (PC) propiciou um armazenamento de água retida a tensões mais elevadas no solo, apesar das diferenças não serem significativas, indicando menor disponibilidade da água para a cultura nesse tipo de preparo, na camada de 0-10 cm. Já para a camada de 10-20, ocorreu o inverso, sistemas de preparo que revolvem mais o solo armazenaram menos água a maiores tensões (1,5 MPa), quando comparados as parcelas sem revolvimento ou com menor profundidade de aração (CM e PN, respectivamente).

A maior retenção de água no plantio direto foi verificada por outros autores, como De Maria et al. (1999) e Tavares Filho & Tessier (1998). Hill et al. (1985) encontraram que o conteúdo de água no solo para dado potencial matricial é maior no sistema de manejo conservacionista, quando comparado ao manejo convencional, pois, naquele, ocorreu maior quantidade de poros com raio de 0,1 e 10 μm , responsáveis pela retenção de água no solo.

A maior disponibilidade de água em CM, encontrada neste trabalho, foi também observada por vários autores (Sidiras et al., 1983; Salton & Mielniczuk, 1995; Tavares Filho & Tessier, 1998; De Maria et al., 1999;) e refletia, além de maior capacidade de infiltração e retenção de água no solo, menor evaporação graças à presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto, resultante do não revolvimento do solo.

Um sistema de manejo que possibilite maior conteúdo de água disponível para as culturas diminui o estresse da planta durante curtos períodos de déficit hídrico. Vários autores observaram que a produtividade de milho em sistema de plantio direto é superior ao sistema de manejo convencional, provavelmente devido à conservação de água no perfil por um período de tempo maior nesse sistema (Eltz, 1989), a maior fertilidade da camada explorada pelas raízes (Muzilli, 1983) e as menores perdas por erosão (Mokma & Sietz, 1992), preservando a matéria orgânica do solo.

4.2. Perdas de Solo e Água

As perdas de solo e água ocorridas no período de estudo foram variáveis ao longo dos dois anos, em virtude principalmente da irregularidade na distribuição das chuvas (Figura 2). As maiores perdas de solo e água (Figura 13) ocorreram nos tratamentos que receberam aração e gradagem (PC e PN), quando comparados ao tratamento CM. Esses dados confirmam os resultados obtidos por Silva et al. (1999) que, trabalhando em um Neossolo Regolítico, constataram perdas por erosão proporcionais à intensidade de mobilização do solo.

Os diferentes sistemas de preparo do solo afetaram o processo erosivo diferentemente (Figura 13). Os dados indicam que o menor revolvimento reduziu as perdas por erosão, possivelmente pela menor desagregação do solo por ocasião do preparo (Kunzmann et al., 1997; Machado, 2002) e pela permanência em cobertura de resíduos não incorporados. Alves et al. (1995) observaram que a persistência dos resíduos culturais sobre o solo, reduzindo o impacto das gotas de chuva, foi de fundamental importância para a atenuação na erosão hidrica. As perdas de solo por erosão na parcela SC não são apresentadas na figura 13 em virtude da magnitude dos valores em relação aos demais tratamentos.

Na média, as perdas de solo no sistema CM foram de 4,4 e 5,8 t ha^{-1} para os anos de 2000 e 2001, ou seja, cerca de 23% e 60% menores que as perdas nos sistemas PN e PC para o primeiro ano e 44% e 182% para o segundo ano, respectivamente. As perdas

de solo na parcela de referência, sem cobertura, foram da ordem de 28,3 e de 28,9 t ha⁻¹, em 2000 e 2001, respectivamente, representando assim um aumento da erosão superior a 85% em relação à parcela PC, corroborando os resultados obtidos por Segnafredo et al. (1997). Quando comparados com os valores encontrados nas parcelas cultivadas, estes números ressaltam a importância da manutenção do solo coberto nesta região, cuja topografia favorece os processos erosivos.

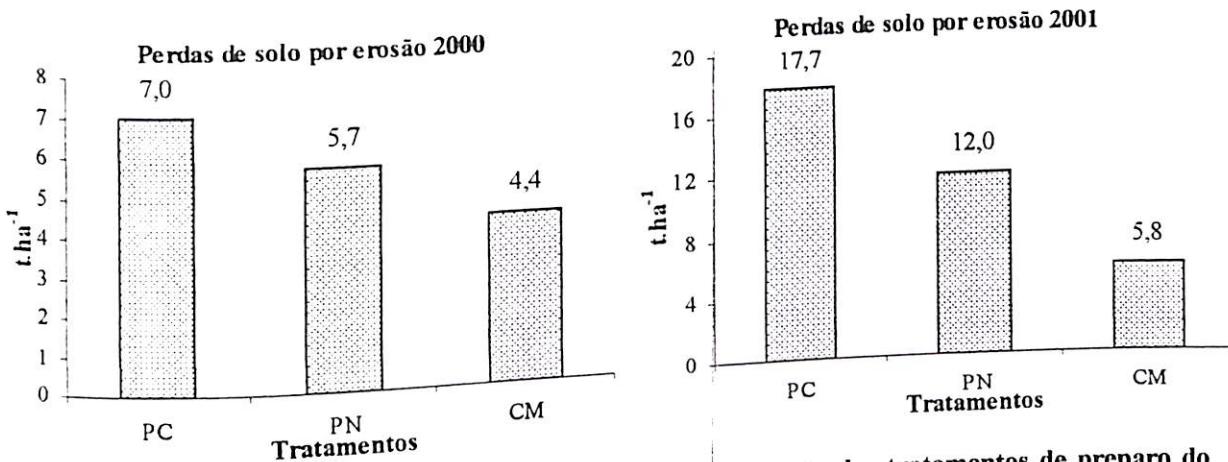


Figura 13. Perdas de solo por erosão, em 2000 e 2001, em função dos tratamentos de preparo do solo. PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo.

Tomando-se como base a relação proposta por William (1981), citado por Nunes et al. (1997), onde, em geral, por cada centímetro de superfície de solo erodida, é perdida 1% de sua produtividade total; as perdas de solo acumuladas na parcela de referência SC representaram uma camada de 0,36 mm de solo, coincidentes para os dois anos avaliados. Se considerarmos uma densidade do solo média de 1,3 Mg m⁻³ essas perdas resultariam em uma remoção de 1,8 cm de solo, num período de 5 anos, se as práticas atuais de cultivo fossem mantidas na região, diminuindo em quase 2% a produtividade desse solo.

Para o CM, as perdas representariam apenas cerca de 0,06 mm por ano, e no período considerado acima, acumularia uma remoção de 0,30 mm de solo, menos de 0,5% da produtividade do solo. Para o sistema PC a perda acumulada representaria cerca de 0,5 mm e 0,9 mm para os anos de 2000 e 2001, respectivamente, com o sistema PN apresentando valores intermediários. Essas estimativas indicam que, a manutenção do solo desnudo, sobretudo no período de maior intensidade de chuvas, resulta em elevados custos para os produtores de oleráceas e para a manutenção da fertilidade e produtividade dos solos na região de Paty do Alferes e no ambiente de Mar de Morros.

Quanto às perdas de água por escoamento superficial (Figura 14), o sistema de preparo de solo PN foi ligeiramente mais eficiente, contudo as diferenças não foram significativas quando comparadas às demais parcelas cultivadas, concordando com os resultados de Hernani et al. (1997).

Nos tratamentos PN e CM, a presença de resíduos parece ter sido eficaz na redução das taxas de escoamento e perdas de solo, quando comparados aos tratamentos SC e PC (Figuras 13 e 14). Isso é justificado pela ausência ou menor volume de resíduos culturais na superfície dessas parcelas, as quais além da aração e gradagem, ficaram completamente ou parcialmente descobertas nas entre-linhas das culturas e com grande quantidade de solo desagregado e disponível para o transporte. Na parcela de referência (SC), foi possível verificar visualmente que a falta de cobertura vegetal favoreceu o selamento e sulcamento superficial e, consequentemente, o aumento da velocidade de escoamento e diminuição da infiltração da água no solo.

A cobertura vegetal e a rugosidade superficial são, entre outros, os principais fatores que influem sobre a erosão hidrica do solo (Bertol, 1995, 1997). Na presença de baixa rugosidade superficial, mesmo uma reduzida cobertura vegetal é capaz de promover uma expressiva diminuição da erosão hidrica (Cogo, 1981). Por outro lado, a alta rugosidade superficial pode diminuir o efeito da cobertura do solo sobre a redução da erosão hidrica, especialmente sob chuvas de baixa intensidade (Cogo, 1981).

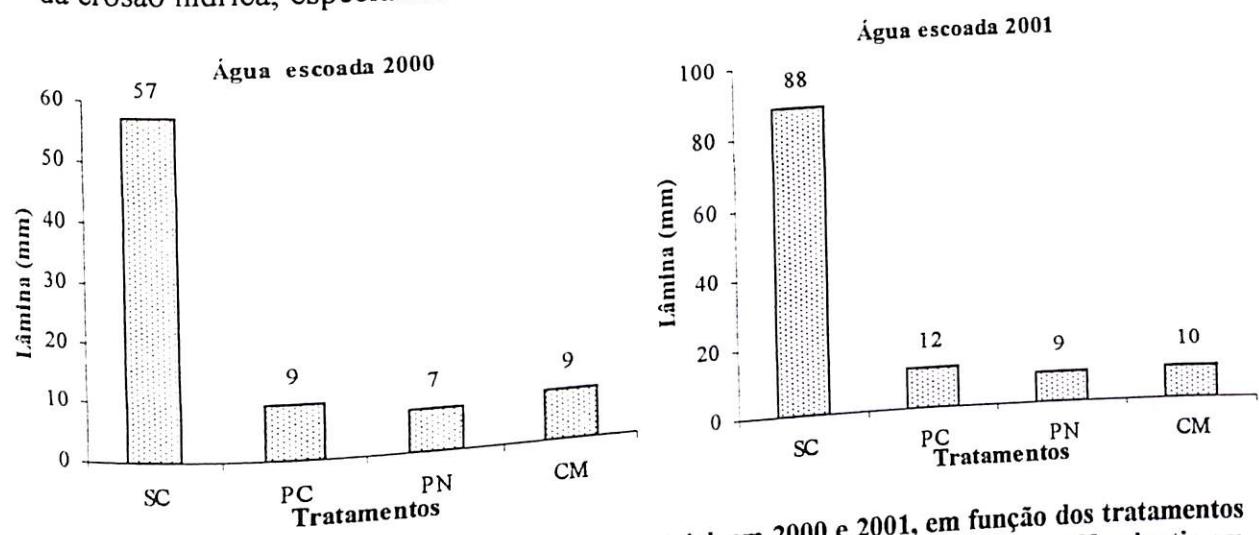


Figura 14. Perdas de água por escoamento superficial, em 2000 e 2001, em função dos tratamentos de preparo de solo e cobertura. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Bertol (1997) verificou que nos tratamentos onde era mantida a cobertura vegetal, a velocidade do escoamento superficial foi reduzida, em relação aos com ausência de cobertura, mostrando a eficácia do resíduo na diminuição da enxurrada. A manutenção do resíduo cultural na superfície parece ter propiciado maior rugosidade em relação à sua remoção no tratamento preparo convencional. Isso é explicado pelos resíduos culturais que, quando mantidos no solo, passaram a fazer parte dessa rugosidade, de maneira interativa (Cogo, 1981; Bertol, 1997). Portanto se a superfície do solo fica exposta à ação desagregadora das gotas de chuva por mais tempo ela apresenta uma condição extremamente favorável à erosão, particularmente, no período de dezembro a fevereiro, quando ocorrem os maiores índices pluviométricos na região do estudo. De uma forma geral, observa-se que os sistemas de preparo PC e a parcela de referência SC, ao promoverem maior exposição da superfície do solo aos impactos das gotas da chuva e favorecer à formação de crostas, geraram mais erosão, com maior perda de solo e água por escoamento superficial.

As perdas anuais de solo acumuladas em função da precipitação, que resultam em erosão (Anexo II) para os sistemas de preparo de solo, ajustaram-se a um modelo linear com coeficientes angulares positivos para todos os tratamentos. Contudo houve uma tendência do tratamento PN e CM, à um modelo logarítmico, indicando que as perdas acumuladas de solo nesses tratamentos, tenderiam, ao longo do tempo, a estabilizar-se, concordando com os resultados de Hernani et al. (1997). No caso dos tratamentos PC, PN e CM e para o intervalo de tempo do experimento, as perdas acumuladas no ano de 2000, sugerem uma taxa de crescimento médio de erosão, de 0,018, 0,015 e 0,014 t ha⁻¹ mm⁻¹ e 0,037, 0,025, e 0,012 t ha⁻¹ mm⁻¹ referente aos dados do ano de 2001, para os tratamentos PC, PN e CM, respectivamente (Figura 15). Estes resultados indicam a influência positiva do manejo conservacionista na diminuição e/ou mitigação dos processos erosivos e a variação sazonal dessa taxa em função do clima.

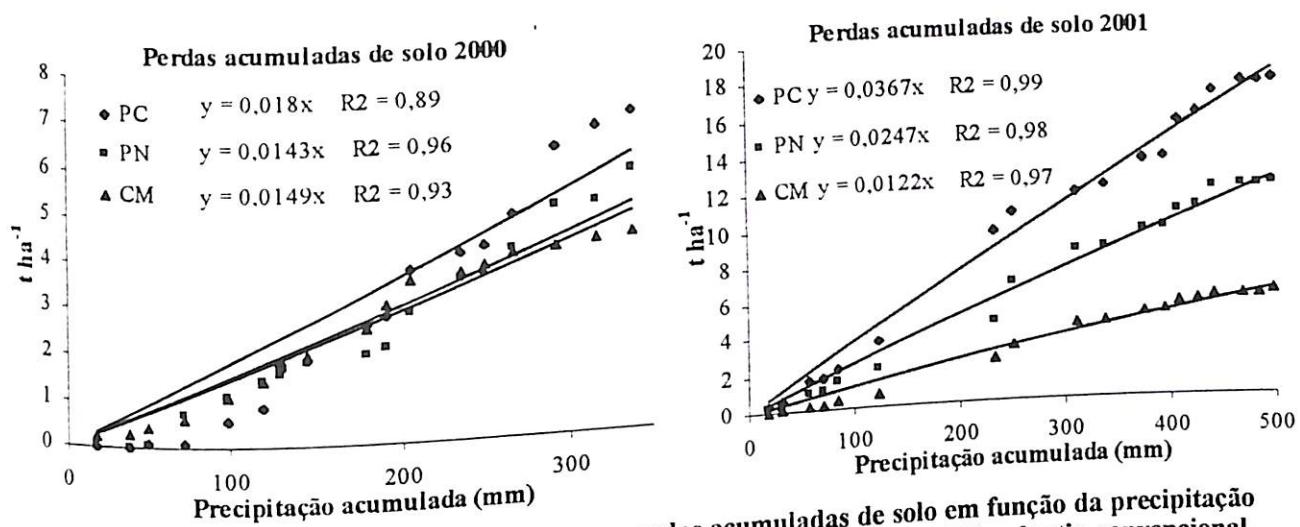


Figura 15. Coeficiente de correlação entre as perdas acumuladas de solo em função da precipitação acumulada, para os tratamentos de preparo de solo com cultivo. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Quanto às perdas acumuladas de água em função da precipitação (Anexo II), estas também melhor se ajustaram num modelo linear para todos os tratamentos, onde para CM, a taxa de crescimento dessas perdas ficou em torno de $2,1 \text{ mm ano}^{-1}$ quando os valores dos anos e dos tratamentos avaliados são considerados em bloco (Figura 16). Isso indica que em CM e PN o controle de perda de água foi relativamente menos eficiente do que o controle das perdas de solo; contudo ambos foram eficientes no controle das perdas de água, quando comparados à parcela de referência SC.

Fernandes (1985), estudando o efeito de práticas conservacionistas e de preparo do solo nas perdas de água, verificou que as maiores perdas ocorreram com o tratamento de preparo do solo morro abaixo e as menores com o de cultivo em faixas de vegetação permanente, o qual comparado ao primeiro, promoveu uma redução de 91,5% nas perdas de solo e de 67% nas perdas de água por escoamento. O plantio em contorno e o tratamento com alternância de capinas, por sua vez, apresentaram, quando comparados com o preparo morro abaixo, reduções de 36 e 82,6%, respectivamente, nas perdas de solo, e 21,5 e 62,8%, respectivamente, nas perdas de água.

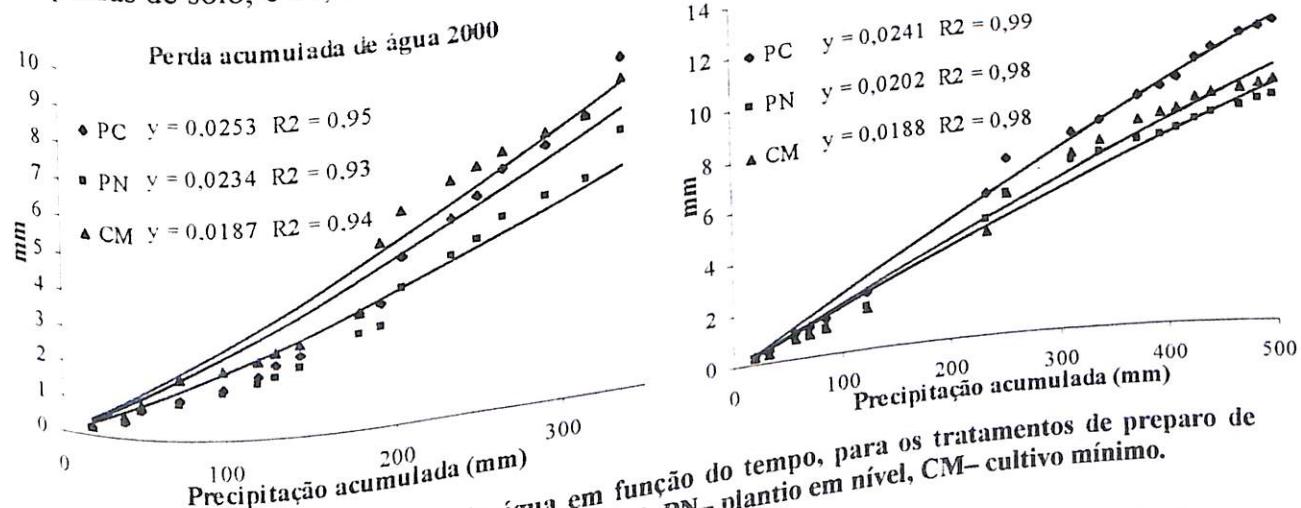


Figura 16. Perdas acumuladas de água em função do tempo, para os tratamentos de preparo de solo com cultivo. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Tentando compreender a dinâmica dos processos erosivos, em relação ao comportamento volumétrico das chuvas, foram avaliados os coeficientes de correlação entre o volume precipitado e as perdas de solo e água (Tabela 7). Foram verificados os

maiores coeficientes de correlação para o ano de 2001, entre o volume precipitado e a quantidade de sedimento gerada em cada evento, bem como da água que foi perdida por escoamento em todas as parcelas avaliadas. O fato de não haver algum tipo de relação entre o volume precipitado e erosão no primeiro ano (2000) mostra claramente o efeito da distribuição e da intensidade das chuvas, nos respectivos anos, na geração dos fluxos erosivos e escoamento superficial.

Tabela 7. Valores do coeficiente de correlação para os anos de 2000 e 2001 entre o volume precipitado, a perda de solo e o escoamento superficial em cada evento de chuva.

Tratamento	Perda de solo		Perda de água	
	2000	2001	2000	2001
SC	0,0616 ns	0,2058 ns	0,002 ns	0,6818*
PC	0,0331 ns	0,7501*	0,1213 ns	0,8044*
PN	0,0801 ns	0,4278 ns	0,0914 ns	0,8849*
CM	-	0,7305*	0,0063 ns	0,7585*

SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo. *-significativo ($p<0,05$); ns- não significativo.

Da mesma forma que as perdas de solo, a intensidade de escoamento de água foi muito maior na parcela sem cobertura vegetal, não tendo sido observadas diferenças significativas entre os demais tratamentos (Figura 14). Além das implicações da falta de vegetação, a redução do volume de poros na parcela SC e o domínio de agregados menores (Machado, 2002), que levaram a menores valores de condutividade hidráulica e TIB, resultaram em escoamento superficial da água das chuvas na parcela SC superior em cerca de nove (09) vezes ao menor valor encontrado, alcançando um volume de água escoado equivalente à cerca de 17% da chuva total no período de janeiro a novembro de 2001.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985) citados por Silva et al. (1999), para os Regossolos do Estado de São Paulo, as perdas médias anuais de solo possuem um limite máximo tolerável que variam de 9,7 a 16,5 t/ha/ano. Os autores afirmam que, segundo a FAO (1967), as perdas de 12,5 t/ha/ano são toleráveis para solos profundos, e que perdas de 2,0 a 4,0 t/ha/ano são admissíveis em solos com subsolo desfavorável e pouco profundos, e que em solo Litólico, a tolerância às perdas por erosão está entre 1,9 e 7,3 t/ha/ano. Apesar de não ser inteiramente coerente admitir tais valores como parâmetros de comparação nas perdas por erosão, devido às diferenças morfopedológicas entre o ambiente de estudo e o de referência; contudo, em todos os tratamentos avaliados, as perdas médias anuais de solo estiveram muito abaixo dos limites acima mencionados, mesmo em uma condição mais drástica de relevo.

Quanto aos critérios da FAO, os limites toleráveis de perdas por erosão, dentro de uma visão sustentável e ambientalmente viável, podem levar a alguns equívocos, quando aplicados para os solos tropicais. Trabalhos como os de Núñez (1998), Soares et al. (2000) e Segnfredo et al. (2001) tem mostrado que teores relativamente altos de nutrientes, carbono orgânico e de metais pesados têm sido perdidos nos sedimentos erosionados, os quais, mesmo estando dentro dos supostos limites de tolerância de perdas de solo, podem, além de diminuir gradativamente a qualidade das terras, causar ao longo do tempo danos incomensuráveis ao passível ambiental.

O uso de parcelas experimentais para avaliação de perdas de solo por erosão e de alterações em atributos edáficos parece ser uma boa técnica para avaliar a sustentabilidade de sistemas agrícolas, uma vez que o volume de sedimentos obtido

expressa de forma conjunta às limitações e benefícios decorrentes de cada sistema de preparo e grau de cobertura do solo.

Como indicador de qualidade, as perdas de solo atendem a vários critérios dos enumerados por Doran e Parkin (1996), quais sejam: a) têm boa correlação com processos do ecossistema, a erosão é um processo natural de formação de paisagens; b) outras propriedades edáficas de difícil medição têm boa correlação com as perdas por erosão, permitindo ainda estimar funções do solo; c) o conceito de perdas de solo e consequências no ecossistema é de compreensão fácil, podendo ser relacionado diretamente às perdas de produtividade agrícola, ainda que, a obtenção dos dados exija um tempo maior de experimentação em unidades de solo representativas dos diversos ambientes e usos; d) os resultados obtidos no estudo demonstram que o indicador é sensível à influência do manejo e clima, a médio prazo; e e) em outros países, as perdas de solo por erosão compõem uma importante base de dados, que orienta modelos de política de desenvolvimento agrícola e de subsídios.

Os resultados apresentados em tabelas e diagramas nesta dissertação mostram claramente que, através de métodos apropriados de manejo de solo é possível diminuir a erosão significativamente. O sistema de preparo de solo adequado é importante nestes terrenos, cujas declividades são desfavoráveis para culturas anuais de manejo intensivo, como o tomate, a vagem, o pimentão, o pepino, a couve-flor, etc. Através de métodos de plantio conservacionistas como o plantio em nível e/ou de faixas vegetativas para contenção do fluxo superficial da água, a perda de solo pode ser diminuída a níveis toleráveis ao diminuir o escoamento superficial e aumentar a taxa de infiltração, favorecendo a disponibilidade de nutrientes em profundidade.

4.3. Propriedades Químicas e Perdas de Nutrientes

4.3.1. Complexo sortivo, nutrientes e carbono orgânico no solo

Considerando a média de todas as coletas efetuadas, verifica-se que os sistemas de preparo e cobertura do solo não diferiram quanto ao pH e aos teores de Al^{+3} (Figura 17); apenas é observado um aumento nos valores de pH de SC para PN e CM, acompanhados proporcionalmente de uma diminuição nos teores de Al^{+3} , o qual mantém o mesmo comportamento em relação aos tratamentos.

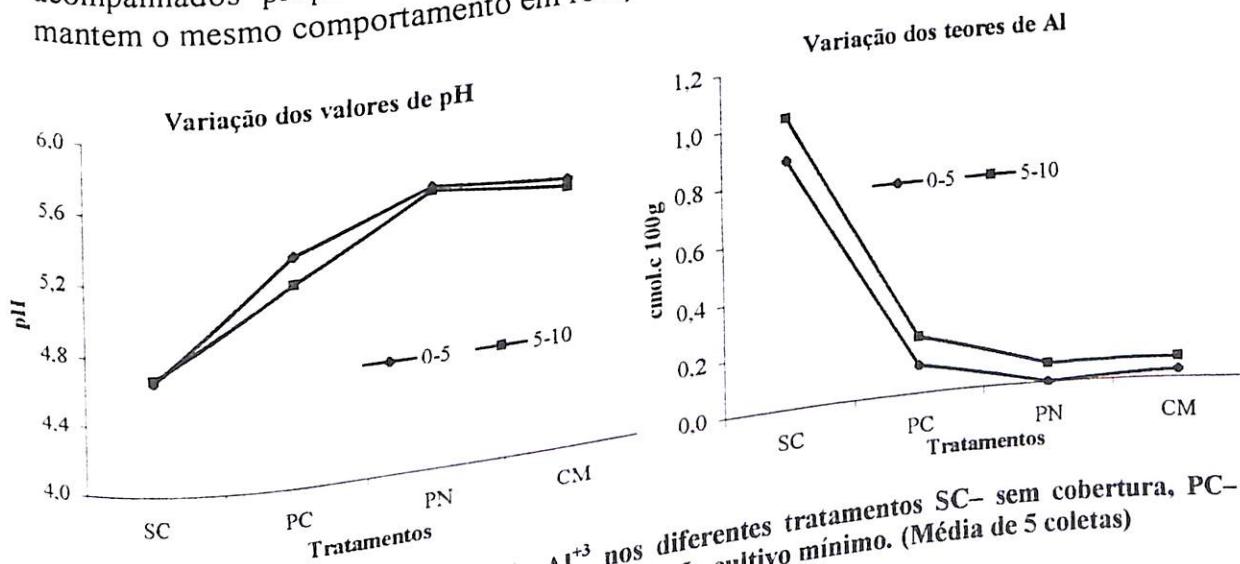


Figura 17. Valores de pH e teores de Al^{+3} nos diferentes tratamentos SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo. (Média de 5 coletas)

Com relação aos teores de Ca+Mg, e P verifica-se uma sensível variação nesses nutrientes, entre os sistemas de preparo e coletas, que são provavelmente devidas à influência do manejo do solo e a adubação das culturas durante o estudo.

Silveira & Stone (2001) verificaram que apesar de serem as diferenças pequenas e os valores se situarem muito próximos, o solo preparado convencionalmente, nas camadas de 0-10 e 10-20cm, apresentou menor pH que o tratamento cultivo mínimo. O solo sob cultivo mínimo também apresentou nessas camadas maior teor de Al e, na camada de 10-20 cm, menor teor de Ca+Mg em comparação ao preparo convencional.

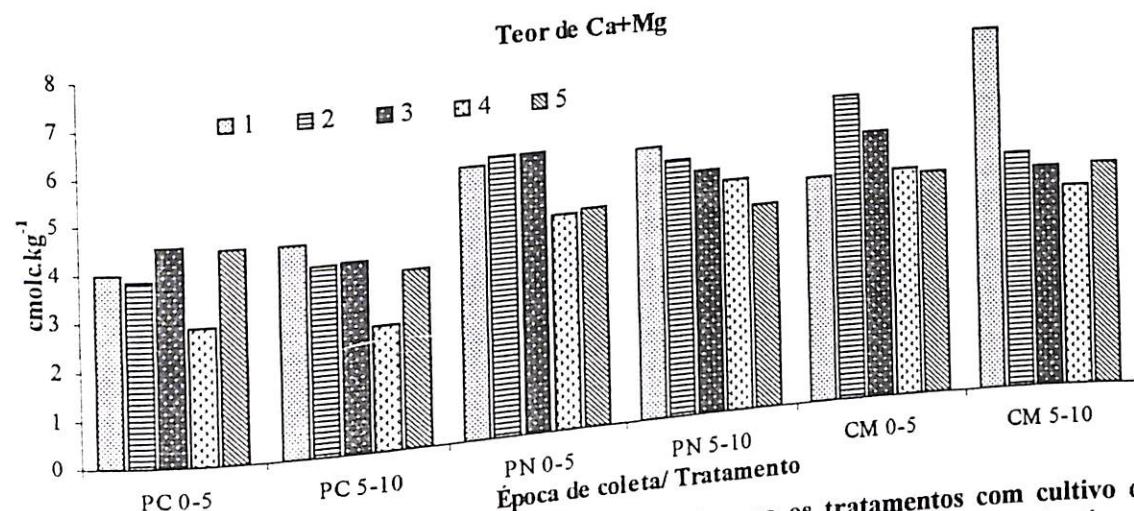


Figura 18. Teores de Ca+Mg em diferentes coletas (1 a 5) para os tratamentos com cultivo de oleráceas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Na avaliação dos teores de Ca, Mg e Ca+Mg, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 18), foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas de preparo (Tabela 8). Os maiores valores foram obtidos nos sistemas de cultivo mínimo e plantio em nível. Siqueira (1995) encontrou maiores valores de Mg nas camadas ou sistemas onde há a mínima mobilização do solo. Na Figura 18, verifica-se uma diminuição dos teores de Ca+Mg em função do tempo de coleta, explicada pela sua extração em cada ciclo de cultivo (pousio na coleta 4) e agravada pelos processos erosivos vigentes.

Analizando-se a variação dos teores de Ca (Figura 19), os tratamentos CM e PN, mostraram o mesmo comportamento que para o Ca+Mg (Figura 18), evidenciando extração pelas plantas e remoção por erosão tanto do Ca como do Mg, ou seja, para as condições desse estudo Ca e Mg apresentaram a mesma dinâmica ao longo do estudo.

Tabela 8. Teores totais de Ca, Mg e Ca+Mg nos diferentes sistemas de preparo.

Tratamento	Ca+Mg		Ca			Mg
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
PC	3,9 Ba	3,8 Ba	2,6 Ba	2,6 Ba	1,3 Ba	1,2 Ba
PN	5,4 Aa	5,5 Aa	3,6 Aa	3,6 Aa	1,8 Aa	1,9 Aa
CM	5,5 Aa	5,5 Aa	3,7 Aa	3,5 Aa	1,8 Aa	2,0 Aa

* Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas representam a comparação entre sistemas de preparo do solo e minúsculas entre profundidade dentro dos sistemas (PC - plantio convencional, PN - plantio em nível, CM - cultivo mínimo)

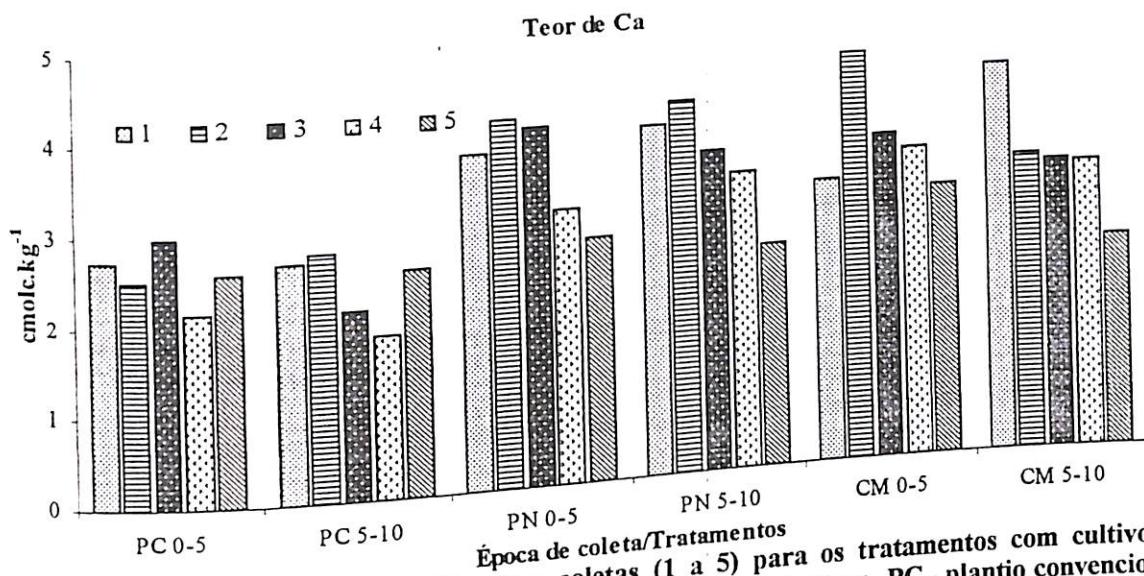


Figura 19. Teores de cálcio em diferentes coletas (1 a 5) para os tratamentos com cultivo de oleráceas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Em relação ao K só foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades avaliadas (Tabela 9), apesar dos maiores teores desse elemento no solo para o cultivo mínimo e para o plantio em nível (Figura 20). Para o CM, de 5-10 cm, foram observados maiores teores de K em relação aos demais sistemas. Tais resultados concordam com os de Souza & Carvalho (1995) e Oliveira et al. (2001).

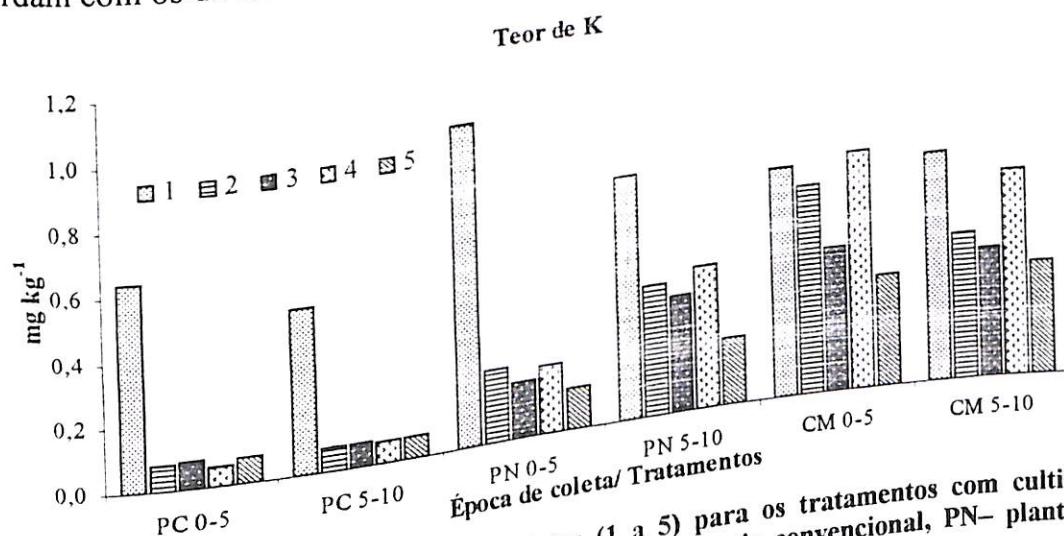


Figura 20. Teor de potássio em diferentes coletas (1 a 5) para os tratamentos com cultivo de oleráceas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Contudo perceberam-se diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo, com relação aos teores de P assimilável (Tabela 9). Constatou-se, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm maiores valores para os sistemas CM e PN, os quais não diferiram entre si.

Entre as profundidades, em geral, foram observados maiores teores de P na camada de 0-5 cm, exceto para CM, concordando com os resultados observados por Salles et al. (1997). O tratamento preparo convencional, por mobilizar o solo mais profundamente e aumentar as superfícies de contato, pode ter diminuído a disponibilidade desse nutriente em função de uma maior adsorção. A diminuição dos

teores de P em PC está também associada aos efeitos erosivos, mais evidentes e expressivos nesse tratamento em relação a PN e CM. Resultados semelhantes foram observados por Silveira et al. (1994) e Silveira & Stone (2001). O preparo em nível não diferiu do cultivo mínimo. Neste último, o teor de P foi maior na camada de 5-10 cm, discordando dos resultados observados por Salles et al. (1997).

Tabela 9. Teores totais de potássio e fósforo nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	K (mg kg^{-1})		P (mg kg^{-1})	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
PC	226,2 Aa	159,9 Ab	78,6 Ba	71,5 Ba
PN	265,6 Aa	159,9 Ab	151,4 Aa	132,7 Aa
CM	241,8 Aa	171,6 Ab	151,4 Aa	174,2 Aa

* Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas representam a comparação entre tratamentos e minúsculas entre profundidade dentro dos sistemas (PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo)

Quanto à variação no teor de P em função do ciclo de cultivo (Figura 21), em geral os teores de P reduziram da coleta 1 a 5, com exceção do preparo convencional na camada de 5-10 cm e CM na camada de 0-5 cm.

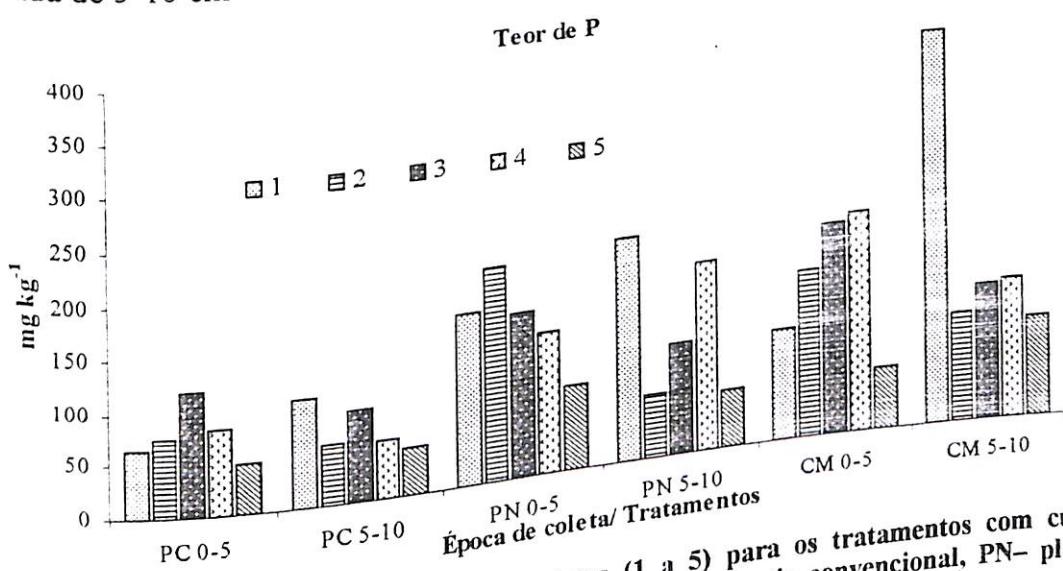


Figura 21. Teor de fósforo em diferentes coletas (1 a 5) para os tratamentos com cultivo de solanáceas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo.

Conforme discutido e observado por diversos autores, os teores de nutrientes, Ca, P e K, têm como característica a distribuição em gradiente com leve diminuição dos valores em profundidade, em sistemas de preparo com menor revolvimento do solo. Para Eltz et al. (1989) este fato alerta e requer uma compreensão global quanto à profundidade adequada que se deve amostrar o solo para fins de interpretação da fertilidade em sistemas como este, considerando-se a camada de 0-5 cm em relação à amostragem normalmente utilizada de 0-20 cm em plantio convencional, tendo em vista a maior concentração dos nutrientes na superfície do solo em plantio direto.

Por outro lado, a concentração dos nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, similar a distribuição da matéria orgânica do solo, favorece a perda destes nutrientes, que permanecem relativamente mais solúveis em relação às demais camadas,

com menor teor de matéria orgânica. Portanto, o manejo dos resíduos vegetais promovendo menores taxas de erosão é essencial nos sistemas de preparo com cultivo mínimo e plantio direto.

Analizando-se os tratamentos quanto à matéria orgânica, nas diferentes camadas, constatou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores médios totais de C orgânico (Tabela 10), corroborando com os dados de De Maria & Castro (1993), Paiva et al. (1997) e Bertol et al., (2001), que constataram aumento no teor de matéria orgânica no plantio direto em comparação com o preparo convencional em Latossolo Vermelho sob cultivo de soja.

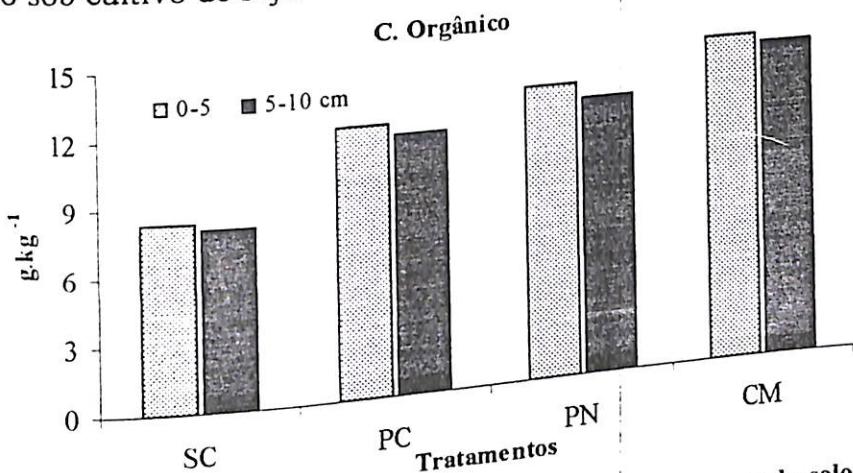


Figura 22. Teores médios de carbono orgânico em função do preparo do solo e cobertura vegetal, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Verifica-se que o sistema CM (14,8 e 14,4 g kg⁻¹) apresentou os maiores valores em relação a PC (12,2 e 11,7 g kg⁻¹) e PN (13,3 e 12,6 g kg⁻¹), respectivamente para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, que por sua vez não diferiram entre si, apresentando estes tratamentos teores superiores ao tratamento SC (8,4 e 8,1 g kg⁻¹) (Figura 22). Machado (2002) e Tureta (2000), trabalhando na mesma área experimental não verificaram diferença significativa no teor de carbono entre estes mesmos tratamentos, concordando também com o observado por Siqueira (1995), Silveira & Stone (2001).

Tabela 10 – Variação dos valores de carbono orgânico entre os tratamentos nas diferentes profundidades.

Prof. (cm)	Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)			
	SC	PC	PN	CM
0-5	8,4 Cc	12,2 Bb	13,3 ABb	14,8 Aa
5-10	8,1 Cc	11,7 Bb	12,6 ABb	14,4 Aa

* Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas representam a comparação entre tratamentos e minúsculas entre profundidade dentro dos sistemas (PC - plantio convencional, PN - plantio em nível, CM - cultivo mínimo).

De acordo com Oliveira et al. (2001), a mobilização do solo para o estabelecimento das culturas pode contribuir para a homogeneização dos teores de matéria orgânica entre os tratamentos convencional e plantio em nível. Nos tratamentos

avaliados no estudo, houve maior permanência dos resíduos vegetais no cultivo mínimo e no plantio em nível em relação ao plantio convencional.

Na maioria dos estudos sobre efeitos de sistemas de manejo, tem sido demonstrado que as alterações no teor de matéria orgânica do solo ocorrem a médio e longo prazo, requerendo maior tempo para serem quantificadas. Além disso, os resultados obtidos por Bayer & Bertol (1999) e Machado (2002) indicam não ser a matéria orgânica total tão sensível aos efeitos dos sistemas de preparo do solo, quando comparada às frações da matéria orgânica.

4.3.2. Perdas de nutrientes por erosão do solo e escoamento de água

Foram analisados os nutrientes presentes nos sedimentos e na suspensão das amostras do material erodido em cada parcela (Figuras 23 a 26), representando os teores de nutrientes adsorvidos aos colóides (sedimentos finos) e perdidos na remoção do material sólido e os nutrientes potencialmente removidos pelo escoamento da água na superfície.

O teor de nutrientes encontrado nos sedimentos perdidos por erosão foi, em geral, maior no tratamento de cultivo mínimo, na média dos anos de cultivo, especialmente para fósforo e potássio (Figura 23). Os teores de fósforo e potássio foram, cerca de 24 e 30% e 36 e 19% maiores no cultivo mínimo que no convencional e plantio em nível. Na parcela de referência (SC), apesar das maiores perdas de solo, os teores de P e K foram baixos, uma vez que neste tratamento não houve adição de nutrientes por adubação e o solo foi mantido em todo o período do estudo sem cobertura vegetal. Assim, os teores de P e K existentes estão adsorvidos à fração argila ou mantidos fortemente no interior dos agregados do solo.

Os resultados obtidos concordam com os observados por Silveira e Stone (2001). Segundo esses autores, os maiores teores de fósforo e potássio no sedimento do cultivo mínimo e plantio em nível, podem ser explicados por seus maiores teores na camada superficial, bem como, provavelmente, pela maior disponibilidade desses elementos, decorrentes do ataque microbiano aos resíduos culturais presentes na superfície, liberando-os regularmente ao solo. Além disso, os sedimentos orgânicos e minerais disponíveis para o transporte pela erosão nesse tratamento eram, provavelmente coloidais, com alta afinidade por fósforo e potássio, razão pela qual devem ter contribuído para a alta concentração desses elementos no sedimento oriundo do cultivo mínimo, concordando também com os resultados de Hernani et al. (1999).

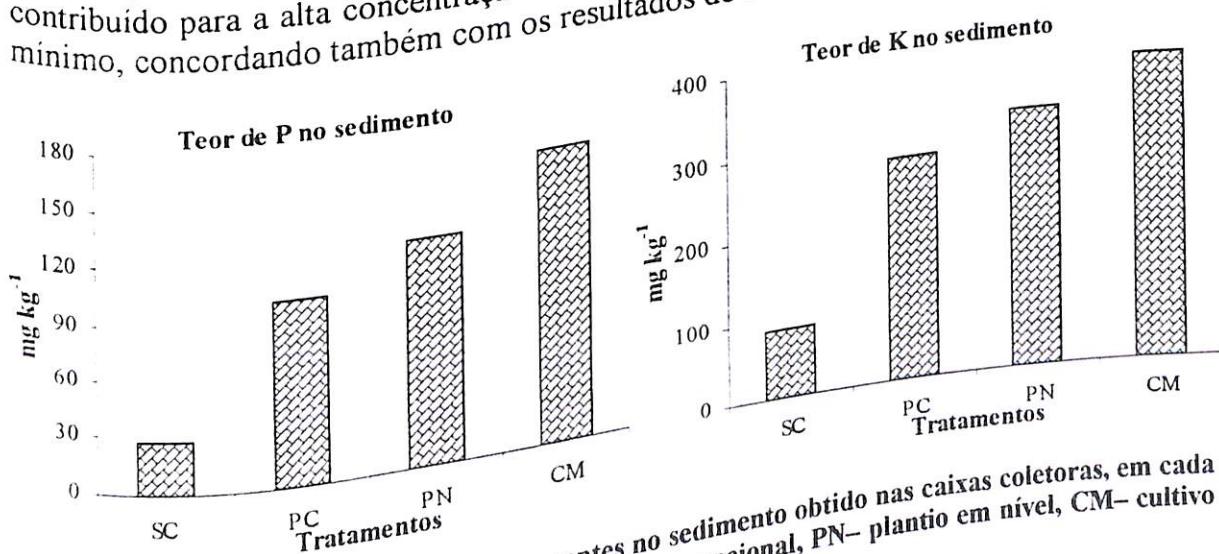


Figura 23. Teores de fósforo e potássio presentes no sedimento obtido nas caixas coletoras, em cada tratamento. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Para os teores de K na suspensão (Figura 24), observam-se diferenças significativas entre os tratamentos e um comportamento inverso ao do K no sedimento das parcelas com cultivo de oleráceas. Na suspensão, as menores perdas ocorreram em CM, PN e PC, nesta ordem. Apesar de ter elevada solubilidade em água, o menor teor de K na suspensão das amostras do material erodido nas parcelas CM e PN sugere que o elemento está menos suscetível às perdas em solução nesses tratamentos, possivelmente devido à uma melhor interação com a matriz do solo, em especial frações da matéria orgânica com maior capacidade de retenção de cátions (Machado, 2002).

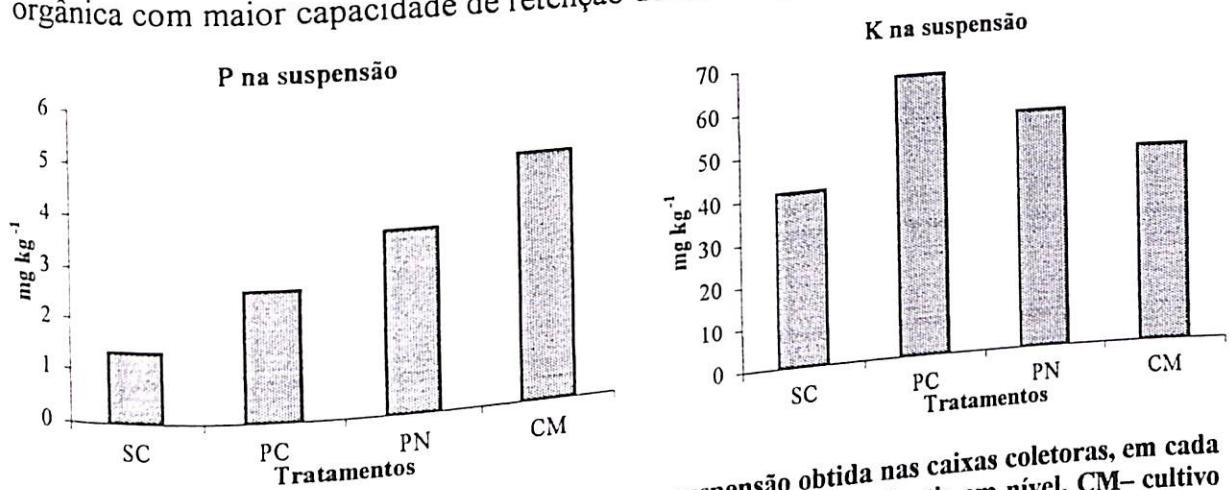


Figura 24. Teores de fósforo e potássio presentes na suspensão obtida nas caixas coletoras, em cada tratamento. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Schick et al. (2000b) verificaram que teores de fósforo e potássio na suspensão da erosão foram, em geral, maiores nos sistemas conservacionistas que em sistemas convencionais de manejo e cultivo do solo, porém que o teor desses mesmos nutrientes no sedimento da erosão, foram 152 e 32 vezes maiores do que o teor contido na suspensão. Isto indicaria que o fósforo pode tornar-se um sério problema de contaminação ambiental por eutrofização das águas, além de contribuir para elevar o custo de produção, principalmente se as perdas de solo forem elevadas.

Com relação aos teores de P perdidos na suspensão das amostras do material erodido, isto é, na água proveniente do escoamento superficial, verifica-se que esse elemento manteve o mesmo comportamento do P no sedimento erodido, porém em menores concentrações, tendo ocorrido, entre as parcelas com cultura, as maiores perdas no CM (Figuras 24 e 25a). Em virtude da baixa solubilidade do P e em virtude dos maiores teores ocorrerem no tratamento CM, sugere-se que o fósforo na suspensão esteja complexado por frações leves de compostos orgânicos em suspensão. Comparando todas as parcelas, as perdas totais de P e K em suspensão foram maiores no tratamento sem cobertura.

As perdas totais de nutrientes no sedimento da erosão foram relativamente baixas, quando levadas em consideração as quantidades de solo perdidas por erosão, nos tratamentos com cultivo de oleráceas, porém a concentração desses nutrientes por unidade de sedimento gerado é alta (Figura 25 b), concordando com os resultados de Schick (2000). A exceção da parcela de referência, sem cobertura vegetal, na qual a perda de solo foi alta e a concentração de nutrientes foi baixa, haja visto que essa parcela não recebeu nenhum tipo de adubação.

Em geral, a perda total de potássio no sedimento e na suspensão foi maior do que a de fósforo, o que foi também verificado por Segnfredo et al. (1997). Isso ocorreu pela maior solubilidade do K em relação ao P, o que facilitou a sua remoção pela erosão superficial. Os teores desses elementos no sedimento (Figura 25b) foram, em geral,

elevados nos tratamentos com PC e PN, possivelmente, pela adição através de adubação e da própria ciclagem dos resíduos vegetais, tornando-os biodisponíveis, corroborando com os dados obtidos por Schick et al. (2001). Apesar do solo sem cobertura apresentar os menores teores de P e K, ainda assim a sua perda total por erosão foi elevada, explicada pela maior perda de solo nesse tratamento.

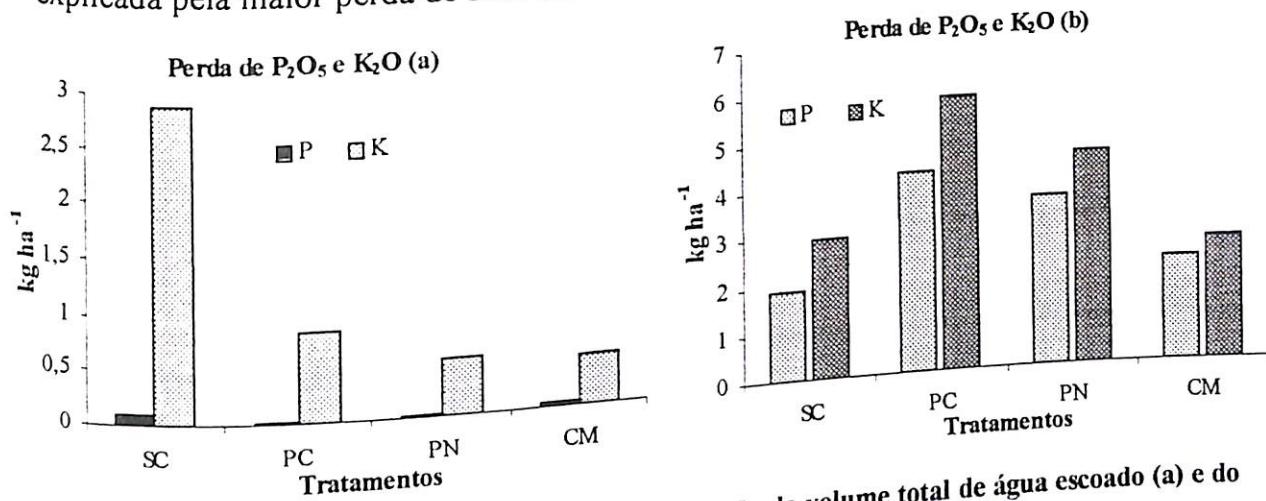


Figura 25. Perdas de P e K em cada tratamento em função do volume total de água escoado (a) e do total de sedimento produzido (b). Ano de 2001.

Ainda segundo Segnfredo et al. (1997), o material erosionado é mais rico em fósforo, cálcio, magnésio, potássio e matéria orgânica do que o solo original. Isto seria devido à textura do material transportado, o qual é relativamente mais rico em frações finas (silte e argila) e colóides orgânicos do que o solo de onde se originou o sedimento. Estas partículas são mais facilmente transportadas e contêm maiores quantidades de nutrientes adsorvidos (Freitas & Castro, 1983).

As perdas de nutrientes, embora tenham sido relativamente baixas no presente estudo, em termos de volume total de solo podem representar expressiva parcela do nutriente necessário às culturas. Bataglia et al. (1976), avaliando os teores de P e K extraídos em um ciclo completo da soja, observaram que 38 e 108% de fósforo e potássio, respectivamente, necessários para a cultura foram perdidos por erosão. Estes dados mostram que, em sistemas de preparo e manejo do solo, onde as perdas de solo e água são altas, a erosão é um fator importante no empobrecimento do solo, com reflexos no aumento do custo de produção das culturas e na poluição de mananciais por eutrofização.

Então, considerando-se a afirmativa de que as perdas de matéria orgânica e nutrientes são uma função das perdas de solo (Munn et al., 1973) as maiores perdas desses componentes deveriam ocorrer nos tratamentos que apresentam maior erosão, ou seja, nos tratamentos de maior mobilização do solo. Esta suposição não é validada pela distribuição de C orgânico no sedimento (Figura 26) originário das parcelas estudadas. Os teores de carbono orgânico guardam uma relação com o revolvimento do solo e perdas, mas também com o maior aporte na camada superficial, assim os tratamentos PC e CM apresentam valores mais altos deste atributo que a parcela SC. Segnfredo et al. (1997), trabalhando com o conceito de taxa de enriquecimento (TE), verificou que quando diminuíram as perdas de solo, aumentaram os teores de matéria orgânica e nutrientes no material erodido.

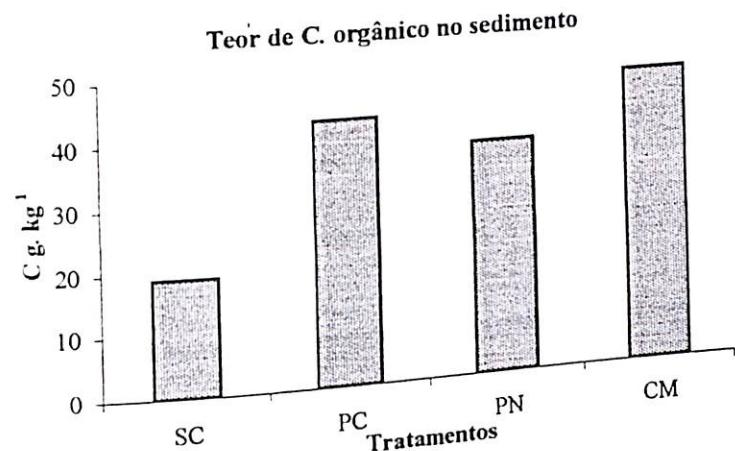


Figura 26. Teores de carbono orgânico no sedimento erodido em cada tratamento. SC - sem cobertura, PC - plantio convencional, PN - plantio em nível, CM - cultivo mínimo.

Aplicando o conceito proposto por Segnfredo et al. (1997), foi verificado que as taxas de enriquecimento (TE) encontradas, ou seja, a relação entre os teores de nutrientes e carbono orgânico no material erodido e os contidos nas parcelas de estudo, foram em geral maiores que 1,0 (Tabela 11) para fósforo, potássio e C orgânico, indicando que as suas concentrações no sedimento erodido foram sempre maiores do que no solo original. Isso denota o caráter seletivo da erosão hídrica, que ao carrear as partículas mais finas, carrega a fração mais fértil do solo.

Tabela 11 – Taxa de enriquecimento do sedimento da erosão.

Tratamentos	P	K	C. org.
PC	1,3	1,2	4,1
PN	1,2	1,2	3,3
CM	0,9	1,6	3,2

Legenda - PC - plantio convencional. PN - plantio em nível. CM - cultivo mínimo; P - Fósforo; K - Potássio; C. org. - Carbono orgânico.

Relativamente, o carbono orgânico foi a componente do solo perdida em maior quantidade em relação aos teores dos nutrientes P e K, em todos os tratamentos (Tabela 11), concordando com os dados obtidos por Hernani et al. (1999). Multiplicando-se a quantidade de solo erodido na média dos dois anos em cada tratamento pelo teor de carbono no sedimento, foram obtidos valores médios, nos anos avaliados, de 0,54, 0,53, 0,33, e 0,24 t ha⁻¹ para os tratamentos SC, PC, PN e CM (Figura 27), respectivamente, concordando com os resultados de Segnfredo et al. (1997).

De acordo com os resultados de Segnfredo & Brum (1997), a retirada de 4.125 kg/ha de matéria orgânica, no solo descoberto, correspondeu a aproximadamente 8,5% do total existente no solo em apenas um ano. Assim é de fundamental importância a adoção de práticas conservacionistas que minimizem a erosão hídrica e, consequentemente, as perdas de matéria orgânica, para que se viabilize a manutenção da produtividade do solo ao longo do tempo.

A proteção da superfície ocasionada pelos resíduos culturais e a ausência de preparo do solo no CM, quando considerada a média dos anos avaliados, resultou em significativa diferença de redução nas perdas totais de carbono nesse tratamento (0,24 t ha⁻¹) em relação à parcela de referência (0,54 t ha⁻¹), resultante das diferenças nas perdas

de solo ocorridas nesses tratamentos (Figura 13) e pelas variações nos teores de C orgânico no sedimento (Figura 26).

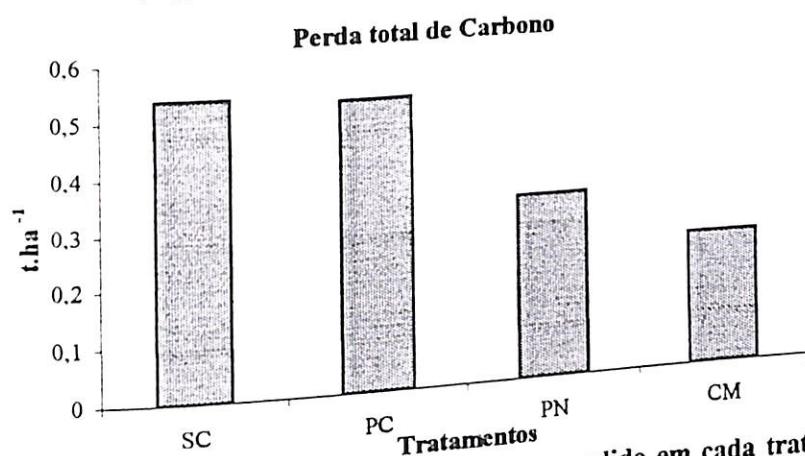


Figura 27. Perda total de carbono orgânico no sedimento erodido em cada tratamento. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Os tratamentos CM e PN mostraram uma grande eficiência na conservação dos nutrientes P e K ao minimizarem as perdas por erosão, confirmando que uma menor alteração da estrutura e o uso de barreiras naturais são práticas agrícolas eficientes para conservar o solo e os nutrientes. Este fato alerta ainda para a necessidade de mudanças na recomendação de adubação nestes sistemas de preparo do solo, já que normalmente são aplicadas altas doses de fertilizantes na produção de olerícolas na região de Paty do Alferes, com base nas perdas maiores no sistema de preparo convencional, que seriam amenizadas nos manejos conservacionistas ao promoverem a maior eficiência no uso dos fertilizantes. O P sendo, juntamente com o N e o K, um dos nutrientes exigidos em maior quantidade pelas plantas, é um dos elementos que ocasiona maiores problemas ecológicos através da eutrofização dos corpos d'água; por esta razão deveria receber uma maior atenção nos estudos ambientais sobre a região.

4.4. Resistência a Penetração e Sistema Radicular

4.4.1. Resistência à penetração e compactação do solo

Em todos os sistemas de manejo do solo houve tendência de formação de uma camada compactada em diferentes profundidades do solo. A intensidade de resistência à penetração dessa camada, medida pelo penetrômetro, é variável com a profundidade de atuação dos implementos e sistema de preparo de solo. Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos e, inversamente aos resultados encontrados por Moraes & Benez (1996), aqueles sistemas que promovem uma mobilização mais intensa da camada superficial, apresentaram menor resistência do solo à penetração.

Na avaliação da resistência à penetração (R), observa-se na profundidade de cerca de 2,5 cm, nas parcelas com cultura, uma inflexão e um aumento substancial nos valores de R (Figura 28), entre 1,94 e 2,23 MPa neste ponto da curva. Entre 5-10 e 10-20 cm de profundidade, o valor de R foi semelhante para os tratamentos PC e PN, situando-se de 2,51 a 2,25 MPa e 3,16 a 3,52 MPa, respectivamente. Para CM observa-se que, já nos primeiros 10 cm, o valor de R alcançou 4,01 MPa, e foi de 4,84 MPa na profundidade de 20 cm (Figura 28).

Para a parcela de referência SC, o aumento da resistência à penetração aos 2,5 cm é mais claro e acentuado, sendo observado o mais alto valor de R para essa profundidade (3,06 MPa). A partir desta profundidade observa-se uma redução do R até os 20cm, seguindo-se novo aumento em profundidade; isso estaria indicando o processo

de selamento superficial, visto nesta parcela a falta de cobertura vegetal causar alta susceptibilidade ao impacto das gotas de chuva. Os dados de condutividade hidráulica (Figura 9) se mostraram bastante sensíveis na qualificação desse processo.

Diante disso, verifica-se que até a profundidade de 20 cm, na qual foram avaliados os atributos relativos à planta, a mobilização do solo no preparo com arado (PC) propiciou um menor valor de R em comparação aos demais sistemas de preparo, concordando com as observações de Stone et al. (1999). As diferenças entre tração mecanizada e animal, com relação à resistência, provavelmente estão relacionadas à profundidade e ao modo de ação de cada implemento e tipo de tração.

Pode-se observar que a resistência do solo até 20cm foi maior no CM (4,84 MPa) do que no sistema convencional (3,16 MPa) e PN (3,52 MPa). Na camada de 20 a 40 cm não foi possível verificar diferença aparente entre os valores encontrados para os tratamentos PC e PN, embora os valores médios de resistência para esta profundidade tenham sido maiores no sistema PN (4,91 MPa) do que no PC (3,92 MPa); já o tratamento CM diferenciou-se dos demais sistemas, apresentando valores em torno de 5,66 MPa.

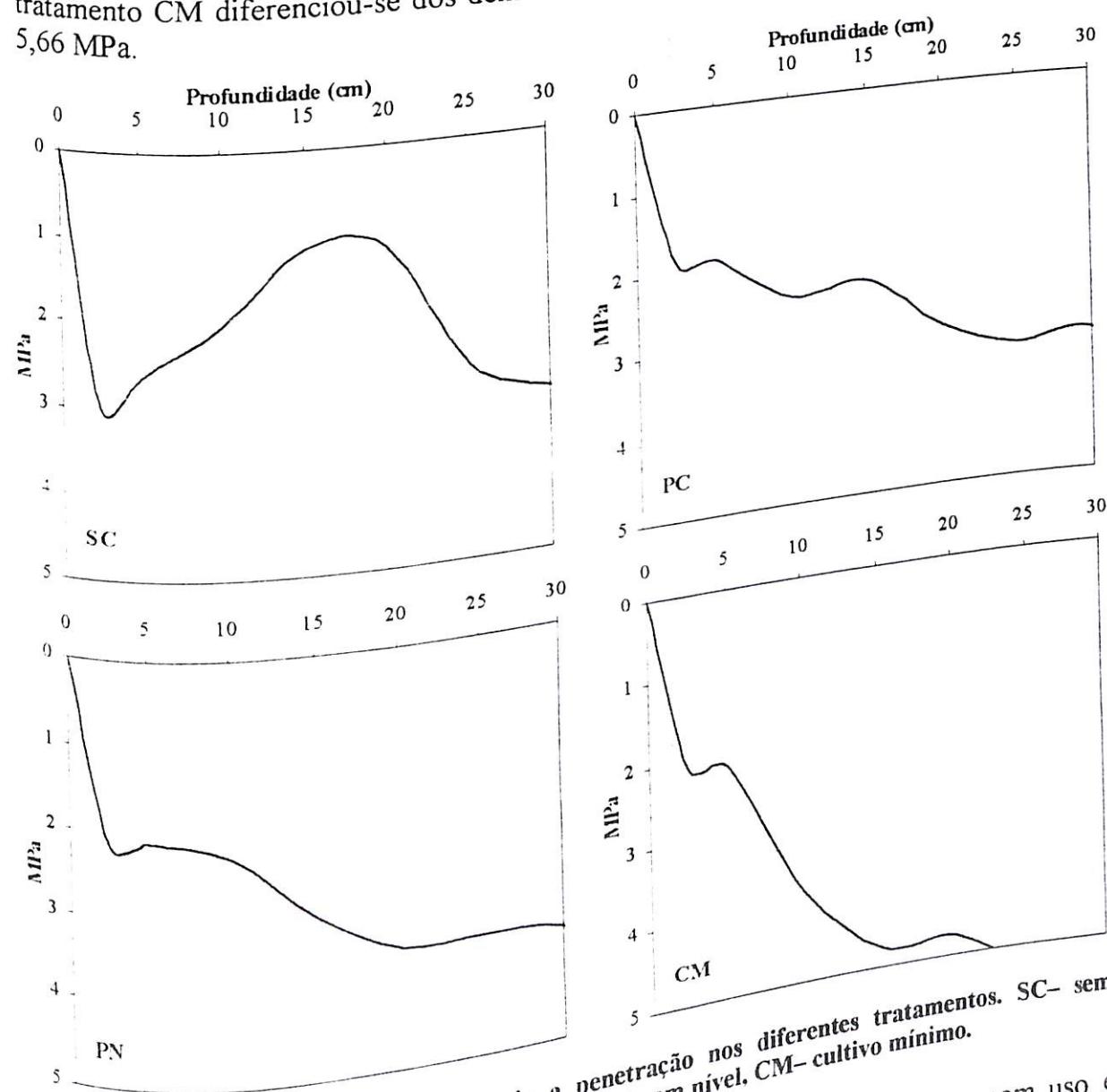


Figura 28. Comportamento da resistência a penetração nos diferentes tratamentos. SC- sem cobertura, PC- plantio convencional, PN- plantio em nível. CM- cultivo mínimo.

A formação de camadas compactadas à diferentes profundidades, com uso e manejo de solo, é quantificada pelo valores maiores que 2,0 MPa, limite crítico sugerido

por Tormena (1998) em Latossolo Roxo, para influenciar o desenvolvimento das culturas. Todavia, Rosolem et al. (1999) concluíram que a resistência do solo à penetração da ordem de 1,3 MPa reduz pela metade o crescimento das raízes seminais adventícias do milho. Segundo Imhoff et al. (1999) valores de resistência mecânica do solo entre 2 e 3 MPa, são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular. Silva et al. (1989) propoem o valor de 1,77 MPa como indicativo de camada compactada para Latossolo Roxo.

Assim, segundo esses valores de referência, todos os tratamentos induziram à formação de camadas compactadas em superfície, em níveis que afetam o desenvolvimento radicular das culturas, e todas as parcelas apresentam restrições de uso relativas à compactação. No entanto, diversos fatores ligados ao solo, à aplicação e o modelo do equipamento devem ser considerados na interpretação dos dados de penetrometria (Camargo, 1983; Perez Filho et al. 1993) já que os valores críticos sugeridos por cada autor, são obtidos por metodologias não padronizadas e em diferentes aparelhos.

Os resultados demonstram que na área das parcelas existe uma ampla variação dos dados de resistência à penetração, em profundidade, contudo parecem que não estão exclusivamente relacionados ao preparo de solo em cada tratamento. Acredita-se que esse efeito é devido à uma variação horizontal nas propriedades desse solo não detectada anteriormente.

4.4.2. Desenvolvimento do sistema radicular

O comportamento dos sistemas de preparo do solo em relação à resistência à penetração em superfície refletiu-se na distribuição do sistema radicular do pimentão. Para todos os tratamentos houve uma maior concentração de raízes na camada de solo de 0-10 cm de profundidade (Figura 29a), provavelmente em virtude do aumento da resistência a partir de 10cm e/ou da maior disponibilidade de nutrientes nessa mesma camada. No sistema PC, no qual foi utilizado tração mecanizada e onde a mobilização do solo foi feita em maior profundidade, foi observado um significativo incremento na concentração das raízes na camada de 10-20 cm. No CM, a distribuição apresentou uma situação intermediária entre o preparo com aiveca e tração animal (PN) e o com arado de disco (PC).

A distribuição do sistema radicular no perfil pode ser analisada também pela densidade radicular relativa. Cerca de 68% do sistema radicular concentrou-se nos primeiros 10cm de profundidade no tratamento PC. Para os tratamentos PN e CM esses valores corresponderam a 82 e 79%, evidenciando que o preparo mais intenso e profundo do solo no tratamento PC propiciou melhores condições de desenvolvimento e maior distribuição do sistema radicular em profundidade, concordando com Müller et al., (2001). Porem é interessante notar que mesmo sendo preparado por tração animal, o manejo PN apresentou menor concentração de raízes, na profundidade de 10 a 20 cm, em relação a CM, onde não houve revolvimento do solo.

Verifica-se que o sistema PC apresentou o peso de matéria seca da raiz muito semelhante para ambos os diâmetros o que não ocorreu para os tratamentos CM e PN. Nestes, para o diâmetro maior que 1 mm, os valores não se diferenciaram entre si; já para o diâmetro menor que 1 mm, o maior valor foi encontrado para CM, diferindo estatisticamente de PC e PN, os quais também não se diferem entre si nessa classe de diâmetro.

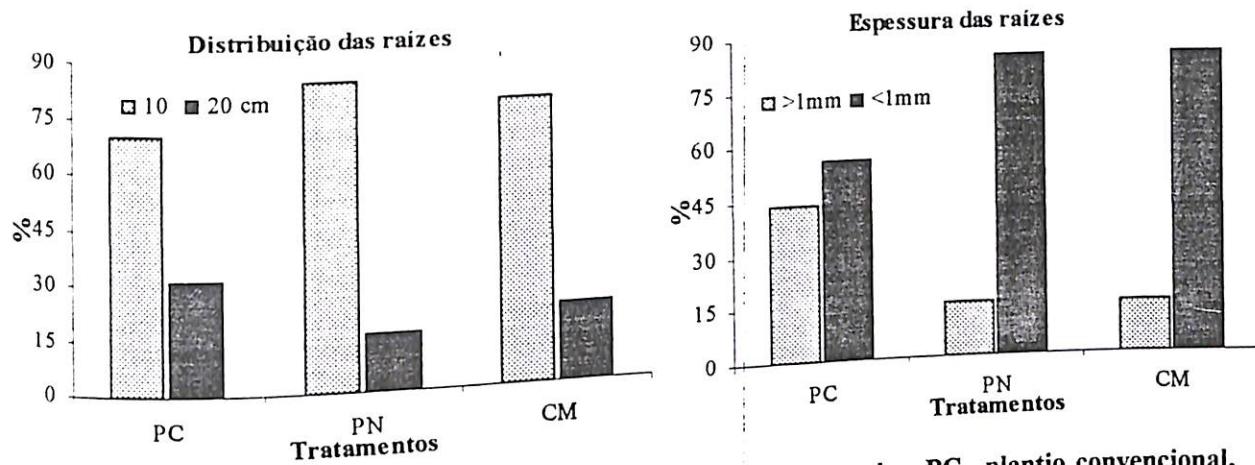


Figura 29. Distribuição e espessura das raízes nas diferentes camadas. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

O crescimento radicular pode ser restrinido por excesso de Al (Pavan et al., 1982) e deficiência de cálcio (Ritchey et al., 1982) ou mesmo de P (Barber, 1987). Entretanto os valores encontrados no presente trabalho mostram que esses elementos se encontravam no solo em concentrações que não deveriam impor restrições ao crescimento radicular do pimentão (Rosolem et al., 1992).

Por outro lado, valores críticos de resistência à penetração, que variam de 3,0 MPa (Taylor & Gardner, 1963) a mais de 5,0 MPa (Ehlers et al., 1983), podem inibir o crescimento radicular. Segundo Dexter (1987), essa variação aparece em função da interação da umidade do solo com a resistência à penetração. Assim se o potencial de água no solo for maior que -0,2 MPa, é possível o crescimento de raízes a resistências maiores que 5,0 MPa, mas se o potencial de água do solo for menor que -1,0 MPa só haverá bom crescimento de raízes se a resistência for inferior a 1,0 MPa.

Houve alteração na distribuição das raízes em profundidades, nos sistemas que apresentaram uma camada mais resistente à penetração em superfície, CM e PN, levando a um maior crescimento das raízes na camada de 0-10 cm (Figuras 29 e 30). Entretanto, não houve redução significativa no volume total de raízes de 0 a 20 cm, nestes tratamentos em relação ao PC. Resultados semelhantes têm sido obtidos com outras culturas (Marschner, 1986).

Quanto à espessura das raízes, foi verificado que o diâmetro das raízes é diretamente proporcional à intensidade de revolvimento do solo, já que para PC foram encontrados os maiores percentuais de raízes de maior espessura (> 1 mm). Por outro lado, os maiores níveis de resistência à penetração em profundidade (10-20 cm) resultaram em maior percentual de raízes finas (< 1 mm) em CM e PN (Figura 29b). Este resultado contraria os citados na literatura, pois autores, como Borges et al. (1988), citados por Guimarães & Moreira (2001), Keisling et al. (1995) e Fernandez et al. (1995), observaram que as raízes desenvolvem-se melhor em pontos de menor resistência oferecida pelo solo e que ocorrem modificações na morfologia da raiz, como redução do comprimento e aumento do diâmetro (engrossamento), resultantes naturalmente do acúmulo de carboidratos, quando as raízes encontram restrição ao crescimento.

A concentração de raízes por área, apesar de não permitir visualizar a distribuição do sistema radicular, reflete a influência do sistema de preparo do solo na quantidade e no comportamento das raízes do pimentão nos primeiros 20 cm. Embora as diferenças não tenham sido significativas, o tratamento PC mostrou maior quantidade de

raízes totais, coincidindo com a maior produção de matéria seca na parte aérea (Figura 30).

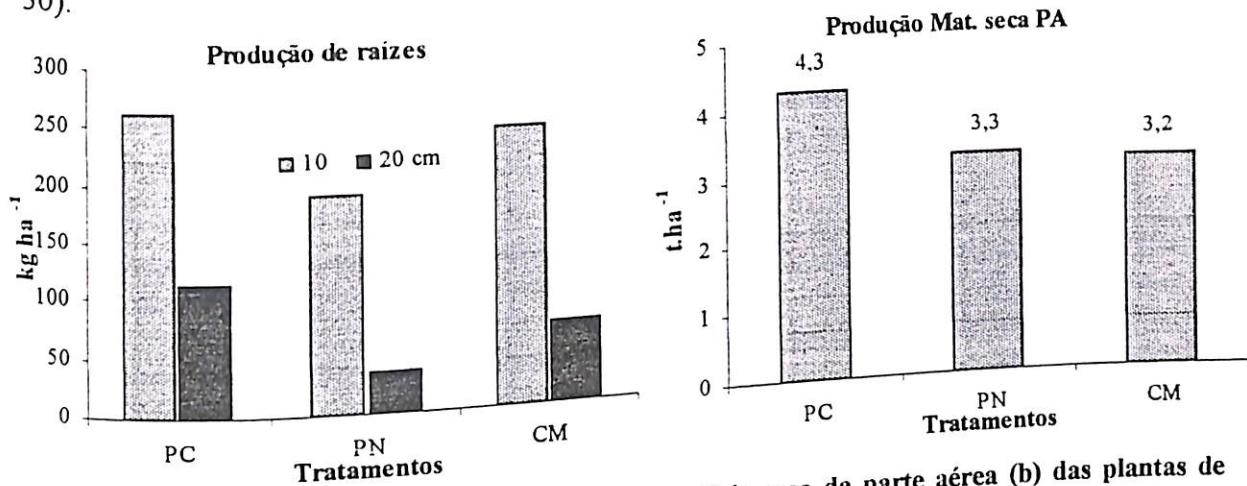


Figura 30. Peso seco de raízes (a) e produção de matéria seca da parte aérea (b) das plantas de pimentão. PC – plantio convencional, PN – plantio em nível, CM – cultivo mínimo.

A relação da massa seca entre a parte aérea e as raízes das plantas, observada na camada de 0-20cm, mostra não ter sido esta propriedade sensível ao aumento da resistência do solo, como também observaram Rosolem et al. (1994) e Silva et al., (2002). Verifica-se que mesmo sendo o manejo CM o que apresenta maiores restrições ao desenvolvimento das raízes, com valores de R superiores ao de PN (Figura 28), os valores de matéria seca e fresca da parte aérea não se diferenciaram para ambos tratamentos, mostrando que os maiores e ligeiros decréscimos do sistema radicular para PN não apresentam relação com a parte aérea.

É controverso o efeito da compactação do solo sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas. Masle & Passioura (1987) relataram que a produção de matéria seca da parte aérea está negativamente associada à resistência do solo; o que, segundo Atwell (1990) seria decorrente do deficiente suprimento de nutrientes e, ou, com o fato de que o carbono fixado, disponível para o crescimento da parte aérea, pode ser limitado, uma vez que a demanda das raízes é alta, pois mais carboidratos são necessários para crescimento de raízes em solos compactados. Além disso, a quantidade necessária para sintetizar o mesmo comprimento de raízes é muito maior quando a raiz encontra resistência ao crescimento. Assim, numa condição, conforme a do experimento, onde não há falta de água ou de nutrientes, não seria esperado o efeito da compactação na produção de matéria seca da parte aérea. Quanto à disponibilidade de carbono, os maiores teores deste no solo foram observados nas camadas de 0-5 e 5-10 cm no tratamento CM (Figura 22) que, entretanto, registrou maior resistência à penetração a 10 cm de profundidade.

Analisando os atributos físicos das parcelas sob diferentes sistemas de preparo do solo, verifica-se que os valores da matéria seca da raiz não se relacionaram com nenhum dos atributos. Já para a quantidade de matéria seca da parte aérea, maior em PC e similar entre PN e CM, houve uma correlação ($r^2 = 0,98$) ($p < 0,05$) e ao contrário do esperado, positiva com a densidade do solo (Uhland), ou seja, maiores valores de Ds, foram diretamente proporcionais a quantidades de matéria seca da parte aérea, ocorrendo também tal comportamento em relação a macro e microporosidade, menores na camada de 10-20 cm em PN e CM. Com os teores de potássio e fósforo, houve uma correlação negativa (Anexo III), já que os maiores teores de P e K ocorrem em CM e PN, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

De acordo com Brown & Scott (1984), existe um equilíbrio funcional entre o crescimento das raízes e da parte aérea, um interferindo no outro. Assim, para isolar-se o efeito direto da compactação no crescimento da parte aérea, é necessário que ele seja avaliado antes da ocorrência do efeito secundário, causado pelo menor crescimento radicular. No presente caso, provavelmente as reduções observadas na produção de matéria seca da parte aérea foram um efeito secundário, causado pelo menor desenvolvimento radicular em profundidade.

Diante da metodologia utilizada para a avaliação das raízes de pimentão, não é possível inferir se o crescimento máximo da raiz foi limitado pela resistência do solo à penetração, o que seria expresso por uma relação negativa entre resistência e crescimento. Veen & Boone (1990) observaram que o crescimento foi inibido quando a resistência do solo alcançou 4,2 MPa e o potencial de água -1,7 MPa. No trabalho citado, em resistências da ordem de 1,5 MPa o crescimento das raízes principais já era quase que completamente inibido, mas as raízes seminais mostraram maior capacidade de penetração, tendo o crescimento sido completamente inibido em resistência do solo à penetração acima de 6,0 MPa. Entretanto, a resistência crítica que impede o crescimento radicular pode variar em função do teor de argila do solo (Gerard et al., 1982).

4.5. Produtividade

A produtividade dos diferentes tratamentos variou em função do sistema de manejo de solo, e, de modo geral, as parcelas com maior mobilização do solo, proporcionaram maiores produtividades que as demais, principalmente no cultivo do pimentão (Figura 31). Resultados semelhantes foram obtidos por Marques & Bertoni (1961) citados por Silva et al. (1999), que conseguiram produções mais elevadas no preparo do solo com maior revolvimento. Já Zaffaroni et al. (1991), Silva (1992) e Silveira et al. (1994) não verificaram diferenças significativas em diferentes sistemas de preparo do solo.

Para explicar a diferença na produtividade média da cultura, também se procurou analisar a disponibilidade de nutrientes entre os tratamentos, contudo se observou que os teores dos nutrientes avaliados estavam em níveis adequados no solo das parcelas com cultivo (Freire et al. 1988). Isso estaria indicando que provavelmente os fatores físicos estão limitando uma maior taxa de absorção de nutrientes em profundidade. Rosolem (1994) observou que a absorção de nutrientes pela planta não foi significativamente afetada pela compactação do solo, seguindo as mesmas tendências observadas para a produção de matéria seca.

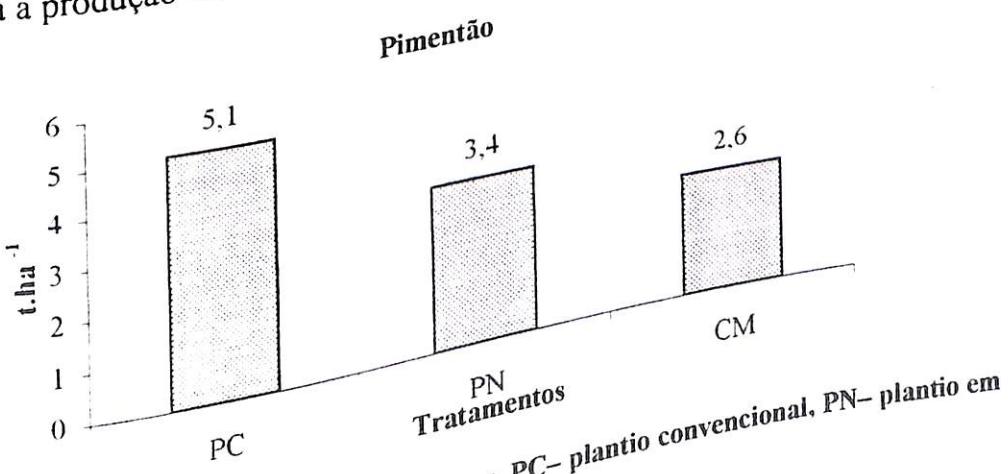


Figura 31. Peso seco do fruto nos diferentes tratamentos. PC- plantio convencional, PN- plantio em nível, CM- cultivo mínimo.

Os maiores valores de resistência à penetração, verificados para a parcela CM, poderiam estar diminuindo o fluxo difusivo dos nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo, que se constituem nas seções onde há maior perda de umidade. A taxa de evaporação na região em estudo é elevada, o que diminui sensivelmente a disponibilidade de água na superfície do solo. Portanto, os tratamentos que incorporam os nutrientes em maiores profundidades tendem a facilitar a sua absorção pelo sistema radicular, em consequência aumentando a produtividade.

Os teores de P determinados correlacionaram negativamente ($p<0,05$) com a produtividade ($r^2=-0,99$) (Anexo III). Como o P é considerado o nutriente menos disponível no ecossistema, em virtude da pequena ocorrência de minerais fontes (Brasil, 1972), os sistemas de manejo que incorporam o P em maiores profundidades, onde a umidade mais elevada favorece a absorção do P pelas raízes, tendem a apresentar melhores produções (Ruiz, 1986; citado por Silva et al. 1999).

Santos (2001), trabalhando na mesma área experimental, em período anterior a esse estudo, observou que a produtividade no cultivo mínimo foi estatisticamente inferior a dos outros sistemas de preparo do solo, principalmente no ciclo do tomate, onde ocorreu uma redução de quase 50% na produtividade. Isso demonstra que apesar da elevada fertilidade nesse tratamento e menores perdas de solo por erosão, a produtividade não alcançou os níveis obtidos no modelo de preparo convencional (PC), conforme utilizado na região. Turetta (2000), analisando propriedades físicas e químicas nas mesmas parcelas, também observou uma leve compacidade em subsuperfície, atribuída a usos anteriores à instalação do experimento, na parcela sob cultivo mínimo, que reduziu a produtividade nesse sistema de preparo de solo, apesar de as diferença entre os tratamentos com cultivo não serem significativas estatisticamente.

Desta forma, os resultados obtidos indicam que para a implantação de sistemas de manejo conservacionista, com maior eficiência em termos de produtividade das culturas, o manejo da adubação e o uso de culturas de cobertura em rotação com as oleráceas deve ser considerado no ambiente estudado.

5. CONCLUSÕES

1) Os atributos físico-hídricos estudados indicam que a distribuição de água no solo, expressa pela condutividade hidráulica e pela TIB (Taxa de infiltração básica), se dá de forma consistente com a distribuição de macro e microporos. Quanto à densidade do solo (Kopecky), esta não se apresentou como bom indicador de modificações no solo em função do tipo de preparo do solo ou da ausência de cobertura vegetal.

2) O sistema de preparo convencional e a parcela sem cobertura vegetal, ao promoverem maior exposição do solo aos impactos das gotas da chuva, geraram mais erosão, com maior perda de solo e água por escoamento superficial. Na média, as perdas de solo em cultivo mínimo foram de 4,4 e 4,8 t ha⁻¹ para os anos de 2000 e 2001, ou seja, cerca de 23% e 60% menores que os sistemas PN e PC para o primeiro ano e 44% e 182% respectivamente para o segundo ano. Na parcela sem cobertura, as perdas de solo foram da ordem de 28,3 e de 27,0 t ha⁻¹ em 2000 e 2001, respectivamente.

3) Quanto aos atributos químicos do solo, maiores valores de pH e menor teores de Al e maiores de Ca, Mg, P e K foram encontrados em plantio em nível (PN) e cultivo mínimo (CM) em relação ao plantio convencional (PC). O teor de carbono orgânico foi maior na parcela CM e menor em SC, com os maiores teores na profundidade de 0-5 cm, para todas as áreas.

4) Quanto à resistência do solo à penetração (R), para a profundidade de 20 cm, a mobilização do solo no preparo convencional propiciou um menor valor de R em comparação aos demais sistemas. As diferenças entre tração mecanizada e animal, provavelmente estão relacionadas à profundidade e ao modo de ação de cada implemento e tipo de tração.

5) Para a cultura do pimentão, o diâmetro das raízes é diretamente proporcional à intensidade de preparo do solo, já que para o plantio convencional foram encontrados os maiores percentuais de raízes de maior espessura (>1mm); enquanto que os maiores níveis de resistência à penetração em profundidade em CM e PN propiciaram o maior desenvolvimento de raízes finas (< 1mm).

6) O uso de parcelas experimentais para avaliação de perdas de solo por erosão e de alterações em atributos edáficos parece ser uma boa técnica para avaliar a sustentabilidade de sistemas agrícolas, uma vez que o volume de sedimentos obtido expressa de forma conjunta às limitações e benefícios decorrentes de cada sistema de preparo e grau de cobertura do solo.

7) De uma forma geral, o sistema de preparo em nível, com tração animal apresentou melhores condições para o cultivo de oleráceas, em termos de sustentabilidade do sistema, com menores perdas por erosão e mantendo a produtividade agrícola, seguido pelo cultivo mínimo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos dados avaliados, verifica-se que o sistema de manejo plantio convencional obteve os melhores níveis de produtividade, como reflexo direto dos melhores atributos físico-hídricos em relação aos outros sistemas testados; o que comprova a importância destas propriedades como determinantes do desenvolvimento vegetal. Contudo, o sistema apresentou os maiores índices de erosão e perdas de nutrientes, com implicações na sustentabilidade do sistema agrícola como um todo.

E importante salientar nesse estudo, que o sistema de preparo convencional utilizado, refletiu parcialmente o sistema convencional adotado regionalmente, de maneira a não induzir a uma conclusão errônea de ser este o melhor sistema de manejo, já que apresentou a maior produtividade. São de conhecimento público os prejuízos que este sistema vem causando aos produtores e ao meio ambiente, evidenciados principalmente pela rápida queda na produtividade das terras na região.

A adoção de práticas conservacionistas no município de Paty do Alferes (RJ) é de fundamental importância, devido às características topográficas da região, a intensa produção de olerícolas e o sistema fundiário dominante.

Espera-se que com a permanência dos preparamos conservacionistas propostos e/ou a introdução de novos componentes como a rotação de culturas com adubos verdes, a produtividade venha a atingir os níveis desejados nos sistemas CM e PN, com melhor relação custo/benefício pela menor intensidade de aplicação de agroquímicos e, principalmente, pela redução dos impactos associados ao processo erosivo. Recomenda-se uma continuidade de trabalhos na região, para avaliar se os preparamos conservacionistas podem apresentar resultados compensadores, quanto a quantidade e qualidade de alimentos produzidos, como já se observa para a proteção ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB' SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil: Geomorfologia, São Paulo, v. 20; 1970. 26 p.
- ABRAÃO, P.U.R., GOEPFERT, C.F., GUERRA, M., ELTZ, F.L.F., CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo Distrófico. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.3, n.3, p.169-72, 1979.
- ALBUQUERQUE, A.W. de; CHAVES, I.B. de; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo Eutrófico de Caruaru (PE). R. Bras. Ci. Solo, 18:279-283, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; LARSON, W.E.; HOLT, R.F. & NELSON, W.W. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington, 1966. 22p., U.S. Department of agriculture. (Conservation Research Report, 7)
- ALVARENGA, C.R.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. R. Brás. Ci. Solo, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.
- ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. R. Bras. Ci. Solo, 19:127-132, 1995.
- ARAUJO FILHO, J.C.; RIBEIRO, M.R. Infiltração da água em cambissolos do baixo irecê. R. Bras. Ci. Solo, 20:363-370, 1996.
- ARAUJO, J.C.de.; RIBEIRO, M.R. Características de Cambissolos do baixio de Irecê, BA, e suas relações com a infiltração e disponibilidade de água. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 18:521-527, 1994.
- ATWELL, B.J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering. New Phytologist, Cambridge, Grã-Bretanha, v.115, p.29-35, 1990.
- AZENEGASHE, O.A.; ALLEN, V.; FONTENOT, J. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soil and plants. Agronomy Journal, Madison, v.89, p.380-386, 1997.
- BALASTREIRE, L. A. Máquinas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 308p
- BARBER, S.A. Relation of plant root growth to soil nutrient availability. J. Pl. Nutr., New York, 10:1309-1315, 1987.
- BARLEY, K.P. & GREACEN, E.L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoot. Adv. Agron., New York, 19:1-47, 1967.
- BARUQUI, F.M.; FERNANDES, M.R. Práticas de conservação do solo. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, p.55-69, 1985.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F. & TISSELLI FILHO, O. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja cultivar Santa Rosa. Bragantia, 35:537-248, 1976.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 23:687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.
- BERTOL, I. Comprimento crítico do declive para preparamos conservacionistas de solo. Porto Alegre, UFRGS, RS, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)

- BERTOL, I. Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparamos do solo e rotação de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 18:267-271, 1994.
- BERTOL, I. Relações da erosão hídrica em métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduo cultural de trigo. Porto Alegre, UFRGS, 1986. 158p. (Tese de Mestrado)
- BERTOL, I., SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ciência Rural, Santa Maria, v.30, n.1, p.91-95, 2000.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparamos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de resíduo cultural de trigo. R. Bras. Ci. Solo, 11:187-192, 1987.
- BERTOLINI, D; LOMBARDI NETO, F. Manual técnico de manejo e conservação do solo e água, v.I, CATI, São Paulo, 1993. 15 p. (Manual nº 38)
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. BENATTI JUNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas. IAC, 1975. 25p. (Boletim técnico, 21).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba. Livroceres, 1985. 368p
- BEZERRA, J.E.S. Influência de sistemas de manejo de solo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-amarelo Câmbico distrófico, fase terraço, e sobre a produção de milho (*zea mays*, L.). Viçosa: UFV, 1978. 61p. Tese de mestrado.
- BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. Advances in Agronomy, v. 51, University of Kentucky, 1993. p.33-78
- BOHM, W. Methods of studying root systems. New York: Springer-Verlag, 1979. 189p.
- BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÉA, G.F.; BORGES, E.V.S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. Pesq. Agropec. Brás., Brasília, v. 34, n.9, p.1663-1667, set. 1999.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. Ceres, 35: 553-568, 1988.
- BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- BRASIL, F.C. da. ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS RADICULARES DE UMA PASTAGEM DE *Brachiaria humidicola* COM AUXÍLIO DE ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Tese de Mestrado, 2001. 137 p.
- BRAUNACK, M. V. DEXTER, A. R. Soil aggregation in the seedbed: A review. I. Properties of aggregates and beds of aggregates. *Soil Tillage Res.*, v.14, p.259-79, 1989.
- BRITO, L.T de l.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M.; SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.20, n.3, p.503-507, 1996.
- BROWN, D.A.; SCOTT, H. don. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. In: BARBER, S.A.; BOULDIN, D.R. (Ed.) Roots and

- water influx, and plant growth. Madison: Soil Science Society of America, 1984. chap.6, p.101-136.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. & DILLARD, A.L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1744-1747, 1990.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.F. Correlation of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.43, n.2, p.205-217, 1997.
- CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: Camargo, O. A., Alleoni, L. R. F, 1997. 132p.
- CAMARGO, O.A. de.; Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:99-104, 1997.
- CANNELL, R. Q.; HAWES, J.D. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil & Tillage Research*, 30(2-4)1994: 245-282
- CANTALICE, J.R.B.; MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco R. Bras. Ci. Solo, 17:275-281, 1993.
- CARVALHO JÚNIOR, I. Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos. Viçosa, MG: UFV, 1995. 83p. (Tese de Mestrado).
- CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S. de.; COSTA, L.M. da. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho amarelo cãmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras*, v.34, n.2, p.257-265, jun.1999.
- CARVALHO, M. J. G. P. R. et al. Notas sobre a Terminologia a Usar em Sistemas de Mobilização do Solo. *Revista Ciências Agrárias*, v. XIV, nº 4, 1991.
- CASTRO, A.G & VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. *R. bras. Ci. Solo*, Viçosa, 21:419-426, 1997.
- CASTRO, O.M.; LOMARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA I.C.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja\trigo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:293-297, 1986.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *R. Bras. de Eng. Agric. e ambiental*, v.5, n.2, p.254-258, 2001.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÈ, J.L.I.; FERNANDES, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:267-270, 1985.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1981. 346p. (Ph.D Thesis)
- COGO, N.P.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope length limits for conservation tillage. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.20, n.3, p.475-483, 1996.

- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:368-373, 1984.
- CORRÊA, J.C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (Typic Acrortox) do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo do solo. *Pesq. Agrop. Bras.*, 20:1381-1387, 1985.
- COSTA, J.B. Caracterização e constituição do solo. 29. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979.
- COSTA, J.B. Caracterização e constituição do solo. 29. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979. 527p.
- D'AGOSTINI, L. R. Erosão: o problema mais que o processo. UFSC, Florianópolis, 1999. 131p.
- D'AGOSTINI, Luiz R. Epistemologia da Erosão: Da Crítica à Proposição. UFSC/CCA/ENR, Imprensa Universitária da UFSC, Florianópolis, 1995. 101p.
- DAKER, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem. 3.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1970. v.3, 453p.
- DANIEL, L. A.; MARETTI, H. J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: IV Ciclo de Estudos sobre Mecanização Agrícola. Campinas, Fundação Cargil, 1990, 265 p.
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:471-477, 1993.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-709, 1999.
- DEDECEK, R.A.; RESCK, D.V.; FREITAS JR., E. Perdas de solo, água e nutrientes pôr erosão em latossolo vermelho-escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:265-272, 1986.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Til. Res. Amsterdam*, 8:253-263, 1986.
- DERPSCH, Rolf et al. (identifique autores) Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. GTZ/IAPAR, Londrina, 1991. 272p.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.11, n.1, p.199-238, 1988.
- DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. *Pl. Soil*, Dordrecht, 98:303-312, 1987.
- DICKERSON, B.P.; Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi. *SSSA. Journal*, Madison, v.40, n.6, p.965-966, nov/dez. 1976.
- DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, 36:235-240, 1981.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: J.W. DORAN et al. Methods for assessing soil quality. *SSSA Spec. Publ.* 49. SSSA, Madison, WI, 1996. p 25-37.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: J.W. DORAN et al. Defining soil quality for a sustainable environment. *SSSA Spec. Publ.*, 35. SSSA, Madison, WI, 1994. p. 3-21.
- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHN, W. Penetration resistance and root growth of oats intilled and untrilled loss soil. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, 3:261-275, 1983.

- 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. R. Bras. Ci. Solo, 13:259-267, 1989.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. 2^a edição, Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA/Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, EMBRAPA - Produção de informações, 1999. 412 p.
- EMBRAPA/CNPS. Levantamento semidetalhado dos solos do município de Paty do Alferes e sub bacias do Córrego do Saco - Rio Ubá, RJ. Rio de Janeiro, 1998. cd-rom.
- EMBRAPA/CNPS. WORKSHOP NACIONAL DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES TROPICAIS DE RELEVO ACIDENTADO, Paty do Alferes, RJ, 1997. Resumos... Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1998 b. cd-rom.
- FAO. (Roma, Itália). La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma, 1967. 207p.
- FAO, 1986.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. & MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). R. Bras. Ci. Solo, 7:329-333, 1983.
- FERNANDES, M.R. Estudos pedológicos em topossequências na microbacia do córrego da Cachoeira, Paty do Alferes (RJ). Seropédica, RJ. UFRRJ, 1998, 204 p. (Tese de Doutorado)
- FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; THIMOTEU, C.M. de S.; ROsolem, C.A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubaçāo fosfatada. Científica, São Paulo, v. 23, n.1, p.117- 132, 1995.
- FERREIRA, M.M. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros. Viçosa: UFV, 1988. 79p. (Tese de Doutorado)
- FERRERO, A.F. Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. Soil Tillage Res. 19:319-329. 1991.
- FOSTER, G.R.; & MAYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water. In: Soil Erosion and Sedimentation. St. Joseph, ASAE, 1977. p.1-13. (Publication, 4-77)
- FOSTER, G.R; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulch of erosion control. Trans. ASEA, St. Joseph, 25:940-947, 1982.
- FREIRE, L.R.; ALMEIDA, D.L. de. In D.L. de ALMEIDA et al. Manual de adubaçāo para o Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí, Editora UFRRJ, 1988. 179 p. (Coleção Universidade Rural. Ciências agrárias; nº 2).
- FREITAS, P.L. & CASTRO, A.F. Estimativa das perdas de solo e nutrientes por erosão no estado do Paraná. B. Inf. SBCS, 8:43-52, 1983.
- GALLARDO, D.J. Usos y conservacion de suelos. Geología ambiental. Serie ingeniería geoambiental. Instituto tecnológico geominero de Espanā, Madrid, 1988.
- GANDULLO, G. J.M. Suelos y erosión. Seminario sobre erosión: Evaluacion y actuaciones para su control. CEDEX-MPOU, Madrid, 1988.
- GERARD, C.I.; SEZTON, P.; SHAW, G. Physical factors influencing on soil strength and root growth. Agronomy Journal, Madson, v.74, p.875-879, 1982.
- GLINSKI, J., LIPIEC, J. Soil physical conditions and plant roots. Boca Raton: CRC Press, 1990. 250p.

- GRABLE A.R., SIEMMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32: 180-186, 1968.
- GROHMANN, F. Compacidade. In: MONIZ, A.C. (Coord.), *Elementos de Pedologia*. São Paulo, 1972. p. 93-99.
- GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. *Erosão e conservação dos solos – Conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.
- GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação de solo na cultura do arroz de terras altas. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.36, n.4, p.703-707, 2001.
- HAEBERLIN, Irma Boquero. Una Metodología para Estimar el Costo IN SITU de la Erosion. *Quadernos de Agroindustria y Economia Rural* n° 31, 1993 p. 41-56
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. BocaRaton: CRC, 1998. p.167-179.
- HENKLAIN, J.C.; GUIMARÃES, M.F.; VIEIRA, M.J & MEDINA, C.C. Efeito do preparo do solo no desenvolvimento radicular. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL*, 1., Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos. Ponta Grossa, Instituto Agronômico do Paraná, 1996. p. 103-105.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:145-154, 1999.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de dourados (MS). *R. Bras. Ci. Solo*, 21:667-676, 1997.
- HILL, R.L. HORTON, R. & CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49:1264-1270, 1985.
- HILL, R.L. Long-term conventional tillage and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 54(1):161-166, 1990.
- HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. San Diego, Academic, 1982. 264p
- HORTON, R.; ANKENY, M.D.; ALLMARAS, R.R. Effects of soil compaction on soil hydraulic properties. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van (Ed.). *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.141-165. (Developments in Agricultural Engineering, 11).
- IBGE, 2000. Instituto Brasileiro de geografia e estatística. www.sidra.ibge.gov.br/ agricultura/ produção agrícola municipal/ quantidade produzida/tabela1612
- IMHOFF, S; SILVA, A.P. da; TORMENA, C.A. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35(7):1493-1500, 2000.
- ISENSEE, A. R. & SADEGUI, A. M. Impact of tillage practice on runoff and pesticide transport. *J. Soil Water Cons.*, 48:523-527, 1993.
- ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Sub soil compaction effects on crop in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil Til. Res.*, Amsterdam, 60:153-161, 2001.
- JONES, C.A.; BLAND, W.L.; RITCHIE, J.T. & WILLIAMS, J.R. Simulation of root growth. In: HANKS, J. & RITCHIE, J.T., des. *Modeling plant and soil systems*. Madson, American Society of Agronomy, 1991. p.91-123.

- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Viçosa, MG: UFV, 1987. 37p. Tese de Mestrado.
- KEISLING, T.; BATCHELOR, J.T.; PORTER, O.A. Soybean root morphology in soils with and without tillage pans in the lower Mississipe River Valley. *J. Plant Nutr.*, 18:373-384, 1995.
- KEMPER, W. D., STEWART, B. A., PORTER, L. K. Effects of compaction on soil nutrient status. In: BARNES, H. K., CARLETON, W. M., TAYLOR, H. M., THROCKMORTON, R. I. VANDEN BERG, G.E. Compaction of agricultural soils. Michigan: The American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.292-297.
- KER, J.C; LANI, J.L; RESENDE, M. & REZENDE, S.B. Solos dos mares de morros: características, uso e degradação. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 1997, Cd Room
- KIEHL, E.J.; KINJO, T.; MARCOS, Z.Z. Caracterização e interpretação das propriedades do solo. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, Departamento de solos e Geologia, 1972. 119p.
- KIHEL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Agrônoma Ceres, 1979. 262p.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas pôr métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:395-401, 1995 (a).
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo e da localização do adubo fosfatado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.403-408, 1995 (b).
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão após oito anos de plantio direto. Piracicaba : ESALQ, 1998. 179p. (Tese de Doutorado)
- KUNZMANN, M.; PRINZ, D.; PALMIERI, F.; NÚÑEZ, J.E.V.; GOUVEIA, R.; COELHO, R.G. Evaluation of soil losses for different soil management practices in the municipality of Paty do Alferes, RJ - An aspect of the DESUSMO project. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES MONTANHOSAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS COM ESPECIAL REFERÊNCIA PARA A AMÉRICA LATINA, Rio de Janeiro, 1998. Resumos. Rio de Janeiro, 1998. p.29
- LAL, R. et al. Conservation Tillage in Sustainable Agriculture. In: EDWARDS, C.A. et al (ed.). Sustainable Agricultural Systems. Soil and Water Conservation Society, Iowa, 1990. p. 203-223
- LARSON, W.E.; GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, 1., Ankeny, 1973. Proceedings, Ankeny, 1973. p. 13-22.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. Ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1996. 83 p.
- MACHADO, E.F. Frações orgânicas e agregação do solo sob cultivo de oleráceas em Paty do Alferes (RJ). Seropédica-RJ: UFRRJ, 2002. 81p.
- MACHADO, J. A.; BRUN, A. C. R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 2:81-84, 1978.
- MANTOVANI, E. C. Compactação do solo, Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 13 (147): 52-5. 1987.

- MARGOLIS, E.; MELLO NETTO, A.V. Observações gerais sobre as perdas por erosão na Zona do Agreste de Pernambuco. Recife: IPA, 1977. 19p. (Boletim técnico, 74).
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press, 1986. 674p.
- MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, V. de P.; MARQUES JUNIOR, J. Efeito da densidade do solo na erosão de um Latossolo Vermelho devido ao tráfego. Eng. Agric., Jaboticabal, v.21, n.1, p.23-31, jan. 2001
- MASLE, J. & FARQUHAR, G.D. Effects of soil strength on the relation of water-use efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. Plant Physiol., 86:32-38, 1988.
- MASLE, J. & PASSIOURA, J.B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. Aust. J. Plant Physiol., 14:643-656, 1987.
- MAYER, L. D. et al. Experimental Approaches for Quantifying the Effect of Soil Erosion on Productivity. IN: STEWART, A; FOLLET, R.F. (Ed.). Soil Erosion and Crop Productivity. American Society of Agronomy, Madison, 1985. p. 213-234.
- MENEZES, C.E.G. Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral-RJ. Seropédica-RJ, UFRRJ, 1999. 186p. (Dissertação de Mestrado)
- MEROTTO JUNIOR, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.197-202, 1999.
- MEYER, L.D. & WISCHMEIER, W.H.. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Tras. ASAE, St. Joseph, 12 : 754-758, 762, 1969.
- MOKMA, D.L. & SIETZ, M.A. Effects of soil erosion on corn yield on Marlet Soils in south-central Michigan. J. Soil Wat. Conserv., Ankeny, 47:325-327, 1992.
- MORAES, M.H. & BENEZ, S.H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. Revista Eng. Agri., Jaboticabal., 16(2):31-41, 1996.
- MOURA FILHO, W., BUOL, S.W. Studies of Latosol Roxo (Eutrastox) in Brazil: micromorphology effect on ion release. Experientiae, 21:161-177, 1972.
- MOURA, A.A.B. Efeito de sistemas de manejo na cultura do milho (*Zea mays, L.*) e sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-amarelo Câmbico distrófico, fase terraço. Viçosa: UFV, 1981. 94p. (Tese de Mestrado)
- MÜLLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. R. Bras. Ci. Solo, 25:531-538, 2001.
- MUNN, D.A.; McLEAN, E.D.; RAMIREZ, A.; LOGAN, T.J. Effect of soil cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37:428-431, 1973.
- MURPHY, W.M.; BARRETO, A.D.; SILMAN, J.P.; DINDAL, D.L. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in a smooth-stalked meadow grass dominant white clover sward. Grass and Forage Science, Oxford, v.50, p.191-194, 1995.
- MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, 7:95-102, 1983.

- NGUYEN, M.L., SHEATH, G.W., SHITH, C.M. Impact of cattle treading on hill land
2. Soil physical properties and contaminant runoff. N. Z. J. Agric. Res., 41:279-
290, 1998.
- NOVAIS, R. F., SHYTH, T. J. Fósforo em solo e em condições tropicais. Viçosa: UFV,
DPS, 1999. 399p.
- NOWAK, P. J. et al. Economics and Soil Perspectives on T Values Relative to Soil
Erosion and Crop Productivity. IN: STEWART, A; FOLLET, R.F. (Ed.). Soil
Erosion and Crop Productivity. American Society of Agronomy, Madison, 1985.
p. 119-132
- NUERNBERG, N.J.; STAMMEL, J.G. & CABEDA, M.S.V. Efeito de sucessão de
culturas e tipos de adubação em características físicas do solo da encosta basáltica
sul-rio-grandense. R. Bras. Ci. Solo, 10:185-190, 1986.
- NÚÑEZ, J.E.V. Acúmulo e perdas por erosão de nutrientes e metais pesados afetado
pelo método de preparo do solo. UFRRJ, Seropédica-RJ, 1998. 126p.
(Dissertação de Mestrado)
- NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. do.; KUNZMANN, M.; PALMIERI,
F. Perdas de fósforo por erosão afetado pelo método de preparo de solo na
microbacia de Caetés, Paty do Alferes, RJ. In: WORKSHOP NACIONAL DE
AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES TROPICais DE RELEVO,
Paty do Alferes, RJ, 1997. Resumos... Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1998.
cd-rom.
- OLIVEIRA, E.F.; BAIRRÃO, J.F.M.; CARRARO, I.M.; BALBINO, L.C. Efeito do
sistema de preparo do solo nas suas características físicas e químicas e no
rendimento de trigo e soja em Latossolo Roxo. I. Resultados obtidos em 1982 a
1988. Cascavel: OCEPAR, 1990. 54p. (OCEPAR. Resultados de Pesquisa, 4).
- OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.;
SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S. & SAGRILLO, E. Influência de sistemas de preparo
do solo na produtividade da mandioca. R. Bras. Ci. Solo, 25:443-450, 2001.
- OLIVEIRA, T.S. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades
físicas e químicas de quatro latossolos brasileiros. Viçosa, MG: UFV, 1992. 104p.
(Tese de Mestrado)
- OLSON, K.R.; LAI, R. & NORTON, L.D. Evaluation of methods to study soil
erosion-productivity relationships. J. Soil Wat. Conserv., Ankeny, 49: 586-590, 1994.
- PAIVA, P.L.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. & FAQUIN, V. Efeito do manejo
do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases
trocáveis. Ci. Agrotec., 21:35-43, 1997.
- PASSIOURA, J.B.; GARDNER, P.A. Control of leaf expansion in wheat seedlings
growing in drying soil. Australasian Journal of Plant Physiology, Melbourne, v.17,
p.149-157, 1990.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in
Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Soil Sci. Soc. Am.
J. Madison, 46:1201-1207, 1982.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS
JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica a
penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras.
Ci. Solo, 25:521-529, 2001.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Formas extraíveis de ferro em solos do estado do Rio
de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23:371-382, 1999.

- PEREZ FILHO, A.; TETESLAF, R.; TERESO, M.J.A. Efeito da irrigação na compactação de Latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola intenso. Engenharia Agrícola, Sorocaba, 13:39-56, 1993.
- PHILIP, J.R. The theory of infiltration: 5. the influence of initial moisture content. Soil Sci., Baltimore, 84:329-339, 1957.
- PROFFITT, A.P.B., JARVIS, R.J., BENDOTTI, S. The impact of sheep trampling and stocking rate on the physical properties of a Red Duplex soil with two initially different structures. Aust. J. Soil Res., 46: 733-47, 1995.
- RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; McGARRY, D.; PLAYFORD, C. Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. Soil Til. Res., Amsterdam, 61:157-166, 2001.
- RANEY, W.A. & ZINGG, A.W. Principles of tillage. In: USDA yearbook of agriculture. Washington, U.S. Department of agriculture, 1957. p.13-22.
- REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo, 1995. Resumos. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1995. p.127-130.
- REINERT, D.J.; MUTTI, L.S.M.; ZAGO, A.; AZOLIN, M.A.D. & HOFFMANN, C.L. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho-amarelo. R. Cent. Rur., Santa Maria-RS, 14(1):19-25, 1984.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, p.3-18, 1985.
- RESENDE, M. Pedologia. Viçosa: UFV, 1982. 100 p.
- RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S.B., CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 3. ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 338p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa. Neput, 1997. 367p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. MEC/ESAL/POTAFOS, Brasília, 1988. 81p.
- RESENDE, S.B. de; RESENDE, M. Solos de Mares de Morros: ocupação e uso. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 261-288.
- RIBEIRO, M.A.V. Respostas da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade. Lavras: UFLA, 1999. 71p. (Tese de Doutorado)
- RITCHIEY, K.D., SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. Soil Sci., The Hague, 133:378-382, 1982.
- ROBINSON, D.A.; PHILLIPS, C.P. Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils from central and southern Italy. Soil Til. Res., Amsterdam, 60:1-9, 2001.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim técnico, 8)
- ROSOLEM, C.A.; FURLANI JR, E.; BICUDO, S.J.; MOURA, E.G.; BULHÕES, L.H. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. R. Bras. Ci. Solo, 16:115-120, 1992.
- ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de Plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. Pesq. Agropec. Bras, v.34, n.5, p.821-828, maio 1999.

- ON, J.C., MIELNICZUC, J. Relações entre sistema de cultivo e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul - RS. R. Bras. Ci. Solo, 19:313-319, 1995.
- SAMPAIO, G.V.; GALVÃO, J.D.; FONTES, L.A.N.; FIGUEIREDO, M. de S.; CARDOSO, A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão. Revista Ceres, Viçosa, v.36, p.465-482, 1989.
- SANTOS, F.S. dos. Contaminação de um agroecossistema por metais pesados em função do uso de agroquímicos em diferentes manejos agrícolas, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2001. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. & LHANMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com a cevada.). R. Bras. Ci. Solo, 19:449-454, 1995.
- SCHICK, J. Erosão hídrica em cambissolo húmico álico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo de solo. Lages, Centro de Ciências Agroveterinárias- UDESC -SC, 1999. 114p. (Tese de Mestrado).
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. R. Bras. Ci. Solo, 24:427-436, 2000. (a)
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 24:437-447, 2000. (b)
- SCHWARZ, R.A. Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das missões - RS. Porto Alegre, UFRGS - RS, 1997. 130p. (Tese de Mestrado).
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21:287-291, 1997.
- SENTÍS, P.I. Uso , manejo y degradacion de suelos en América Latina: situacion actual y perspectivas de futuro. XII Congresso Latinoamericano de Ciência del suelo, Salamanca, Espanha, 1993.
- SHAXSON, T. F. Produção de proteção integradas em microbacias. p.. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; FREITAS, S. S., ed. A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas: SBCS, p.263-271, 1988.
- SIDIRAS, N; DERPSHC, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). R. Bras. Ci. Solo, 7:103-106, 1983.

- SILBERBUSCH, M.; HALLMARK, W.B. & BARBER, S.A. Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake of soybean. Comm. Soil Sci. Plant Anal., New York, 14:287-296, 1983. 673p.
- SILVA, A. J.N. da & RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e químicos. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 21: 677-684, 1997.
- SILVA, A.B. da; RESENDE, M., SOUSA, A.R. de.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no agreste pernambucano. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 34(2):299-307, 1999.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-escuro ao longo de uma transeção. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 13(1):1-5, 1989.
- SILVA, D., da.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F; SCHEAFER, G.R., AMORIM, R.S.S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuvas e porcentagens de cobertura num Podzólico-Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. Eng. Agric., Jaboticabal, v.21, n.1, p.12-22, jan. 2001.
- SILVA, G.P., NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., BARROS, N.F. Respostas de espécies de gramíneas forrageiras a camadas compactadas de solo. R Ceres, 39:31-43, 1992.
- SILVA, R.H. da.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. Pesq. Agropec. Bras, v.37, n.6, p.855-860, jun.2002.
- SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. Pesq. Agropec. Bras, 36(10):1269-1275, 2001.
- SILVEIRA, P.M.; SILVA, S.C.; SILVA, O.F. & DAMACENO, M.A. Estudos de sistemas agrícolas irrigados. Pesq. Agropec. Bras., 29:1243-1252, 1994.
- SILVEIRA, P.M; STONE, L.F. Teores denutriente e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 23:387-394, 2001.
- SIQUEIRA, N.S. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, UFV, 1989. 106p. (Tese de Mestrado)
- SIQUEIRA, N.S. Efeito de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). Viçosa, UFV, 1995. 78p. (Tese de doutorado).
- SOANE, B. B. VAN OUWERKERK, C. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. Soil Tillage Res., v.35, p.5-22, 1995.
- SOUZA, L.S.; CARVALHO, F.L.C. Alterações em propriedades físicas e químicas do solo causadas por sistemas de preparo em mandioca. R. Bras. Ci. Solo, 14:39-50, 1995.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. Caracterização física em solo da unidade de mapeamento So Jerônimo-RS (Paleudult), em três sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.2, n.3, p.170-175, 1978.
- STATSOFT, INC. Statistica for Windows - computer program manual. Tulsa : StatSoft, 1999.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, 25:395-401, 2001.

- STONE, L.F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, na disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro; Pesq. Agropec. Bras, 34(1):83-91, 1999.
- SUARES DE CASTRO, F. Conservación de suelos. Madrid, Salvat, 298 p. 1959.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction: Towards a system with multiple signaling. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.30, n.2/4, p.217-243, 1994.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*zea mays*, L.) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. R. Bras. Ci. Solo, 25:725-730, 2001.
- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). Étude Gestion sols, 5:61-71, 1998.
- TAYLOR, H.M. & ARKIN, G.F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, H.M. & ARKIN, G.F., eds. Modifying the root environment to reduce crop stress. St. Joseph, Michigan, ASA, 1981. p.3-16.
- TAYLOR, H.M. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E.W. (Ed.). The plant root and its environment. Charlottesville : University Press of Virginia, 1974. p.271-291.
- TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedlings tap roots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Soil Sci., Baltimore, 96:153-156, 1963.
- TORESAN, LUIZ. Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: Uma Abordagem Multidimensional Aplicada a Empresas Agrícolas, UFSC, Florianópolis-SC, 1998. 142p. (Tese de Doutorado).
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hidrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:573-581, 1998.
- TURETTA, A.P.D. Alterações edáficas em função do manejo agrícola de oleráceas em latossolo vermelho no bioma da Mata Atlântica, Paty do Alferes-RJ. UFRJ, Seropédica-RJ, 2000. 129p. (Dissertação de Mestrado)
- URCHEI, M.A. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. Botucatu: UNESP, 1996. 150p. (Tese de Doutorado)
- VEEN, B.W. & BOONE, F.R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. Soil Til. Res., Amsterdam, 16:219-229, 1990.
- VEEN, B.W.; NOORDWIJK, M. van; WILGEN, P. de; BOONE, F.R.; KOOISTRA, M.J. Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. III. Effects on shoot growth, nitrate and water uptake efficiency. Plant and Soil, Dordrecht, v.139, n.1, p.131-138, 1992.
- VEIHMEYER, F.J., HENDRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. Soil Science, 65:487-493, 1948.
- VEPRASKAS, M.J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R. (Ed.). Plant environment interactions. New York: M. Dekker, 1994. p.263-287.
- VEPRASKAS, M.J.; WAGGER, M.G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.54, p.849-854, 1990.

- VIEIRA, M.J.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (*Glycine max* L. Merr.) em condições de chuva simulada. *R. Bras. Ci. Solo*, 2(3):209-214, 1978.
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:873-882, 1984.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto no estado do Paraná. Londrina, 1981. p.19-32. (Iapar. Circular, 23).
- VILELLA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- VOORHEES, W.B. & LINDSTRON, M.J. Long term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madisom, 48:152-156, 1984.
- VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agron. J.*, Madison, 81:294-303, 1989.
- W.W.F. – Word Wild Life – Áreas protegidas ou espaços ameaçados. W.W.F. 1999. 11p. (Série Técnica 1)
- WILLIAMS, J.R. Soil erosion effects on soil productivity: A research perspective. *J. of Soil and Water Conservation*, 36: 82 - 90, 1981.
- WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31:5-9, 1976.
- WISCHMEIER, W.H., MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Proc. Soil Sci. Soc. Am. vol. 33*, p. 131-136. 1969.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Un.*, Washington, 39:285-291.1958.
- WOORHEES, W.B.; LINDSTORM, M.J. Soil compaction constraints on conservation tillage in the northern corn belt. *J. Soil Wat. Cons. Ankeny*, 38:307-311, 1983.
- ZAFFARONI, E.; BARROS, H.H.A.; NÓBREGA, J.A.M.; LACERDA, J.T.; SOUZA JUNIOR, V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:99-104, 1991.
- ZHANG, B.; HORN, R.; BAUMGARTL, T. Changes in penetration resistance of Ultisols from southern China as affected by shearing. *Soil Til. Res.*, Amsterdam, 57:193-202, 2001.

8. ANEXOS

ANEXO I - Descrição morfológica e resultados analíticos do perfil de solo.

ANEXO II- Dados de pluviometria temperatura e erosão no período do estudo.

ANEXO III – Tabelas complementares com análise estatística dos atributos avaliados.

ANEXO I - Descrição morfológica e resultados analíticos do perfil de solo.

DESCRIÇÃO DO PERFIL

PERFIL - 15

NÚMERO DE CAMPO - PCC-15

DATA - 05.01.96

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa A moderado álico caulinitico hipoférrego ácido fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - PVlal.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Estação Experimental da Pesagro-RJ em Avelar, Paty do Alferes, RJ.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira em terço médio de encosta com 30% de declive, sob gramíneas.

ALTITUDE - 530 metros.

LITOLOGIA, CRONOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Gnaiss. Pré-Cambriano. Unidade Santo Eduardo.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos da decomposição do gnaiss.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Laminar moderada.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL - Área de experimentação agrícola.

CLIMA - Cw.

DESCRITO E COLETADO POR - Osório O.M. da Fonseca e Aroaldo L. Lemos.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap - 0 - 22 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argila arenosa; moderada média granular e em grumos; plástico, pegajoso; transição plana e abrupta.

Bwl - 22 - 68cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6); argila; moderada, média, blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa.

Bw2 - 68 - 92cm; vermelho (2,5YR 4/6); argila; fraca média blocos subangulares; muito friável, plástico, pegajoso; transição plana difusa.

Bw3 - 92 - 145cm; vermelho (2,5YR 4/8); argila; fraca média a grande blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; muito friável, plástico e pegajoso; transição ondulada gradual (145-165cm).

Tradagem - 145 - 180cm+; vermelho (2,5YR 4/8); mosqueado comuns, médios distintos, vermelho-acinzentado (10R 4/4); franco argiloso; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: Abundantes, finas, fasciculadas no Ap e muitas, finas, fasciculadas no restante do perfil.

OBSERVAÇÕES-Perfil descrito úmido.-Mosqueado do horizonte BC é proveniente da rocha.

ANEXO II – Dados de pluviometria, temperatura e erosão no período do estudo.

Pluviometria e erosão dos solos para os dois anos de estudo.

2000

Data	Chuva/mm	Parcelas			
		SC	PC	PN	CM
14/01	18,3	0,18	0,01	0,01	0,22
16/01	20,5	0,26	0,00	0,00	0,06
26/01	11	0,84	0,06	0,01	0,16
05/02	22,9	0,44	0,01	0,70	0,18
16/07	25,4	1,08	0,45	0,37	0,44
04/08	21	3,39	0,32	0,32	0,34
27/08	10,5	1,24	0,82	0,14	0,46
28/08	14,9	0,91	0,14	0,22	0,05
02/09	34,8	2,75	0,76	0,15	0,59
05/09	12	0,73	0,19	0,15	0,50
05/11	13,7	3,81	1,01	0,75	0,52
19/11	29,5	2,82	0,29	0,68	0,14
26/11	15,1	1,14	0,17	0,11	0,15
30/11	16	0,63	0,66	0,50	0,24
12/12	25,8	4,05	1,40	0,89	0,09
29/12	25	2,41	0,42	0,06	0,15
31/12	22	2,73	0,28	0,64	0,08
Total	338,4	29,41	7,0	5,7	4,4

2001

Data	Chuva/m m	Parcelas			
		SC	PC	PN	CM
03/01	17,9	0,41	0,37	0,21	0,04
04/01	13,2	0,89	0,17	0,04	0,03
31/01	24,6	2,73	1,11	0,73	0,12
09/02	13,4	0,71	0,10	0,08	0,01
06/03	15,5	1,54	0,47	0,41	0,21
08/03	37,3	1,72	1,39	0,65	0,32
10/03	111,3	3,49	5,85	2,27	1,53
28/03	18	3,53	1,11	2,24	0,76
29/03	60,8	2,56	1,06	1,70	1,14
30/03	26,5	1,63	0,34	0,10	0,12
11/04	36,2	2,09	1,29	0,89	0,48
12/05	19,9	1,31	0,21	0,12	0,06
25/09	14,3	1,14	1,95	0,97	0,51
02/10	17,8	1,83	0,43	0,25	0,09
03/10	15,3	0,99	1,16	1,00	0,23
12/11	26,2	1,37	0,52	0,13	0,06
13/11	16,1	0,36	0,05	0,03	0,01
20/11	13,1	0,64	0,08	0,13	0,13
Total	497,40	28,94	17,66	11,95	5,84

Variação da temperatura média e precipitação nos anos de estudo.

Meses	Precip. (mm)	Temp. média (°C)	Meses	Precip. (mm)	Temp. média (°C)
1998					2000
J	88,9	24,9	J	168,6	24,25
F	143,9	25,2	F	69,2	24,15
M	35,6	24,3	M	179,8	23,45
A	44,9	22,1	A	56,7	21,5
M	101,5	18,3	M	11,7	18,45
J	6,8	15,7	J	1	17,65
J	1,1	16,6	J	29,1	16,9
A	21,9	20	A	48,3	17,9
S	14,1	20,9	S	64,5	19,95
O	188,2	20,7	O	36,1	23,6
N	161,3	21,1	N	92,1	22,95
D	230,4	23,8	D	265,7	24,2
1999					2001
J	283,7	24,7	J	139,8	25
F	160,8	24,1	F	94,8	25,8
M	45,3	23,2	M	340,2	24,4
A	12,8	20,9	A	36,7	22,8
M	8,8	17,5	M	48	19,7
J	19,4	17,1	J	0	18,65
J	13,9	17,4	J	11,2	18,31
A	1	16,1	A	14,9	19,5
S	15,5	19,2	S	25,3	19,85
O	37,9	19,7	O	65,2	21,4
N	105,3	20,7	N	152,9	23,55
D	195,4	22,9	D	304,6	23,7

Teor de umidade do solo no momento de avaliação da resistência á penetração.

Tratamentos	Umidade %				
	Amostras	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-30cm
SCA	6,1	15,5	21,0	24,3	
SCB	7,5	15,6	16,4	18,2	
SCC	7,1	14,9	16,5	18,9	
PCA	13,7	15,8	18,0	19,6	
PCB	16,0	18,0	17,7	18,9	
PCC	16,7	17,3	17,3	19,1	
PNA	13,1	15,3	15,5	17,8	
PNB	14,5	15,7	15,5	18,3	
PNC	13,4	16,8	17,0	19,8	
CMA	16,7	17,5	17,8	18,6	
CMB	13,7	15,9	16,6	16,3	
CMC	11,1	13,3	14,4		

ANEXO III – Tabelas complementares com análises estatísticas dos atributos.

Coeficientes de variação da condutividade hidráulica saturada.

Rep.	Condutividade hidráulica saturada (Ks) (mm.h ⁻¹)								
	0-10 cm			10-20 cm					
	SC	PC	PN	CM	SC	PC	PN	CM	
1	64,0	85,3	1185,6	2942,7	132,2	373,2	703,7	1586,5	
2	70,4	130,1	379,6	499,0	168,5	458,5	226,0	202,6	
3	479,8	362,5	955,3	183,4	46,9	1172,8	332,7	19,2	
4	32,0	136,5	639,7	1812,5	383,8	882,8	191,9	511,8	
5	25,6	245,2	479,2	511,8	778,3	2494,9	693,0	693,0	
6	134,3	501,1	373,2	234,6	426,5	330,5	36,3	895,6	
CV %	129,2	66,2	49,9	107,8	82,9	86,6	75,8	85,6	

Análise de correlação entre os parâmetros físico-hídricos dos tratamentos avaliados.

Parâmetros	R ²	R ² ajustado	Sig. regressão	Anova
TIB DS10	0.916861E+00	0.875292E+00	0.0212	0.0425
TIB DS20	0.628501E+00	0.442752E+00	0.1036	0.2072
TIB MAC10	0.885309E+00	0.827963E+00	0.0295	0.0591
TIB MAC20	0.957368E+00	0.936052E+00	0.0108	0.0215
TIB MIC10	0.772049E+00	0.658073E+00	0.0607	0.1213
TIB VTP10	0.693506E+00	0.540258E+00	0.0836	0.1672
TIB KS10	0.318526E+00	-0.222110E-01	0.2178	*****
KS10 MAC10	0.127612E+00	-0.308581E+00	0.3214	*****
KS10 VTP10	0.440272E+00	0.160408E+00	0.1682	0.3365
KS10 DS10	0.375324E+00	0.629860E-01	0.1937	0.3874
KS20 DS20	0.201174E+00	-0.198238E+00	0.2757	*****
KS20 MAC20	0.787866E+00	0.681799E+00	0.0562	0.1124
KS20 VTP20	0.175178E+00	-0.237232E+00	0.2907	0.2453
KS10 MIC10	0.569607E+00	0.354410E+00	0.1226	0.0443
VTP10 DS10	0.913372E+00	0.870058E+00	0.0221	0.0053
VTP20 DS20	0.989487E+00	0.984230E+00	0.0026	0.1328
VTP10 MAC10	0.752107E+00	0.628160E+00	0.0664	0.3754
VTP10 MIC10	0.390175E+00	0.852619E-01	0.1877	0.3823
VTP20 MAC20	0.381501E+00	0.722510E-01	0.1912	0.0126
VTP20 MIC20	0.975050E+00	0.962575E+00	0.0063	

Legenda – TIB – taxa de infiltração básica; VTP10 e 20 – volume total de poros a 10 e 20 cm de profundidade; DS10 e 20 – profundidade; KS10 e 20 – condutividade hidráulica saturada a 10 e 20 cm de profundidade; MIC10 e 20 – microporosidade a 10 e 20 cm de densidade do solo a 10 e 20 cm de profundidade; MAC10 e 20 – macroporosidade a 10 e 20 cm de profundidade: ***** - não significantes

Correlação entre os atributos físicos, químicos e produtivos.

Variável		Correlação	T	Significância
PSPA	P	-0.9914	-3.2381	0.0753
PSPA	CAMG	-0.9996	-2.4975	0.1503
PSPA	K	-0.9477	-2.9692	0.1034
PROD	P	-0.9888	-6.6116	0.0478
PROD	CAMG	-0.9531	-3.1487	0.0979
PROD	K	-0.8220	-1.4434	0.1929
KGRAIZ	P	-0.7271	-1.0591	0.2409
KGRAIZ	CAMG	-0.8257	-1.4638	0.1908
KGRAIZ	K	-0.9551	-3.2220	0.0958
RAIZ10	Ds10	0.4611	0.5196	0.3475
RAIZ20	Ds20	-0.7270	-1.0588	0.2409
PSPA	Ds10	0.9831	5.3748	0.0586
PFPA	Ds10	0.9867	6.0664	0.0520
RAIZ10	PSPA	0.6156	0.7812	0.2889
RAIZ10	PFPA	0.5993	0.7485	0.2955
RAIZ20	PSPA	0.8611	1.6935	0.1698
PFPA	RAIZ20	0.8504	1.6166	0.1763
PROD	Ds10	0.9953	1.4726	0.0501
PROD	Ds20	-0.9983	0.9387	0.0928
PROD	PFPA	0.9663	3.7522	0.0829
PROD	RAIZ10	0.3729	0.4019	0.3784
PROD	RAIZ20	0.6863	0.9436	0.2592

Legenda- PSPA – peso seco da parte aérea; PFPA – peso fresco da parte aérea; PROD – produtividade de pimentão por hectare; Ds10 e 20 – densidade aparente do solo a 10 e 20 cm de profundidade; RAIZ10 e 20 – peso seco das raízes a 10 e 20 cm de profundidade; KGRAIZ – produtividade de raiz por hectare; P – teor de fósforo (cmol.kg); K – teor de potássio (cmol.kg); CAMG – teor de cálcio+magnésio (cmol.kg).