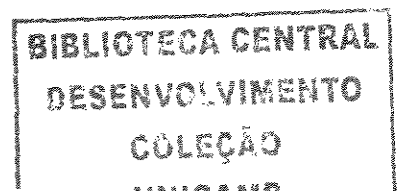


**UNIVERSIDADE ESTADUAL CAMPINAS
FACULDADE ENGENHARIA AGÍCOLA**

**MODIFICAÇÕES NO PERFIL DE SOLO SOB PLANTIO
DIRETO CONTÍNUO E COM INTERVENÇÃO MECÂNICA
SOB SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS.**

JORGE LUIZ PICCININ

**CAMPINAS
JANEIRO 2005**



PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por **JORGE LUIZ PICCININ**, aprovada pela Comissão Julgadora em 24 de fevereiro de 2005.

Campinas, 29 de março de 2006.



Prof. Dr. **CARLOS ROBERTO ESPÍNDOLA**
Presidente

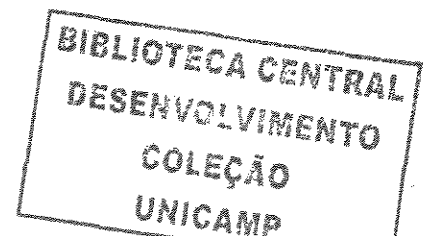
**UNIVERSIDADE ESTADUAL CAMPINAS
FACULDADE ENGENHARIA AGÍCOLA**

**MODIFICAÇÕES NO PERFIL DE SOLO SOB PLANTIO
DIRETO CONTÍNUO E COM INTERVENÇÃO MECÂNICA
SOB SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS.**

TESE SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE DOUTOR EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA NA ÁREA
DE CONCENTRAÇÃO
EM ÁGUA E SOLO.

**JORGE LUIZ PICCININ
ORIENTADOR: CARLOS ROBERTO ESPÍNDOLA**

**CAMPINAS
JANEIRO 2005**



P581m
EX
OMBO BC/ 68182
ROC No. 123-06
D X
REÇO 1100
ATA 37/04/06
CPD

R1B1D - 378100

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

P581m Piccinin, Jorge Luiz
Modificações no perfil de solo sob plantio
direto contínuo e com intervenção mecânica sob
sucessão e rotação de culturas / Jorge Luiz
Piccinin.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Carlos Roberto Espíndola.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Dinâmica do solo. 2. Solos - Manejo. 3.
Mecânica do solo. 4. Plantio direto. I. Espíndola,
Carlos Roberto. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.
Título.

Titulo em Inglês: Modification on the soil profile under continuous
no system tillage and with mechanic intervention
under succession and culture rotation

Palavras-chave em Inglês: Soil dynamic, Soil management, Soil
mechanics e Direct plantio

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Isabella Clerici de Maria, Ricardo Ralisch,
Mara de Andrade Marinho Weill e Luiz Lonardon
Foloni

Data da defesa: 24/02/2005

DEDICO

Aos meus pais Geraldo e Lila, pela vida e dedicação,

Aos meus irmãos Fernando (Lyceia) e André (Graça), simplesmente por tudo,

Aos meus sobrinhos Fernandinho, Taynara, Mariana e Rafaela, crianças pela alegria,

A minha esposa, Bia, pelo amor, incentivo e pelo *Don* da vida: meu filho..., e

A meu Filho Ian, um enviado de Deus para o sentido da vida,

E a Deus.

200608472

AGRADECIMENTOS:

A Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), Londrina – PR, pelo apoio humano, técnico e material para o desenvolvimento deste trabalho, do contrario impossível sua realização.

Ao meu orientador Carlos Roberto Espíndola pelo *Don* da confiança, amizade, humildade e conseqüentemente, sabedoria. Uma pessoa diferencial.

A Eleno Torres e Odilon Ferreira Saraiva, pesquisadores da EMBRAPA Soja, não só pelo apoio irrestrito ao desenvolvimento deste trabalho, mas por todo um aprendizado técnico e científico, pela confiança, humildade em saber ouvir, pelas longas conversas nem sempre técnicas, pela amizade. Por tudo, meu muito obrigado.

Ao José Renato Farias, pesquisador da EMBRAPA Soja, quando do início deste curso era então Diretor de Pesquisa desta Empresa, por todo seu apoio.

Aos participantes da minha banca examinadora Luis Lonardoni Foloni e Ricardo Ralisch, pela clareza e fidelidade entre o conhecimento e capacidade de avaliação.

A excelentes pessoas e Professores Luiz Antonio Daniel, Luiz Lonardoni Foloni e Cláudio Bianor Sverzut.

A Aninha e Marta da PG, pela paciência, “pelos galhos quebrados”, pessoas de bem com a vida. Valeu !!!

Aos meus amigos da EMBRAPA Soja, de laboratório, de campo, de trincheira e de umas e outras Donizete Loni, Mariluci Pires e Gustavo. Ao Ivan Rodrigues de Almeida pela ajuda valiosa, valeu. Pessoal extremamente dedicado e competente.

A equipe de apoio da área de Manejo de Solo da EMBRAPA Soja, João Ribeiro Macedo, Jorge Azevedo e Paulo Volpado pelo suporte técnico e alegria no trabalho, mesmo quando da necessidade de inúmeras trincheiras. A Dona Maria, responsável pela limpeza do laboratório, que mesmo com a sujeira que fazíamos com solo, uma pessoa sempre disposta e com bondade.

Aos amigos Marcio, Léo, Luiz Henrique, Donizete, Edi, Mariluci,, Gustavo, João, Milka, Lincoln, Eduardo, Osvaldino, Ed, Fran, Rui, Renan, Mauricio, Fabio, Juliana, Zequinha, Katinha, Mara, Paula, Sapão, Adriana, Marcelo, Carlinhos, Rafaela, Flavia, Ana Lú, André, Flor, Toth, pH, Dri, Iza, Rita, Mena, Cleuza, Ivone, Erik, Ina, Demerval, Noemia

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

*“O SOLO É UM RECURSO RENOVÁVEL,
MAS CUJA RENOVAÇÃO DEPENDE DAS
SUAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO.”*

ALAIN RUELLAN (1990)

SUMÁRIO

Lista de Quadros	VI
Lista de Figuras	VII
Lista de Fotos	VII
Resumo	IX
Abstract	X
Introdução	1
Justificativa Geral do Trabalho	4
Objetivos	4
Revisão de Literatura	6
Material e Métodos	16
Resultados e Discussões	28
Conclusões	89
Referências Bibliográficas	91

LISTA DE QUADROS	PÁGINA
1- Propriedades químicas e características granulométricas do solo em estudo.	18
2- Porcentuais de umidade do solo (%) por profundidade sob diferentes sistemas de manejo na avaliação da resistência do solo à penetração.	23
3- Produtividade de soja, trigo e milho no Estado do Paraná entre 1999 e 2004.	24
4- Cronograma de sequência de culturas e épocas dos levantamentos dos dados.	26
5- Descrição do perfil pedológico da área sob vegetação natural.	
6- Descrição do perfil pedológico sob sistema plantio direto com intervenção.	30
7- Descrição do perfil pedológico sob sistema plantio direto contínuo.	31
8- Matéria seca produzida pelas culturas comerciais e de adubação verde.	36
9- Propriedades químicas de solo coletas por horizonte sob vegetação natural, sistema plantio direto com intervenção mecânica a cada três anos e sistema plantio direto contínuo há 15.	40
10- Propriedades físicas do solo sob vegetação natural e sistemas de manejo.	45
11- Descrição das unidades estruturais em áreas sob sistema plantio direto utilizando a metodologia do perfil de manejo.	55
12- Propriedades químicas do solo sob sistema plantio direto com intervenção mecânica de três em três anos em sucessão de culturas – SPD 3 (S).	83
13- Propriedades químicas do solo sob sistema plantio direto com intervenção mecânica de três em três anos em rotação de culturas - SPD 3 (R).	83
14- Propriedades químicas do solo sob sistema plantio direto contínuo há 15 anos em sucessão de culturas – SPDC 15 (S).	84
15- Propriedades Químicas do Solo Sob Sistema Plantio Direto Contínuo há 15 Anos em Rotação de Culturas – SPDC 15 (R).	84
16- Produtividade média alcançada nas áreas pesquisadas.	96

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

1- Balanço hídrico referente ao ano de 2000, dados coletados no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA-Soja), município de Londrina, Norte do estado do Paraná.	46
2- Caracterização do Perfil de Manejo em área sob Sistema Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos cultivada em Sucessão de Culturas e Densidade de Solo, Macro, Micro e Porosidade Total coletas por Unidade Estrutural.	57
3- Caracterização do Perfil de Manejo em área sob Sistema Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos cultivada em Rotação de Culturas e Densidade de Solo, Macro, Micro e Porosidade Total coletas por Unidade Estrutura.	58
4- Caracterização do Perfil de Manejo em área sob Sistema Plantio Direto Contínuo há 15 anos cultivado em Sucessão de Culturas e Densidade de Solo, Macro, Micro e Porosidade Total coletas por Unidade Estrutural.	59
5- Caracterização do Perfil de Manejo em área sob Sistema Plantio Direto Contínuo há 15 anos cultivado em Rotação de Culturas e Densidade de Solo, Macro, Micro e Porosidade Total coletas por Unidade Estrutural.	60
6- Índice de retenção de água nos perfis sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão nas Unidades 2, 3, 4, 6 e 7 (A) e rotação nas Unidades 3, 5 6 e 7 (B) e contínuo há 15 anos em sucessão nas Unidades 2, 3, 6 e 7 (C) e rotação 3, 5, 6 e 7 (D).	73
7- Concentração de raízes nos perfis sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão (A) e rotação (B) e contínuo há 15 anos em sucessão (C) e rotação (D).	
8- Balanço Hídrico dos Anos 2003 e 2004 coletados no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), Londrina – PR..	84
9- índice de resistência a penetração no solo sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão (A) e rotação (B) e contínuo há 15 anos em sucessão (C) e rotação (D).	86

LISTA DE FOTOS

PÁGINA

- | | |
|---|----|
| 1- Escarificador tipo Cruzador Carelli MAX. | 19 |
| 2- Vista parcial da fazenda experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMRAPA Soja), em Londrina – PR. Em detalhe a área do experimento em estudo na safra de verão 2001/2002, com a cultura da soja no sistema em sucessão e a do milho no sistema de rotação de culturas. | 25 |
| 3- Maquinário utilizado: Trator New Holland 7630 Turbo (A), Plantadeira Semeato SHM 15 PD, em detalhe discos de corte (B) e Colheitadeira SLC 7500 (C). | 27 |
| 4- Resíduos de cultura em área sob sistemas plantio direto: com intervenção mecânica de três em três anos em sucessão - soja (A) rotação – milho (B) e contínuo há 15 anos em sucessão – soja (C) e rotação - milho (D) de culturas. | 35 |

Tem-se como objetivo acrescentar esclarecimentos adicionais sobre mecanismos de degradação, transformação e reorganização de atributos morfoestruturais do solo, mediante caracterizações físicas, biológicas e químicas de perfis submetidos a diferentes práticas de manejo.

Destaque especial foi dado ao sistema plantio direto, adotando sequência de culturas em sucessão e rotação, assim como do manejo do solo em sistema contínuo e com interferência mecânica com escarificador.

Os estudos foram realizados em LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), em Londrina (PR). Os sistemas estudados foram de plantio direto contínuo há 15 anos e com interferência mecânica na camada superficial a cada três anos, em áreas cultivadas em sucessão e rotação de culturas; uma área sob vegetação natural foi utilizada para comparação dos efeitos estudados. Utilizaram-se as metodologias do Perfil Pedológico e de Manejo, análises físicas e químicas por horizontes e unidades estruturais homogêneas. O estudo de campo foi complementado com o perfil de raízes, resistência do solo à penetração, coletados dados climáticos, de resíduos orgânicos na superfície do solo e produtividade das áreas estudadas durante cinco anos.

Modificações mais acentuadas ocorreram nos primeiros 40 cm de profundidade, com maior variabilidade horizontal de unidades estruturais entre 0,05 e 0,25 m de profundidade, com decréscimo da compactação do solo da superfície para subsuperfície, que se desenvolveu de forma localizada no espaço horizontal e somente intra-agregados.

As condições morfoestruturais sob rotação de culturas mostraram mais similaridade com as observadas sob vegetação natural, além de menores valores de densidade e maior aporte de resíduos culturais na superfície após a introdução da cultura do milho, na sequência de culturas. Após três anos da passagem do escarificador tipo cruzador, a densidade foi maior no sistema de rotação, em relação ao sistema contínuo há quinze anos, mas nas áreas de sucessão foram semelhantes. No entanto, o modo de organização estrutural no perfil de solo foi semelhante à condição de solo natural apenas nas áreas sob rotação de culturas.

Evidenciou-se que a disponibilidade e retenção da água e nutrientes no solo, assim como o desenvolvimento radicular, é consequência da distribuição, continuidade e diâmetro dos vazios, tipo, classe e localização das estruturas, e menos dependente dos valores de densidade de solo. Os valores de densidade estão mais associados aos índices de resistência à penetração do solo, o que não afeta, no entanto, o maior ou menor desenvolvimento radicular, relacionado de forma mais direta a vazios de origem estrutural.

Não se constatou o desenvolvimento de processos de degradação do solo, mas foram caracterizadas diferenças na produtividade em função dos sistemas e manejo de solo e de cultivo avaliados. A adoção de rotação de culturas se revelou essencial para a continuidade de um sistema, principalmente no seu início.

Palavras Chaves: Perfil Pedológico, Perfil de Manejo, Perfil de Raízes, Resistência a Penetração do Solo.

X

ABSTRACT

Therefore there's the necessity to add more knowledge about the mechanisms old degradation, transformation and reorganization of morpho –structural analysis models associated with physical, biological and chemical relations when referring to horizontal and vertical zones the soil profile.

Special attention was given to the of no tillage system planting adopting the culture sequences in succession and rotation, like the soil management in a continuous system and with mechanical interference.

The studies were developed in LATOSSOLO VERMELHO Distroférico located in Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), in Londrina (PR). The studied system were no tillage system planting that has been continuous for 15 years and with mechanical interference, aiming at the rupture of superficial layer of soil every three years, cultivated areas in cultures of succession and rotation and areas under natural vegetation as reference for modifications. In this study they used of cultivation, physical and chemical analyses. In this study they used the methodologies of morpho-structural analysis and profile cultural, physical and chemical analyses. The study made in the area of roots, soil

resistant to penetration, climatic data organic residue in the soil studied areas during five years.

The studies describe more perceptible modifications in the first 40 cm of profundity with more horizontal variability of structural units between 5 and 20-25 cm of profundity. With decrease of compression of soil surface into subsurface which developed itself localizing in horizontal space and only intra-aggregated.

It has become evident that the availability and retention of water and nutrients in soil, the development of roots is a consequence of distribution, continuity and diameter of empty, type, class and localization of structure, and less dependent of value of soil density.

It isn't evident the development of process of soil degradation as a productive way, as well as it's not described difference in productivity and due to systems of management and valued cultivation, the adaption of rotation of cultures demonstrates essential to the continuity system, specially in the beginning.

Key-words: Morpho-Structural Analysis, Cultural Profile, Profile of Roots, Soil Resistant to Penetration.

1. INTRODUÇÃO.

Com a evolução do agronegócio em oleaginosas no Brasil, no início da década de 70 deu-se início a uma política agrícola de uso de capital e de maior integração com os demais setores da economia, em que a soja passou a ser um dos principais produtos de exportações. Embasando tal processo, ocorreu uma acelerada expansão de áreas sob cultivos anuais, primeiramente de âmbito localizado nas regiões Sul e Sudeste, e, mais recentemente, em áreas do cerrado brasileiro, fator associado, principalmente, à ocorrência de solos profundos e permeáveis, sem qualquer limitação para mecanização agrícola e com condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da maioria das culturas comerciais.

Além das condições adequadas para a prática da agricultura no cerrado brasileiro, favoreceu também a abertura dessa fronteira a pequena possibilidade de expansão nas regiões Sul e Sudeste, com quase todas suas áreas agrícolas já sob exploração. Nestas regiões, o uso intensivo da mecanização, utilizada na maioria das vezes de forma inadequada às condições de solo e clima, têm causado degradação e modificações do meio pedológico, com alterações negativas de suas propriedades de forma muitas vezes acentuada, com uma conseqüente redução de produtividade das culturas e, conseqüentemente, com comprometimento do ambiente onde os sistemas agrícolas estão inseridos.

No Brasil, tanto em condições de clima tropical como subtropical, destaca-se a ocorrência de solos espessos com grande expressão em área, como os LATOSSOLOS, que, quando ainda cobertos pela vegetação natural, são constituídos de estrutura estável e com elevado índice de vazios. No entanto, quando ele passa dessa condição de estrutura natural, sob cobertura vegetal primitiva, para uma de cultivo, suas propriedades morfoestruturais, químicas e biológicas são alteradas, resultando, independentemente do sistema de manejo do solo adotado, no aparecimento de novas organizações, que podem, ou não, com o tempo de exploração, desenvolver uma nova condição de equilíbrio com o meio, influenciando a produtividade.

O conhecimento das interações dos efeitos dos sistemas de manejo sobre o comportamento do solo torna-se fundamental, principalmente nas regiões tropicais, já que estas representam fronteiras que exigem recursos tecnológicos especializados relacionados a

um manejo racional sob sistema agrícola. São várias as técnicas de preparo do solo utilizados hoje em dia na condução de áreas de cultivo, desde os sistemas de preparo com “arações e gradeações”, denominados de “convencional”, até os de “semeadura direta”, que têm se revelado como o sistema de manejo com maior expansão atualmente.

Apesar de representar uma das tecnologias de manejo do solo com grande expressividade nas últimas três décadas, as áreas cultivadas sob plantio direto passaram por ciclos sucessivos de expansão/redução até a metade da década de 90, em função de escassas informações sobre maquinário, manejo adequado das culturas e dos seus resíduos, controle fitossanitário e manejo generalizado do solo.

A pesquisa evoluiu muito em conceitos básicos na condução de áreas sob plantio direto nos últimos anos, como maquinário e controle fitossanitário, principalmente em relação ao desenvolvimento de semeadoras específicas, assim como um controle de plantas daninhas eficientes. Já os efeitos sobre as características morfológicas dos solos submetidos a esse sistema, considerando que sua implantação deu-se recentemente em solos degradados, ainda necessitam de maiores informações, principalmente sobre as modificações ao longo do tempo. Portanto, efeitos nos parâmetros morfoestruturais do solo e sua relação com as propriedades físicas, químicas e biológicas deverão ser convenientemente compreendidos, principalmente nas regiões onde predominam temperaturas e índices pluviométricos elevados e solos de textura argilosa a muito argilosa, que são fatores associados a uma maior incidência de compactação e mineralização muito rápida da matéria orgânica.

Nas avaliações das condições do solo ao pleno desenvolvimento de uma cultura, não só o fator compactação deve ser avaliado, mas também as demais organizações estruturais que compõem o arranjo espacial do perfil, resultando no comportamento global do solo. Torna-se fundamental a caracterização e a quantificação da ocorrência de camadas compactadas, comportamento que pode, ou não, apresentar uma correlação direta com o pleno desenvolvimento de uma população vegetal, seja pela deficiência ou excesso de água, seja pela maior resistência oferecida ao desenvolvimento radicular no perfil de solo, seja no desenvolvimento ou expansão de processos de perda de produtividade do sistema.

O cultivo intensivo do solo, com ou sem revolvimento mecânico, induz a transformações e reorganizações no seu volume, notadamente na sua condição estrutural e nos

tipos de vazios, na atividade exercida pela fauna, no maior ou menor aporte e preservação de resíduos culturais na sua superfície e no desenvolvimento e morfologia das raízes. Enquanto no sistema de preparo convencional a mobilização do solo causa um impacto imediato de alteração estrutural, tanto em superfície como em subsuperfície, o sistema plantio direto tem se caracterizado por certo equilíbrio da condição estrutural. No entanto, como o meio solo é dinâmico, em função das condições antrópicas e bioclimáticas impostas, modificações morfoestruturais podem ocorrer no perfil de solo submetido ao sistema plantio direto, tanto em superfície como em subsuperfície.

As Unidades Estruturais contemplam a ocorrência de parâmetros morfo-estruturais semelhantes, que podem desenvolver-se de modo generalizado ou localizado no espaço vertical e, principalmente, horizontal, quando se tratam de estruturas de maior compacidade. Portanto, Unidades Estruturais compreendem o modo de organização de um determinado volume de solo com variabilidade espacial ou não no perfil do solo decorrentes do sistema de manejo empregado. Assim, quando estas Unidades Estruturais se repetem no espaço do perfil vertical e/ou horizontal, caracterizando ocorrência localizada, são homogêneas entre si, mas heterogêneas em relação às demais Unidades Estruturais. Em consequência deste modo de organização morfo-estrutural, definem as diferentes Unidades Estruturais e suas relações com propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que traduzem o efeito de diferentes sistemas de manejo e cultivo em diferentes classes de solo.

Assim, com a aplicação da análise morfoestrutural, notadamente com o Perfil de Manejo, pode se efetuar um certo diagnóstico e prognóstico desses efeitos, principalmente quando se tem como referência uma área sob vegetação primitiva anexa, sob análogas condições ambientais.

Sob esta óptica, tem-se em mente o estudo dessas modificações do solo sob diferentes condições de manejo e cultivo, tomando como base o solo referência (sob vegetação natural) notadamente como subsídio à melhor compreensão das alterações que ocorrem com o tempo de manejo e cultivo do solo sob sistema de semeadura direta, visando a sustentabilidade do meio e da produção agrícola. Parece clara a admissão da hipótese de que os cultivos que preconizam a mínima mobilização do solo sejam os que trazem os melhores benefícios a este, e ao meio ambiente como um todo.

1.1. JUSTIFICATIVA GERAL DO TRABALHO.

Um aspecto muito citado no meio científico, a respeito do plantio direto, é de ele tratar-se de um sistema conservacionista, termo mais associado, no entanto, ao controle da perda de solo decorrente de processos erosivos. Assim, considerando que o termo conservacionista pode ser aplicado a uma esfera mais abrangente do que o controle de processos erosivos, este trabalho busca um acréscimo de conhecimento da evolução estrutural do solo sob sistema plantio direto, tomando como base condições de solo ocorrentes sob vegetação original, no caso fitogeográfico da região deste estudo, a floresta tropical subperenifólia.

As áreas submetidas ao plantio direto são conduzidas em sistema contínuo ou com intervenção mecânica em determinados intervalos de anos, operação esta realizada muitas vezes sem um estudo de caso abrangendo a evolução das características morfoestruturais no espaço e com o tempo e relações com as propriedades físicas e químicas do solo. No Estado do Paraná, assim como em outras regiões do Brasil, é muito comum a intervenção mecânica a cada três anos, utilizando-se geralmente o escarificador, por constituir este um implemento que mobiliza pouco a superfície do solo e que preserva grande parte dos restos culturais aí depositadas. Portanto, este estudo busca maiores informações acerca da evolução de novas organizações estruturais nos horizontes resultantes do manejo em sistema contínuo e com intervenção mecânica do solo, cultivado tanto em sucessão como em rotação de culturas.

1.2. OBJETIVOS.

O OBJETIVO GERAL é o de procurar acrescentar maiores conhecimentos sobre os mecanismos de degradação, de transformação e de reorganização de parâmetros morfoestruturais do solo e de sua relação com propriedades físicas, químicas e biológicas, quando submetido a sistemas plantio direto, em áreas sob sucessão e rotação de culturas. Para isso, propõe-se que os efeitos daí decorrentes tenham como referência (na avaliação das modificações), condições de solo encontradas sob vegetação natural que caracterizam a estrutura original do meio pedológico. Assim, constituem OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓verificação das relações entre a variabilidade de organizações estruturais no perfil de solo com fatores como sistemas de manejo e cultivo diferenciados, tempo, clima, matéria orgânica, atividades exercidas pela fauna do solo e pelo sistema radicular de culturas anteriores;
- ✓quantificação e caracterização da alteração e desenvolvimento do espaço poroso textural e estrutural;
- ✓ caracterização e quantificação da ocorrência de compactação em relação ao tempo e espaço;
- ✓caracterização do desenvolvimento radicular em função dos sistemas de manejo adotado, da condição estrutural e resistência do solo a penetração.
- ✓avaliação da necessidade ou não de interferência mecânica com implemento de hastes (escarificador tipo cruzador) em áreas submetidas ao sistema plantio direto de três em três anos.
- ✓avaliação da produtividade das áreas sob os diferentes modos de exploração.

2. REVISÃO DE LITERATURA.

O estudo do solo como uma ciência autônoma (Ciência do Solo) firmou-se a partir de trabalhos realizados na segunda metade do século XX, por Dokuchaiev (FERNANDES BARROS, 1985), de fundamental importância por reconhecerem o solo como resultado de fatores e processos. Os fatores são resultantes de ações ativas do clima e dos organismos sobre o material de origem, num determinado espaço de tempo, em determinado relevo, desencadeando uma série de mecanismos, referidos por processos pedogenéticos.

Das transformações decorrentes desses processos, observa-se um vínculo entre o que se poderia chamar de aspectos gerais e abrangentes das definições, e o nível concreto, visual, de organização pedológica. Nessa organização, o solo apresenta-se em uma sucessão de horizontes e/ou camadas genéticas distintas, que diferem entre si pela natureza física, química, mineralógica e biológica, resultando no seu perfil (RUELLAN e DOSSO, 1993; PRADO, 1995). Compreende-se por perfil do solo a secção vertical que, partindo da superfície, aprofunda-se até chegar a um material pouco alterado, mostrando, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente, denominadas horizontes, aproximadamente paralelas à superfície (VIEIRA, 1975).

O solo constitui um sistema que pode ser considerado sob diferentes enfoques; neste trabalho enfatiza-se o solo como meio natural para o desenvolvimento das plantas, objetivando uma orientação utilitarista dos horizontes cultivados, que expressa mais especificamente as alterações pedológicas decorrentes de ações antrópicas atuando na relação solo-planta.

Na região de Londrina, norte do Paraná, o relevo suave ondulado e o substrato basáltico condicionaram a formação de solos espessos, classificados segundo EMBRAPA (1999) como LATOSSOLO VERMELHO (LV), que abrange, neste Estado, aproximadamente 3 milhões de hectares (DERPSCH ET AL., 1991). Possuem baixa fertilidade natural e elevado teor de argila (50 a 80 %), estruturação bem desenvolvida, com altos índices de vazios (em torno de 50 %), naturalmente profundos e isotrópicos, portanto de grande importância para a exploração de culturas anuais (LARACH et al., 1984; EMBRAPA, 1984; OLIVEIRA et al., 1992).

Por isso, o estudo do perfil do solo sob cultivo, em escala detalhada, caracterizando as novas organizações surgidas, pela análise morfoestrutural, torna-se um método de grande importância como base para a compreensão de uma organização estrutural sob determinado manejo e seu comportamento. Esta metodologia tem sido designada por “perfil cultural” (TAVARES FILHO et al., 1999), aqui referida por perfil de manejo.

Por definição, perfil de cultivo pode envolver diferentes volumes de solo antropizados, que podem ocorrer num mesmo horizonte pedológico; cada volume diferenciado constitui uma unidade morfológica homogênea, em termos de organização, correspondente a uma assembléia de parâmetros morfoestruturais bem definidos, resultado da intervenção dos sistemas de manejo e cultivo do solo, das raízes dos vegetais e pelos fatores bioclimáticos que reagem a estas ações (HENIN et al., 1969). A avaliação de sistemas de produção agrícola com base em procedimentos metodológicos que considerem entre outros aspectos a diferenciação estrutural do solo deve ser considerada como um indicador da sustentabilidade dos sistemas de manejo e cultivo (MANICHON, 1982).

Assim se o estudo do perfil pedológico permite um levantamento das principais características morfológicas e atributos diagnósticos que determinam uma classe de solo, o perfil de cultivo tem como finalidade permitir diagnósticos e prognósticos especificamente decorrentes dos diferentes sistemas de manejo do solo e de populações vegetais (TAVARES FILHO et al., 1999; PRADO 2003). Se os dois métodos de descrição e caracterização do perfil de solo pareçam diferir por finalidades, assemelham-se por razões de escala (tempo e espaço), ao serem reunidos somam informações de caracterização morfológica e funcional global de um perfil, que não é outro que um perfil pedológico antropizado (BLANCANEAUX e FREITAS, 1996). O termo original, do francês, é *profil cultural*, criado por HENIN et al. (1969).

Pela análise morfoestrutural caracteriza-se a condição organizacional do solo, o espaço poroso de origem estrutural, a atividade exercida tanto pela fauna do solo como pelo sistema radicular, a presença e forma da matéria orgânica, bem como o desenvolvimento, orientação e morfologia das raízes (GUIMARÃES et al., 1993). Este método, aprimorado por MANICHON (1982), e reestruturado por GAUTRONNEAU e MANICHON (1987), tem como objetivo o conhecimento da variabilidade estrutural e seu arranjo espacial no perfil de solo alterado pelo manejo, distinguindo dois níveis de descrição: o nível elementar, que

corresponde ao arranjo das partículas de solo no interior das unidades estruturais (agregados), estado intra-agregados, e o nível superior, que corresponde ao modo com que a assembléia das próprias estruturas estão dispostas no espaço do perfil (BLANCANEUX, et al. 1991).

Com a adoção de um padrão de produtividade de, no mínimo, duas safras anuais, como vem acontecendo principalmente no Sul do Brasil, em função de condições climáticas favoráveis, tornou-se necessária, independentemente do sistema de preparo utilizado, a intensificação do uso de máquinas com peso e potência maiores no plantio, no controle fitossanitário e na colheita (NOVAK et al., 1992; WIERMANN et al. 2000). A complexidade dos fatores envolvidos nesse sistema agrícola, estreitamente relacionados à classe de solo e às condições climáticas, mostra o desenvolvimento de efeitos nas propriedades físicas, químicas e biológicas que regem o comportamento do solo, modificações essas que podem ocorrer num período curto de tempo ou mesmo numa simples operação de manejo; outros efeitos ao longo de um manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis (VIEIRA, 1981). Com isso, tem se observado que tanto a degradação como a estabilidade da estrutura original tornam-se diferenciadas em função do sistema de manejo adotado, do tempo de sua implantação e do aporte e preservação de resíduos culturais na superfície do solo (FUNDAÇÃO ABC, 1993, PICCININ et al., 2000).

Como a disponibilidade de terras destinadas à produção de alimentos na região tropical é decrescente, em face da pressão demográfica e da degradação do solo, torna-se imperativo modificar os sistemas de produção vigentes em busca de maior produtividade e uma maior sustentabilidade para a agricultura praticada nos agrossistemas tropicais, em que o sistema plantio direto constitui um importante vetor de mudança e evolução (MEDEIROS e HENKLAIN, 1995). Embora esse sistema tenha sido introduzido no Brasil no início da década de 70, somente na década de 90 firmou-se em nível de grande produção, sendo sua área ocupada de aproximadamente 10 milhões de hectares, correspondendo a uma parcela de cerca de 25% da superfície cultivada com grãos no território brasileiro em 1999 (FRANCHINI et al., 1999), passando para mais de 20 milhões de hectares em 2004 (FBPDP, 2004).

Tem-se uma necessidade cada vez maior de informações do comportamento e modificações de um meio pedológico sob sistemas plantio direto em condições de manejo de

solo e de seqüência de culturas diferenciadas, pois a comparação entre diferentes formas de manejo é de uma abordagem mais usual nos trabalhos publicados (RALISCH et al. 1993; BLANCANEUX e FREITAS 1996; TORRES et al. 1998; PICCININ et al. 1998).

Uma grande parte da área cultivada com culturas anuais está localizada em latitudes menores que 24°, caracterizadas por temperaturas elevadas e ocorrência de altos índices pluviométricos, principalmente no verão, dificultando o desenvolvimento de uma camada de material orgânico em cobertura na superfície do solo, pois a matéria orgânica é degradada com rapidez (TORRES et al., 1999). A ocorrência desse fator associado à ausência de revolvimento, à freqüência de tráfego, (principalmente de colheitadeiras carregadas), muitas vezes sob condições de elevada umidade do solo (mesmo porque no sistema plantios diretos têm-se uma maior retenção de água), tem contribuído para o desenvolvimento de compactação superficial do solo, constituindo um dos principais problemas para adoção desse sistema (BAILEY, et al. 1994; SCAPINI et al. 1988; FIGUEREDO et al, 2000).

Mesmo assim, sob condições de clima tropical e subtropical, a adoção de sistemas de cultivo que, além de atenderem as necessidades econômicas, têm como estratégias o maior aporte de resíduos culturais, envolvendo diversificação de espécies via rotação de culturas, tem representa uma opção para assegurar a sustentabilidade do meio, principalmente quando associada a áreas submetidas ao sistema plantio direto (DERPSCH, 1985; FANCELLI, 1993). Com a manutenção de resíduos culturais na superfície, tem se observado uma elevação do teor de matéria orgânica do solo, embora nem sempre seja diretamente discernível, principalmente na camada mais superficial do solo, que desenvolve alterações com reflexos benéficos diretos nas propriedades biológicas, físicas e químicas (BAL, 1982; MUZILLI, 1985; CATTELAN, 1993; TORRES et al. 1993; SÁ, 1993).

No sistema plantio direto, deixa de existir a camada de revolvimento mecânico, dando lugar a uma camada de maior estabilidade estrutural, onde a mineralização dos resíduos culturais se torna mais lenta, alterando a dinâmica da matéria orgânica e da liberação de nutrientes no solo (PAVAN, 1985, CERRI, 1994, PUIGNAU et al. 1994). Com o não revolvimento e com a decomposição da matéria orgânica, propicia-se um incremento da fauna do solo e da atividade exercida por esta na redução do tamanho dos resíduos orgânicos, na mistura do solo com a matéria orgânica e no transporte de resíduos para camadas

subsuperficiais, desenvolvendo processos de agregação dos componentes sólidos e elevação da ocorrência de vazios, principalmente dos macroporos, a partir da abertura de canais e galerias, que geralmente alcançam profundidades superiores à um (1) metro (BOUMA et al. 1982; VOSS, 1987; LAVELLE et al. 1992; GASSEN 1993; SIQUEIRA et al 1994; OLIVEIRA et al. 1997; BRANDÃO et al 2000).

O uso intensivo do solo, independentemente de o sistema de manejo adotado ser o de preparo convencional ou semeadura direta, sucessão ou rotação de culturas, promove alterações na matéria orgânica, na atividade exercida pela fauna e no espaço poroso, com reflexos diretos nas transformações e reorganizações estruturais, principalmente em relação a formas, dimensões e arranjo dos agregados (FREITAS et al., 1998; PICCININ et al., 1999; FENNER, 1999). O fator diferencial é que, na dependência do sistema de manejo e de cultivo adotados, com o tempo, e sob influência de fatores climáticos, pode ocorrer uma modificação desses parâmetros no espaço vertical e horizontal do perfil de solo, considerado um recurso renovável, mas cuja renovação depende das suas condições de utilização (RUELLAN, 1990).

Estreitamente relacionada a essas propriedades, tem-se a ocorrência de camadas compactadas, que podem apresentar um efeito direto no pleno desenvolvimento de uma população vegetal, seja pela deficiência ou excesso de água, seja por uma maior resistência oferecida ao desenvolvimento radicular no perfil de solo, seja no desenvolvimento de processos erosivos. Tais alterações estão associadas às condições físicas do solo, principalmente em relação à densidade e à distribuição de vazios de origem textural e estrutural (KERTZMAN, 1996; SILVA et al. 1998; FALLEIRO et al. 2003), e, conseqüentemente, nos processos metabólicos do sistema radicular (BARBER, 1984).

Não é fácil determinar exatamente a influência da compactação sobre os mecanismos de contacto íon-raiz, pois tal processo está relacionado às condições de retenção e condutividade de água no solo e ao desenvolvimento e morfologia das raízes (DE MARIA, 1999). A condutividade hidráulica em solo saturado é maior nos menos compactados; para um mesmo tipo de solo, a condutividade não saturada é maior para o solo compactado com menor teor de água. Conseqüentemente, se a condutividade não saturada aumenta no solo

compactado, em relação ao não compactado, a solução se moverá mais rapidamente, assim como o íon nela contido (CAMARGO, 1983; REICHARDT, 1987).

Costuma-se admitir uma correlação direta e negativa entre a umidade do solo e o fator compactidade. Quando a densidade do solo aumenta, a difusão é melhorada, porque o decréscimo do volume faz com que as partículas se aproximem, além de aumentar o teor relativo de água; já para densidades maiores, provavelmente esse processo diminui, pois as partículas ficam muito compactadas e as faces de contato aumentam, e, conseqüentemente, também a tortuosidade (BARBER, 1984). O fator de impedância nos mecanismos de contato íons-raiz é afetado pela textura, densidade, umidade, distribuição do sistema radicular; morfologia das raízes e movimento dos íons no solo (SILBERBUSH et al., 1983; MARSCHNER, 1986; MERTEN e MIELNICZUK, 1991; RAIJ, 1991).

Em termos exclusivamente de nutrição de plantas, não seria realmente necessário um sistema radicular muito profundo. A maior importância de um sistema radicular profundo reside fundamentalmente na aquisição de água pela planta, uma vez que a disponibilidade de nutrientes em profundidade, via de regra, usualmente não é suficiente para boas produtividades (TORRES et al. 1999; RAIJ, 1991; MALAVOLTA et al. 2002).

SANCHES (1981), estudando Latossolos com 14%; 53% e 68% de argila, observou que esses podem apresentar, a cada 1 cm, de 0,57 mm a 0,84 mm de água disponível. Isto significa que a cada 10 cm de profundidade que for explorado pelo sistema radicular, a planta terá uma disponibilidade de 5,7 mm a 8,4 mm de água a mais; isso representa uma menor possibilidade de se ter déficit de umidade em função da ocorrência de períodos com baixos índices pluviométricos.

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afetam, de maneira decisiva, o desenvolvimento da planta; conseqüentemente, a compreensão da relação água-solo-planta é um imperativo na maximização da produção agrícola (REICHARDT, 1987). O Brasil, devido à sua extensão territorial e à diversidade de condições climáticas, apresenta toda a sorte de problemas. Nas regiões Sul e Sudeste a precipitação pluviométrica geralmente supre as necessidades da agricultura; no entanto, problemas com sua distribuição anual têm sido freqüentes, de tal forma que a condição estrutural resultante dos efeitos do manejo do solo, e suas relações com a capacidade hídrica, precisa ser entendida de

maneira adequada para se maximizar a disponibilidade de água e a produção (DERPSCH et al., 1991).

Dentre as propriedades físico-hídricas, a curva de retenção de água no solo, que expressa a relação entre a umidade do solo à base de massa/volume (variável dependente), e o potencial mátrico correspondente (variável independente) é extremamente importante em quaisquer estudos que envolvam água no solo. A retenção de água é afetada por uma série de fatores, que vão desde a distribuição relativa do diâmetro, morfologia, arranjo e continuidade dos vazios, da textura e condição estrutural do solo, (VIEIRA e CASTRO, 1987; MORAES et al., 1993, CHOPART, 1996) a correção da acidez em subsuperfície e disponibilidade de nutrientes (MELO, 1985; ANGHINONI e SALLET, 1998).

A variabilidade de água disponível em um determinado solo abrange os conceitos de capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, cujos parâmetros têm sido alvos de constantes discussões na literatura pertinente. As variações nos valores do potencial mátrico aceitos na literatura para solos argilosos são de -33 KPa para capacidade de campo e -1500 KPa ponto de murcha permanente (REICHARDT, 1985; FARIA & CARAMORI, 1986). Também é citado na literatura (THOMASSON, 1978; BRADY, 1983) que as amplitudes entre os potenciais de -6 KPa e -33 KPa correspondem a vazios onde ocorre o fluxo de água gravitacional; de -33 KPa a -300 KPa têm-se vazios responsáveis pela água rapidamente assimilável pelas plantas, e de -300 KPa a -1500 KPa, vazios onde ocorrem os maiores níveis de retenção de água, lentamente assimilável, fator que pode ser agravado pela redução dos vazios intra-agregados, pelo desenvolvimento de maiores valores de densidade do solo (TAVARES FILHO et al. 2001).

O processo de compactação tem sido amplamente discutido, sendo muito utilizado no estudo das relações volumétricas que envolvem a sua determinação (HAKANSSON, 1990); costuma se relacionar uma maior densidade do solo com uma redução na porosidade total, principalmente da macro, propriedades que apresentam amplitudes variáveis em função das características texturais do solo (REICHARDT, 1985). Generalizações do termo camada compactada devem ser tanto mais cuidadosas como restritas o possível, por ser um conceito complexo quando se trata de sua quantificação e caracterização em relação a diferentes sistemas de manejo e cultivo (TORRES et al. 1998).

Por quantificação entende-se estimá-la com base em valores de relações volumétricas, como densidade de solo e porosidade total, macro e micro; uma caracterização de ocorrência desses índices deve ser precedida sob o enfoque de parâmetros morfoestruturais, principalmente em relação ao desenvolvimento de compacidade localizadas (formas de estruturas) ou generalizadas (forma de camadas) no espaço vertical ou horizontal do solo, e quantidade, diâmetro, origem e continuidade do espaço poroso de origem estrutural (HORN et al. 1995; WIERMANN, 2000; FALLEIRO et al. 2003).

O desenvolvimento do processo de compactação do solo em sistema plantio direto ocorre de forma diferenciada em relação ao sistema denominado de convencional, onde se utilizam arado, grade pesada (ou aradoura, rome) e grade niveladora (PICCININ et al., 1999). Enquanto no sistema de preparo convencional o processo de compactação se desenvolve em subsuperfície em consequência da soleira dos implementos, no sistema plantio direto o aumento da densidade do solo ocorre em superfície em decorrência do tráfego e peso do maquinário. Assim, em vez da utilização de subsoladores no rompimento da camada compactada em subsuperfície, como geralmente ocorre em áreas sob sistema de preparo convencional, no sistema plantio direto tem-se como opção mecânica o emprego de escarificadores, sendo muito comum ainda a utilização de semeadoras dotadas de facões próximas ao disco de corte que realizam o corte da camada compactada na linha de semeadura (TORRES et al. 1999).

Os escarificadores, lançados no mercado como implemento de preparo primário do solo, por não originarem desagregação excessiva do solo, são ideais para o rompimento da camada compactada de solo em áreas sob sistema plantio direto. As hastes, de formato variável e com ponteiros em sua extremidade, quando supera a resistência do solo, promove a ruptura das estruturas no plano frontal e lateral de seu trajeto, ação mais por cisalhamento.

Nos primeiros projetos de escarificadores, as hastes eram retas, surgindo posteriormente hastes inclinadas em ângulos de 45° em relação a superfície do solo, pertencente a um implemento conhecido internacionalmente como “paraplow”. Esta configuração das hastes permitiu reduzir os esforços de tração do implemento, pois o seu ângulo de ataque coincide com um ângulo de ruptura do solo mais favorável, segundo GONZALÉZ (1989).

No entanto, de quanto em quanto tempo realizar a operação de descompactação superficial do solo em áreas sob plantio direto é muito discutível, e muitas vezes realizada de forma empírica, sem qualquer estudo prévio das condições estruturais, físicas ou químicas da área. No Brasil, adotam-se, muitas vezes, intervalos de três em três anos, ou de cinco em cinco anos, fator muito dependente da região, sendo que muitos estudos demonstram que nem sempre se torna necessária a realização desta operação de alteração da estrutura do solo (GUIMARÃES et al., 1996; PICCININ et al., 1997); outros trabalhos evidenciaram que o efeito desta operação em áreas sob sistema plantio direto é relativamente curto (JORGE et al., 1982).

Nas avaliações das condições do solo ao pleno desenvolvimento de uma população vegetal, não só o fator compactação deve ser avaliado, mas também as demais organizações estruturais que compõem o arranjo espacial do perfil, resultando comportamento global do solo que envolve oferta e disponibilidade de nutrientes (SCHLINDWEIN e ANGHINONI, 2000), acidez (MELO, 1985) infiltração e armazenamento de água e desenvolvimento do sistema radicular (BLANCANEUX, 1991; RALISCH et al. 1993).

Alguns trabalhos têm constatado que a implantação do sistema plantio direto induz compactação superficial do solo, caracterizada pelo aumento da densidade do solo e redução da sua porosidade total e redução do desenvolvimento radicular das culturas (NOVAK et al. 1992; DE MARIA, 1999; SCHAEFER et al. 2001). Outros trabalhos citam que em um solo com resistência a penetração variando de 1 a 3,5 MPa poderá restringir ou mesmo impedir o desenvolvimento radicular das culturas (NESMITH, 1987; MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999, WUTKE et al. 2000).

Há uma diversidade de comportamento do solo em resposta a diferentes sistemas ou a um mesmo sistema, resultando numa variabilidade de organizações estruturais diferenciadas quanto a seu grau de agregação e estabilidade estrutural mediante processos físicos, químicos e biológicos. Em qualquer tipo de solo ocorrem substâncias agregantes próprias que agem na agregação e na estabilidade do meio, atuando em diversos mecanismos por floculação, cimentação e fissuração desses domínios (FREITAS & BLANCANEUX, 1994). Considerando-se as condições de solo sob determinado sistema de manejo, provavelmente os agentes de maiores influências que atuam nos mecanismos de degradação, formação e

estabilização de estruturas sejam o clima, a matéria orgânica (incluindo-se raízes), os cátions bi e tri-valentes e a atividade exercida pela fauna (GASSEN et al., 1993; BRANDÃO et al. 2000).

O comportamento do solo está diretamente associado ao seu espaço poroso, onde se operam transferência sólidas, líquidas e gasosas, que ocorrem tanto entre como intra-agregados; estes são classificados, com base em sua classe, origem e morfologia, em porosidade textural (decorrentes da assembléia de argila, silte e areia) e estrutural (tubular e cavidades - resultantes da atividade biológica animal e vegetal, fissural - resulta das variações de volume das argilas sob influências de variações climáticas; e de empilhamento de agregados), de acordo com HAMBLIN (1985) e RUELLAN (1990).

Portanto, as transformações que ocorrem com o tempo no perfil de solo, principalmente em relação a formas, dimensões e arranjo espacial dos agregados, resultam em um estado estrutural com influências diretas no seu espaço poroso, com reflexos diretos na oferta e disponibilidade de nutrientes, no controle do deflúvio superficial, retenção de água e no desenvolvimento espacial e morfológico do sistema radicular de uma população vegetal (MELLO IVO e MIELNICZUK, 1999; PICCININ et al. 1999).

Estudos da variabilidade espacial das estruturas no perfil de solo interagindo com propriedades físicas, biológicas e químicas são ainda escassas em nossas condições e carecem de subsídios para uma melhor compreensão das alterações que ocorrem com o tempo e se refletem tanto na sustentabilidade do meio como da produtividade.

3. MATERIAL E MÉTODOS.

O trabalho foi realizado na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), situado no Distrito da Warta, município de Londrina, localizado ao Norte do Estado do Paraná, tendo como coordenadas 23° 12' latitude Sul e a 51° 11' de longitude Oeste .

A área do estudo esta situada no Terceiro Planalto Paranaense, região homogênea caracterizada pela ocorrência de extensos derrames basálticos que constituem o Trapp do Paraná, mais especificamente ao Bloco de Cambará, que se estende entre os rios Tibagi e Itabaré. Esses derrames são datados do Jurássico-Cretaceo, fazendo parte do Grupo São Bento, formação Serra Geral, que engloba rochas correlacionadas com o basáltico toleítico, recortadas por diabásios, que constituem a maioria dos diques da região (EMBRAPA, 1984; EMBRAPA, 1988).

Segundo EMBRAPA (1988), no local de estudo foram observados meláfios com preenchimentos silicosos, assim como uma variação de fácies petrográfica do derrame basáltico com presença de diabásios. Observou-se também a presença de canga ferruginosa e acumulações ferro-manganesíferas do tipo pisolíticos, formadas pela alteração do material basáltico, de elevada ocorrência de minerais de ferro e manganês. Os minerais de argila constituem-se principalmente de caulinita do grupo 1:1, sendo a hematita o principal óxido de ferro e a gibbsita o óxido de alumínio (EMBRAPA, 1984; EMBRAPA, 1988).

O relevo da região é pouco movimentado, caracterizado por uma série de pequenos platôs com altitudes oscilando entre 300 e 680 metros e declives suaves, entre 3 e 8%. O relevo da área de estudo considerada é classificado como suave ondulado com vertentes longas e ligeiramente convexas de aproximadamente 6% de declive, com altitude de 585 metros na área de cultivo e de 595 metros na área sob vegetação nativa.

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com meses de verão de elevadas temperaturas e geadas menos freqüentes, com uma tendência de concentração de precipitações pluviométricas nos meses de verão ao norte do paralelo 24 S, estando, porém, distribuídas ao longo do ano. A média mensal de temperaturas é de 21° C, com a média dos meses mais quentes (Janeiro e Fevereiro) e frios

(Junho e Julho) oscilando entre 26° C e 17° C, respectivamente. A média pluviométrica anual está em torno de 1622 mm, sendo os meses de Dezembro a Fevereiro os de maiores índices pluviométricos (acima de 220 mm), caracterizando alta intensidade e curta duração; os meses de Julho e Agosto são os de menores precipitações (em torno de 60 mm).

Como características fisionômico-ecológicas da região, a vegetação natural é classificada como Floresta Tropical Subperenifólia, composta originalmente por árvores de médio a grande porte. Esta classe de vegetação está relacionada a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas e de alta precipitação bem distribuída durante o ano, que se caracteriza pela perda parcial das folhas no estrato superior durante o inverno. As características fitoecológicas da vegetação seguem o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992).

O Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja) está implantado na Fazenda Santa Terezinha, desde 1987. Nesta área a vegetação natural foi retirada na metade da década de 60, para dar lugar à cultura do café, cultivada até o ano de 1976, a partir de quando tiveram início cultivos anuais, com a sucessão soja-trigo sob sistema de preparo convencional (aração/gradeação), até o ano de 1986

Nos anos de 1987 e 1988 deu-se início a implantação do experimento alvo deste trabalho, visando adequações nos aspectos químicos e físicos de toda a área, que consistiu na correção da fertilidade (calagem e adubação) e descompactação. O preparo do solo para a instalação das parcelas em quatro repetições foi realizado mediante operações de aração (arado disco 26") e duas gradagens niveladoras. O experimento, que consiste na avaliação de diferentes sistemas de preparo do solo sob cultivos em sucessão e rotação de culturas, teve seu início na safra de verão 1988/1989 e será conduzido até a safra de verão de 2012/2013, tendo como responsáveis os pesquisadores da EMBRAPA Soja ELENOR TORRES e ODILON FERREIRA SARAIVA.

Como base para o início dos trabalhos de campo do presente estudo, foi utilizado um levantamento pedológico de toda a área da Fazenda Santa Terezinha, realizado em 1998 (EMBRAPA, 1988). As propriedades químicas e características granulométricas do solo na vertente onde foi instalado o experimento em questão são descritas no Quadro 01, tendo sido classificado como Latossolo Roxo distrófico – LRd, textura muito argilosa, com horizonte A

moderado, considerado excelente para o manejo de culturas anuais. Pela classificação atual da EMBRAPA (1999), corresponde a um LATOSSOLO VERMELHO distroférico.

Quadro 1: Propriedades químicas e características granulométricas do solo da área em estudo. (EMBRAPA, 1988).

Horizontes	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol./dm ³						%		g/dm ³	mg/dm ³	
Ap (0 -20)	4,9	1,4	6,5	2,5	0,4	0,39	11,2	3,3	29	---	---	<1
B1 (40-60)	5,1	1,2	4,9	1,6	0,2	0,06	8,0	1,9	24	---	---	<1
B2 (> 60)	5,5	0,4	4,4	2,4	0,6	0,03	7,8	3,0	38	---	---	<1
Profundidade (cm)	Argila			Silte			Areia					
				g.Kg ⁻¹								
Ap (0 -20)	850			110			40					
B1 (40-60)	890			70			40					
B2 (> 60)	870			90			40					

A área sob cultivo ora pesquisada é da mesma classe taxonômica referida, com as mesmas características granulométricas – textura muito argilosa, sendo oportuno mencionar ainda que desde 1988, quando foi instalado o experimento ora avaliado, em todas as parcelas distribuídas em quatro repetições vem sendo feito o monitoramento anual de propriedades físicas (como densidade de solo e porosidade), químicas (teores de nutrientes e pH) e da produtividade (Kg/ha). Ao longo de 12 anos não foram constatadas diferenciações significativas quantos aos parâmetros físicos, químicos e de produtividade entre as parcelas sob mesmo sistema de manejo do solo e de cultivo. Por isso, levou se em conta a possibilidade de se trabalhar com o mínimo de impacto possível na área, visando ao não comprometimento na avaliação de outros parâmetros do experimento, que é tido como referência a outros Centros de Pesquisa e Universidades. Assim, em comum acordo com os pesquisadores responsáveis pelo experimento em questão, definiu-se pela não realização de repetições, sendo definidas como parcelas para a condução deste estudo a com maior facilidade de acesso.

Foram realizadas avaliações em dois (2) sistemas de manejo de solo sob plantio direto e dois (2) de culturas, como se segue:

✓Sistemas de Manejo

- Plantio direto contínuo há quinze (15) anos (sem qualquer tipo de intervenção mecânica visando alteração da estrutura do solo).

- Plantio Direto com intervenção mecânica a cada 3 anos com escarificador montado tipo Cruzador Carelli MAX (Foto 01), com 4 hastes distanciadas 40 cm e profundidade de trabalho em torno de 25 cm, com ângulo de ataque de 45°, operação realizada após colheita da cultura de verão.

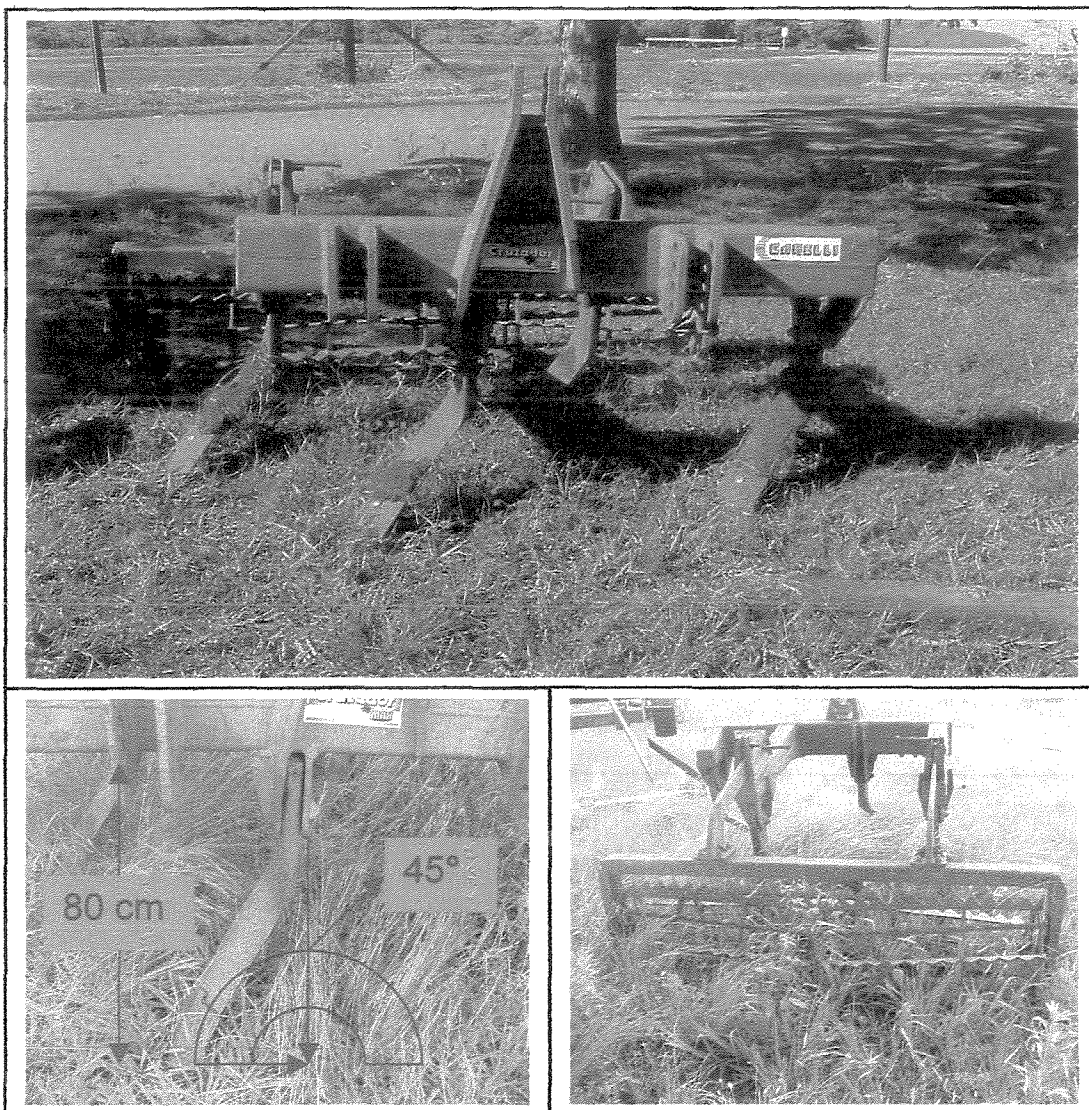


Foto 01: Escarificador tipo Cruzador Carelli MAX, em detalhe ponteira revestida de material que reduz aderência no solo sobre as mesmas, haste com ângulo de ataque de 45° e com espaço de 80 cm entre o nível do solo e chassi, composto de mastro, uma barra transversa e três longitudinais, rolo “destorroador” com trabalho sem pressão sobre a superfície do solo visando principalmente o nivelamento da palhada. Massa aproximada de 360 Kgf.

✓Sistemas de culturas:

- Sucessão – Sequência Soja e Trigo.
- Rotação de culturas – Soja/Aveia (*Avena strigosa*) – Soja/Tremoço (*Lupinus albus*) – Milho/Trigo – Soja/Trigo – Soja/Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) – Milho/Aveia – Soja/Trigo....

Nas culturas de Aveia, Tremoço e Nabo Forrageiro é passado o Rolo-faca ou Triton.

Entre as safras de verão de 1999/2000 e 2003/2004, período corresponde ao levantamento de dados referentes ao presente estudo, as seqüências de culturas nas áreas sob sucessão e rotação são especificadas no cronograma abaixo:

	Verão 99/00	Inverno 00	Verão 00/01	Inverno 01	Verão 01/02	Inverno 02	Verão 02/03	Inverno 03	Verão 03/04
Rotação	Soja	Trigo	Soja	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja
Sucessão	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja

O cronograma da seqüência de culturas tanto para o sistema de sucessão como rotação, entre o ano de implantação do experimento avaliado na safra de verão 1988/1989 até o encerramento deste na safra de verão 2012/2013, está detalhado no final de Material e Métodos.

✓Assim, os sistemas avaliados foram:

- Sistema plantio direto contínuo sob sucessão de culturas,
- Sistema plantio direto contínuo sob rotação de culturas,
- Sistema plantio direto com intervenção mecânica com cruzador de três em três anos sob sucessão de culturas, e
- Sistema plantio direto com intervenção mecânica com cruzador de três em três anos sob rotação de culturas.

No mês de março do ano de 2000 foi realizada a descrição do perfil pedológico nas áreas sob cultivo e vegetação natural. Como a proposta era de que um perfil de solo sob vegetação natural fosse utilizado como testemunha da ocorrência de possíveis alterações,

optou-se por uma área pertencente à Fazenda Ferraz, distante 4 Km do local do experimento, numa meia encosta leste, com remanescente de vegetação primitiva da região.

A vegetação atual é caracterizada por dossel uniforme compostas por macro e mesofanerófitos (predominante), com ocorrência de gêneros pertencentes às famílias *magnoliaceae* e *vochysiaceae*, que constituem indicações claras de um excelente estado de conservação da vegetação remanescente e, conseqüentemente, das características morfológicas e atributos diagnósticos da classe do solo em questão.

Tanto o local onde está instalada a área de cultivo, como o da vegetação remanescente, estão situados no terço médio de uma vertente com aproximadamente 6% de declividade. Foram abertas trincheiras com seções de 1 metro de largura por 1 metro de profundidade para a descrição do perfil pedológico, tanto na área sob vegetação natural (uma trincheira), como nas parcelas correspondentes aos quatro sistemas avaliados (quatro trincheiras), após a colheita da safra de soja 1999/2000.

As descrições morfológicas foram realizadas de acordo com os procedimentos usuais contidos em LEMOS e SANTOS (1984) utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Nessa época o experimento contava com 12 anos de instalação, ou seja, plantio direto contínuo há 12 anos, sendo que na área com intervenção mecânica com cruzador a cada três anos esta operação havia sido realizada três vezes.

Foram realizadas no mesmo dia (tanto nas áreas sob cultivo como de vegetação natural) as seguintes amostragens por horizontes:

→ amostras deformadas: - destinadas às análises químicas de rotina; à análise de agregados mediante tamisamento úmido (método de Yoder), coletadas no campo entre malhas 8 para 6 mm, seca ao ar até umidade em torno de 8%, passando os agregados da peneira 6mm para a de 4 mm na determinação do DMP (no aparelho de Yoder utilizou-se os tamis 4, 2, 1 e 0,5); umidade em peso (%) e granulométrica. Seguiu-se metodologia proposta pela EMBRAPA (1979).

→ amostras inderformadas com o uso de cilindros de 100 cm³, para determinação da densidade do solo, macro e microporosidade (< 48µm), utilizando-se o método da mesa de tensão, e ainda para determinação capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), usando-se extrator de placas de cerâmicas pressurizada (RICHARDS, 1965).

Após a safra de verão 2000/2001, seguindo o cronograma montado pelos pesquisadores responsáveis pelo experimento, foi realizada a passagem do cruzador na área sob sistema de plantio direto com intervenção a cada três anos visando à alteração da camada superficial do solo. Esta operação (a quarta desde a implantação do experimento) foi realizada após a colheita da safra de verão (no caso cultura da soja) e antes do plantio da safra de inverno, a uma profundidade média de 25 cm, não tendo sido adotadas operações de nivelamento da superfície do solo.

Após a passagem do cruzador, foram abertas trincheiras com 100 cm de largura por 60 cm de profundidade nas áreas sob este sistema de preparo e realizada a descrição do Perfil de Manejo seguindo a metodologia proposta por GUIMARÃES et al. (1993) e TAVARES FILHO et al., (1999). Este procedimento, além de descrever o efeito do cruzador no perfil do solo, foi também tomado como base para as alterações do solo num período de três anos.

Na safra de verão 2003/2004, o experimento já contava com 15 anos de implantação. Procedeu-se a abertura de trincheiras nas áreas sob cultivos, perpendicularmente à linha de cultivo, com 100 cm de largura por 80 cm de profundidade, abrangendo duas plantas por parede do perfil, no estágio de pleno florescimento da cultura da soja, áreas sob sucessão e rotação, respectivamente. Primeiramente, foi realizada uma quantificação do sistema radicular, utilizando-se uma tela com quadrículas de 5 por 5 cm, método da parede de perfil (BOHM, 1979), sendo a morfologia e a orientação das raízes descritas a partir da análise morfoestrutural do Perfil de Manejo, o qual foi efetuado seguindo as recomendações contidas em GUIMARÃES et al. (1993) e TAVARES FILHO et al., (1999).

De acordo com a identificação de organizações estruturais homogêneas no espaço vertical e horizontal do perfil de solo sob cultivo, foram coletadas:

→ amostras deformadas, destinadas às análises químicas de rotina.

→ amostras inderformadas, com o uso de cilindros de 100 cm³, para determinação da densidade do solo, macro e microporosidade (< 48µm), utilizando-se o método da mesa de tensão, e ainda para determinação da curva de retenção de água, usando-se extrator de placas de cerâmicas pressurizada (RICHARDS, 1965). Pela diferença de potencial matricial entre 6 KPa e 33 KPa, determinou-se o índice de vazios, que corresponde ao fluxo de água gravitacional; de 33 KPa a 300 KPa caracterizou a água rapidamente disponível para as

plantas, e no intervalo de 300 KPa a 1500 KPa, a água lentamente disponível para as plantas. Seguiu-se a metodologia da EMBRAPA (1979).

O perfil de resistência à penetração foi avaliado com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR (STOLF et al. 1983), com massa de impacto de 40 cm de altura (h); a umidade do solo em peso (%) está especificada no Quadro 2. O estudo da resistência do solo foi realizado na safra de verão 2003/2004 no estádio de pleno florescimento da cultura da soja, na mesma época e nas mesmas trincheiras (parede de perfil) onde se procedeu à descrição do Perfil de Raízes e o Perfil de Cultivo, de 10 em 10 cm, perfazendo-se os 100 cm de largura por 60 cm de profundidade.

Quadro 2: Porcentuais de umidade do solo (peso) por profundidade obtida nas áreas sob diferentes sistemas de manejo quando da avaliação da resistência do solo à penetração – em %.

Profundidades (cm)	SPD 3 (S)*	SPD 3 (R)*	SPDC 15 (S)*	SPDC 15 (R)*
	umidade peso			
	(%)			
0 – 10	28,18	28,79	29,10	28,86
10 – 20	28,93	29,11	29,57	29,58
20 – 30	29,51	28,86	29,04	30,03
30 - 40	28,93	28,23	28,51	29,15

*SPD 3 (S): Sistema plantio direto com intervenção com cruzador de ter em ter anos em sucessão

*SPD 3 (R): Sistema plantio direto com intervenção com cruzador de ter em ter anos em rotação

*SPDC 15 (S): Sistema plantio direto contínuo a 15 anos em sucessão de culturas

*SPDC 15 (S): Sistema plantio direto contínuo a 15 anos em rotação de culturas

Entre as safras de verão de 1999/2000 e 2003/2004, procederam-se as seguintes amostragens:

- Coleta de resíduos culturais realizadas após cada colheita (verão e inverno) com lançamento, ao acaso, de seis (6) quadros de 0,25 m² por área, totalizando três anos e meio de amostragens.

- Coleta de dados meteorológicos, cedidos pela estação meteorológica da EMBRAPA Soja, visando determinação do balanço hídrico sequencial utilizando programa desenvolvido pelo Departamento de Agrometeorologia do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), a partir de THORNTHWAITE e MATHER (1955). O balanço hídrico foi utilizado na avaliação do desenvolvimento radicular no perfil do solo e da ocorrência de passíveis déficits de umidade que poderiam acarretar em menores produtividades. Foi utilizado ainda quando da descrição do perfil pedológico na avaliação da umidade (em peso %) dos horizontes sob vegetação natural e sob os diferentes sistemas de manejo do solo, considerando as condições climáticas que precederam ao levantamento de campo. Como já foi citado anteriormente, estas amostragens (para análise a umidade em peso) foram realizadas no mesmo dia tanto nas áreas sob vegetação natural como sob cultivo.

- Dados de produtividade (Kg/ha) foram coletados como medida de avaliação da produtividade das culturas instaladas na seqüência em sucessão e rotação, foi utilizada a produtividade média alcançada no Estado do Paraná descrita abaixo, Quadro 3, tendo como fonte a Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento da estado do Paraná (DERAL, 2004). As produtividades médias do Estado do Paraná entre as safras de 1999/2000 e 2003/2004 estão descritas abaixo:

Quadro 3: Produtividade média de soja, trigo e milho no Estado do Paraná entre 1999 e 2004.

Anos / Safra	Culturas Kg/ha		
	Soja	Trigo	Milho
Verão 1999/2000	2519,2		—
Inverno 2000		1369,1	
Verão 2000/2001	3067,8		—
Inverno 2001		2106,7	
Verão 2001/2002	2890,8		5057,3
Inverno 2002		1504,1	
Verão 2002/2003	3024,5		—
Inverno 2003		2607,5	
Verão 2003/2004	3156,3		—

O controle da fertilidade química, a área total das parcelas, o cronograma das seqüências de culturas entre os anos 1988/1989 e 2012/2013, especificando as culturas instaladas na época deste estudo, assim como o maquinário utilizado neste período, são descritas abaixo:

- Nas áreas de cultivo são aplicados de 2 em 2 anos 1 ton/ha de calcário dolomítico (> 12% MgO) e feita adubação de manutenção 0-28-15 a 200 Kg/ha/ ano, antes da cultura de verão.
- O tamanho total das parcelas é de 225 m² (7,5 x 30,0 m), com uma área útil 182 m² (6,5 x 28,0 m). À distância entre as parcelas é de 10m, para facilitar as operações de veículos e de implementos, já que o experimento é todo mecanizado, visando simular o que acontece em nível de propriedade rural. A área do experimento no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA-Soja), em Londrina – PR, pode ser visualizada na Foto 2.

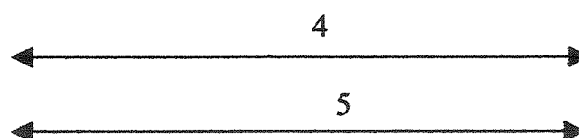
O cronograma (Quadro 4) especifica todo o período e seqüência de culturas programadas para o experimento avaliado neste trabalho, que tem como responsabilidade no desenvolvimento e condução os pesquisadores Eleno Torres e Odilon Ferreira Saraiva. Vale ser ressaltado que o detalhamento deste cronograma, desde seu início, é fundamental, em razão de a maioria dos resultados obtidos neste estudo serem influenciados pelo tempo que os sistemas sob sucessão e rotação de culturas foram implantados. Em detalhe, os períodos de coleta de dados referentes ao presente estudo, descritos abaixo:

- 1 – Levantamento Pedológico. (12 anos implantação).
- 2 – Descrição do Perfil Cultivo após passagem cruzador.
- 3 – descrição do Perfil Cultivo, Perfil Raízes e Resistência do Solo a Penetração.
- 4 – Período de coleta de dados do presente estudo.
- 5 – Coleta de dados de produtividade, matéria seca (resíduos cultura) e climáticos (balanço hídrico).

Quadro 4: Cronograma de sequência de culturas e épocas dos levantamentos de dados.

		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão	
				90 /						93 /											
		88 / 89	89	89 / 90	90	91	91	91 / 92	92	92 / 93	93	94	94	94 / 95	95	95 / 96	96	96 / 97			
rotação	Soja	AV*	Soja	TM*	ML*	Trigo	Soja	Trigo	Soja	NB*	ML	AV	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja				
sucessão	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja				

																		1	2																			3
																		↓	↓																			↓
																		Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão			
																		97	97 / 98	98	98 / 99	99	99 / 00	00	00 / 01	01	01 / 02	02	02 / 03	03	03 / 04	04	04 / 05					
rotação		TM	ML	AV	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	TM	ML	AV	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja																					
sucessão		Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja																					



		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão	
		09 /																			
		05	05 / 06	06	06 / 07	07	07 / 08	08	08 / 09	09	10	10	10 / 11	11	11 / 12	12	12 / 13				
rotação		TM	ML	AV	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	TM	ML	AV	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja				
sucessão		Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja				

*LEGENDA:

AV = aveia preta (*Avena strigosa*); TM = tremçoço branco (*Lupinus albus*); NB = nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); ML = milho.



Foto 02: Vista parcial da fazenda experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMRAPA Soja), em Londrina – PR. No centro, a área do experimento em estudo (safra verão 2001/20020, com as culturas da soja (sucessão) e a do milho (rotação).

O maquinário empregado no plantio e colheita foram um Trator New Holland 7630 Turbo – massa com lastros e água nos pneus em torno 4800 Kgf (Foto 3A), Colheitadeira SLC 7500, massa (liquida) de 7950 Kg liquido (Foto 3B) e Plantadeira Semeato SHM 15 PD, massa (liquida) de 2470 Kgf (Foto 3C).

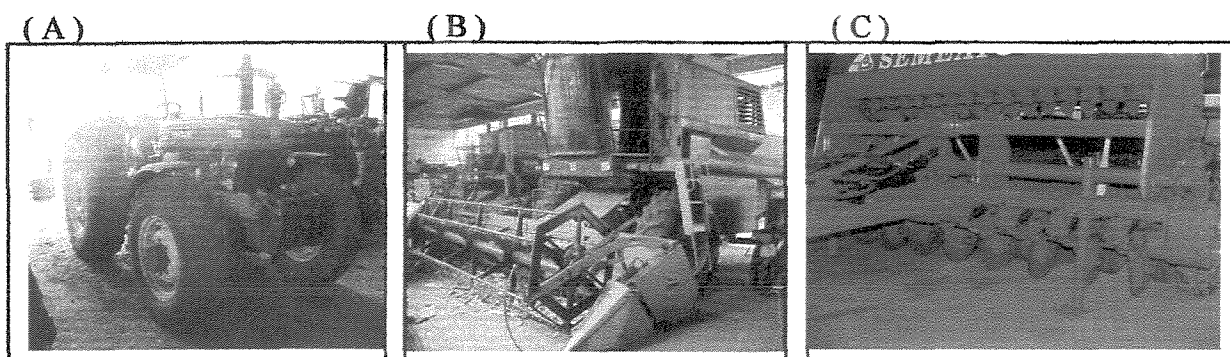


Foto 3: Maquinário utilizado: Trator New Holland 7630 Turbo (A), Plantadeira Semeato SHM 15 PD, em detalhe discos de corte (B) e Colheitadeira SLC 7500 (C).

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Nos Quadros 5, 6 e 7 estão as descrições morfoestruturais, os resultados das análises de umidade (em peso - %) e granulométrica do solo das áreas avaliadas, classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico.

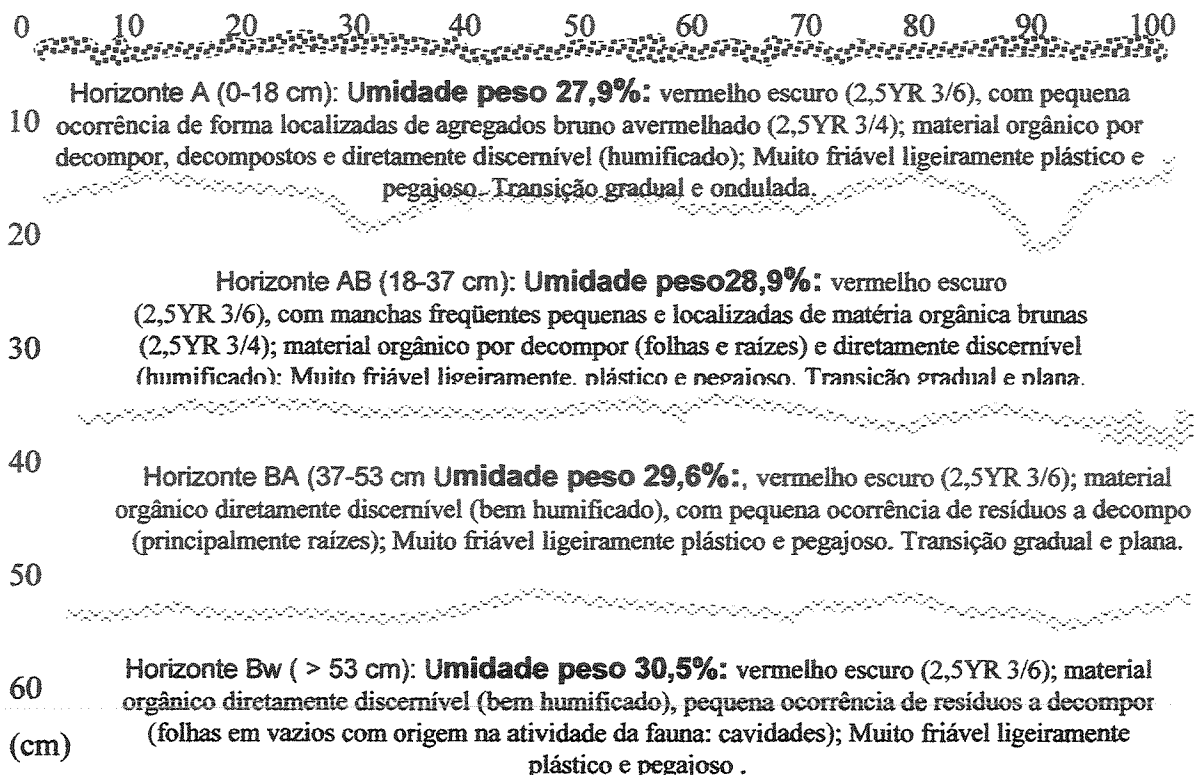
Os resultados das descrições e análises confirmaram características morfoestruturais e granulométricas homogêneas entre os solos das duas áreas estudadas (cultivada e natural). A principal diferenciação assinalada é uma alteração do estado estrutural nos primeiros 40 cm superficiais dos perfis de solo sob cultivo, em relação ao perfil sob vegetação, na profundidade correspondente ao horizonte A (A e AB).

Como é característica desta classe de solo, observou-se uma seqüência de horizontes A – Bw, de baixo gradiente textural, com transição gradual e ondulada entre os horizontes A/AB e gradual e plana a partir do AB/BA no perfil de solo sob vegetação, de acordo com critérios morfológicos citados por PRADO (1995) para esta classe de solo. A mesma característica de transição entre horizontes foi constatada no perfil sob sistema plantio direto contínuo, tanto nas áreas sob sucessão como rotação de culturas. Já nas áreas sob Sistema Plantio Direto com Intervenção de três em três anos, observaram-se transições gradual e ondulada entre os horizontes A/AB e AB/BA e gradual e plana BA/Bw, conforme observações descritas nos Quadros 5, 6 e 7.

Com relação às alterações pedológicas, não se constataram nas áreas sob o mesmo sistema de manejo do solo, seja cultivadas com sucessão ou rotação de culturas, diferenças nas profundidades de ocorrência dos horizontes diagnósticos de superfície e subsuperfície (Bw). No entanto, nas áreas sob por rotação de culturas, observou-se uma evolução do estado estrutural do solo para uma condição mais próxima a descrita sob vegetação natural, principalmente ao nível de horizonte A, fator provavelmente associado a maior variabilidade na natureza do tecido vegetal neste sistema de cultivo.

Com relação a diferenças de critérios morfológicos entre os Sistemas Plantio Direto Contínuo e com Intervenção Mecânica, os principais parâmetros foram quanto à espessura dos horizontes, estado estrutural (nitidez, tipo e classe) e presença de manchas mais freqüentes de matéria orgânica brunas (2,5YR 3/4), fatores associados à ação das hastes do Cruzador.

Quadro 5: Descrição morfoestrutural do perfil pedológico, umidade em peso (%) e composição granulométrica da área sob vegetação natural.



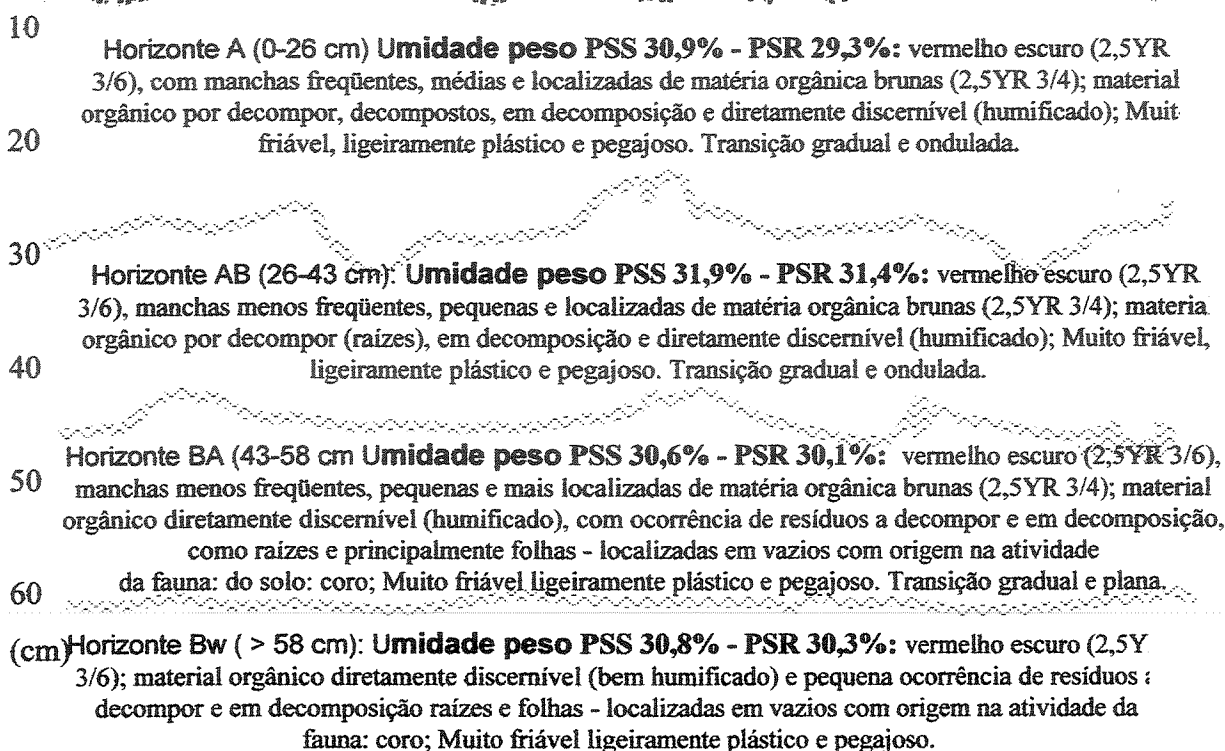
Características Morfológicas	Horizontes			
	A	AB	BA	Bw
Estado Estrutural	FNG, fraca, pequena, blocos subangulares se desfaz facilmente, fraca, pequena, grumosa	FNG, fraca, pequena e média, blocos subangulares/moderada, pequena granular	FPNG, moderada, média, blocos subangulares/fraca, pequena/subangular e pequena granular.	FPNG, fraca, média, blocos subangulares se desfaz forte, pequena granular.
Porosidade	ME: pequenos: intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.	ME: pequenos: forma intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.	ME: pequenos: forma intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.	ME: pequenos: forma intra e interagregados; médios: tubular.
Composição Granulométrica	Argila: 779 g.Kg ⁻¹ Silte : 152 g.Kg ⁻¹ Areia: 69 g.Kg ⁻¹	Argila 773 g.Kg ⁻¹ Silte :149 g.Kg ⁻¹ Areia: 78 g.Kg ⁻¹	Argila: 798 g.Kg ⁻¹ Silte: 137 g.Kg ⁻¹ Areia: 65 g.Kg ⁻¹	Argila: 831 g.Kg ⁻¹ Silte : 123 g.Kg ⁻¹ Areia: 46 g.Kg ⁻¹
Atividade da Fauna do Solo	ME:cupins, formigas, coleópteros, aranhas, colêmbolas e minhocas	ME:cupins, formigas, coleópteros, aranhas, colêmbolas e minhocas	ME:cupins, formigas, coleópteros, colêmbolas e minhocas	Moderada: cupins e minhocas

FNG: Fragmentar, nítida, generalizada; FPNG: Fragmentar, pouco nítida, generalizada; ME: Muito elevada.

EO: Elevada ocorrência; MO: Média Ocorrência

Quadro 6: Descrição do perfil pedológico, umidade em peso (%) e composição granulométrica sob sistema plantio direto com intervenção de três em três anos em sucessão e rotação de culturas.

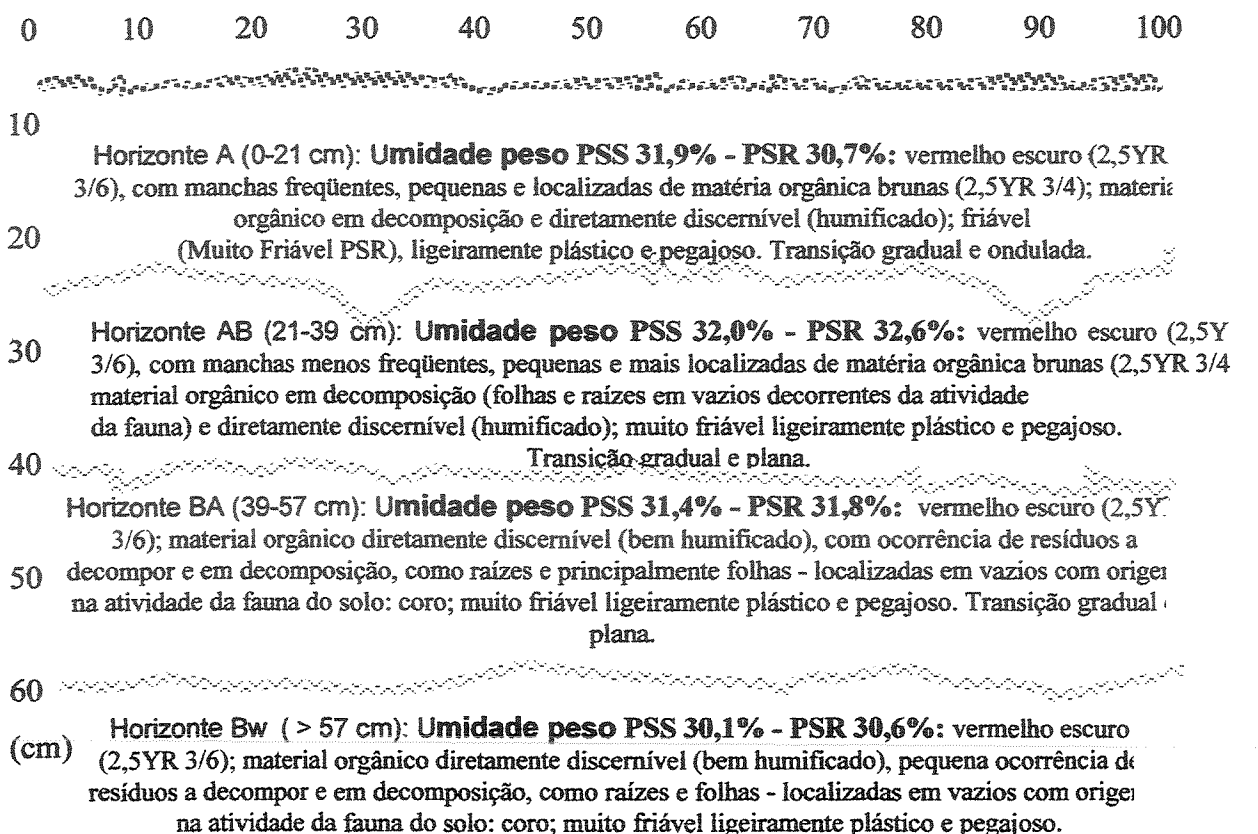
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



Características Morfológicas	Horizontes			
	A	AB	BA	Bw
Estado Estrutural	FNG: fraca a moderada, pequena média e grande blocos subangulares se desfaz fraca pequena e média angular em PSS e media moderada subangular ocorrência grumosa, principalmente PSR.	FNG, moderada, pequena, média e grande, blocos subangulares se desfaz moderada pequena e media blocos subangulares no PSS e subangular em PSS e fraca pequena e média subangular no PSR.	FPNG, moderada pequena e média, blocos subangulares se desfaz moderada, pequena e média blocos subangulares no PSS e fraca, pequena, blocos subangular no PSR, e fraca pequena granular	FPNG, fraca, média, blocos subangulares se desfaz forte pequena granular
Porosidade	ME: pequenos: intra (PSR) e interagregados; médios: fissuras, tubular e cavidades.	ME: pequenos: intra (principalmente PSR) e interagregados; tubular e cavidades.	ME: pequenos: intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.	ME: pequenos: forma intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.
Composição Granulométrica	Argila: 783 g.Kg ⁻¹ Silte : 155 g.Kg ⁻¹ Areia: 62 g.Kg ⁻¹	Argila 807 g.Kg ⁻¹ Silte :138 g.Kg ⁻¹ Areia: 55g.Kg ⁻¹	Argila: 823g.Kg ⁻¹ Silte: 118 g.Kg ⁻¹ Areia: 59 g.Kg ⁻¹	Argila: 828 g.Kg ⁻¹ Silte : 124 g.Kg ⁻¹ Areia: 48 g.Kg ⁻¹
Atividade da Fauna do Solo	ME:cupins, formigas, coleópteros, aranhas, minhocas	ME:cupins, formigas, coleópteros, aranhas e minhocas	ME:cupins, formigas, coleópteros, aranhas e minhocas	Moderada: coro, cupins e minhocas

FNG: Fragmentar, nítida, generalizada; FPNG: Fragmentar, pouco nítida, generalizada; ME: Muito elevada; EO: Elevada ocorrência; MO: Média ocorrência; PSR: Perfil sob rotação culturas; PSS: Perfil sob sucessão; NC: Não coerente.

Quadro 7: Descrição do perfil pedológico, umidade em peso (%) e composição granulométrica da área sob sistema de plantio direto contínuo há 15 anos em sucessão e rotação de culturas.



Características	Horizontes			
Morfológicas	A	AB	BA	Bw
Estado Estrutural	FNG, fraca a moderada, pequena, média e grande, blocos subangulares se desfaz moderada (fraca PSR) pequena e média angular; acentuada ocorrência de fraca, pequena grumosa tanto em PSS como PSR.	FPNG, fraca a moderada, média e grande, blocos subangulares se desfaz fraca (PSR) e moderada (PSS), média subangular e pequena subangular	FPNG, moderada, blocos subangulares se desfaz moderada e pequena blocos subangular e pequena granular	FPNG, fraca, média, blocos subangulares se se desfaz forte pequena granular.
Porosidade	ME: pequenos: intra (principalmente PSR) e interagregados; médios: fissuras, tubular cavidades.	ME: pequenos: intra e interagregados; médios: tubular, cavidades.	ME: pequenos: intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.	ME: pequenos: intra e interagregados; médios: tubular e cavidades.
Composição Granulométrica	Argila: 789g.Kg ⁻¹ Silte : 152 g.Kg ⁻¹ Areia: 59 g.Kg ⁻¹	Argila 817 g.Kg ⁻¹ Silte :135 g.Kg ⁻¹ Areia: 48g.Kg ⁻¹	Argila: 835g.Kg ⁻¹ Silte: 107 g.Kg ⁻¹ Areia: 58 g.Kg ⁻¹	Argila: 841 g.Kg ⁻¹ Silte : 129g.Kg ⁻¹ Areia: 30 g.Kg ⁻¹
Atividade da Fauna do Solo	ME: cupins, formigas, coleópteros, aranhas e minhocas	ME: cupins, aranhas, formigas, coleópteros. minhocas	ME: cupins, formigas, minhocas coleópteros,	Moderada: coro, cupins e minhocas

FNG: Fragmentar, nítida, generalizada; FPNG: Fragmentar, pouco nítida, generalizada; ME: Muito elevada; EO: Elevada ocorrência; MO: Média ocorrência; PSR: Perfil sob rotação culturas; PSS: Perfil sob sucessão; NC: Não coerente; OPV: Orientação predominantemente vertical; SOP: Sem orientação predominante.

No perfil de solo sob Sistema Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos, ocorreram modificações morfoestruturais até uma profundidade correspondente ao horizonte BA (43 - 58 cm), considerando aos mesmos parâmetros avaliados sob vegetação natural, principalmente quanto à ocorrência de manchas, relacionadas à forma e ocorrência de material orgânico no perfil, estado estrutural e tipo de vazios. Já na área sob sistema Plantio Direto Contínuo, as modificações mais acentuadas foram em relação ao estado estrutural e tipo de vazios, sendo que a partir do horizonte BA (39 - 57 cm) tanto a descrição dos parâmetros morfoestruturais como o resultados obtidos com a coleta de dados para análises físicas e químicas, foram semelhantes aos descritos e coletados sob vegetação natural.

De acordo com EMBRAPA (1984) e EMBRAPA (1988), a alteração do material de origem promoveram o desenvolvimento de solos argilosos associados a elevados conteúdos de óxidos de ferro e alumínio, de coloração vermelha escura. A associação destes fatores juntamente com a matéria orgânica caracterizou a cor vermelha-escura (2,5YR 3/6) dos horizontes descritos sob vegetação, mesma cor correspondente aos horizontes sob cultivo.

Tanto nos horizontes A e AB sob Sistema Plantio Direto com Intervenção Mecânica de 3 em 3 Anos como no horizonte A no Sistema Plantio Direto Contínuo, observaram-se manchas de matéria orgânica brunas (2,5YR 3/4) de forma freqüente e localizada, o que também fora observado por BLANCANEUX et al. (1996). Estas manchas ocorreram em forma e freqüência semelhantes entre os sistemas de cultivo por rotação e sucessão de culturas, sendo maior a freqüência destas nos perfis sob Sistema Plantio Direto com Interferência Mecânica a cada 3 anos.

A maior ocorrência destas manchas, assim como a presença de matéria orgânica ainda a decompor, ou em decomposição nos horizontes A e AB sob sistema de plantio direto com interferência mecânica, foi relacionada à ação das hastes do escarificador, em função de uma provável incorporação de resíduos de cultivos ao longo do tempo. Embora o escarificador tipo Cruzador não seja um implemento com características de incorporação de material orgânico, no rompimento da camada superficial do solo parte do resíduo da cultura anterior disposta na superfície do solo foi incorporada com a ação da haste, que trabalha em torno de 25 cm de profundidade, de acordo com o observado por TORRES et al. (1998).

Após a safra de verão 2000/2001, quando foi realizada a operação com o cruzador, ficou caracterizado um total de 3033,0 Kg/ha de resíduos de cultivo (matéria seca) na área sob sucessão, e 3117,7 Kg/ha na área de rotação (Quadro 8). Com a descrição do perfil, foi constatada a incorporação de folhas, hastes e caule da planta de soja até uma profundidade de 20 cm após a operação com o cruzador, este material foi estimado em torno de 2 a 3%, considerando volume solo x resíduos orgânicos.

Enquanto no sistema plantio direto com intervenção o material orgânico é incorporado pela ação das hastes do cruzador, tanto nas áreas sob sistema plantio direto contínuo como sob vegetação natural, a atividade da fauna e o sistema radicular são os principais meios de aporte de resíduos orgânicos (por decompor ou em decomposição) em subsuperfície, de acordo com GUIMARÃES et al. (1993).

Outro meio de incorporação de resíduos orgânicos, embora em pequenas quantidades e baixa profundidade (no máximo em torno de 10 cm), seria a adoção de semeadoras dotadas de facões próximos aos discos de corte, que tem como função o rompimento estrutural da superfície do solo, o que não é o caso deste trabalho. As semeadoras utilizadas no plantio nas áreas estudadas não são dotadas destes facões, tendo somente discos de corte, que incorporam em menor quantidade.

Enquanto na área sob vegetação natural foi constatada uma serrapilheira com espessura em torno de 8 cm, composta principalmente de galhos, folhas e frutos, nas áreas sob sistema plantio direto onde os resíduos vegetais das culturas anteriores são mantidos na superfície do solo, este acúmulo não passou de 1 cm de espessura, mesmo assim ocorrendo de forma localizada, como pode ser observado na Foto 4, de acordo com PICCININ et al (1999).

Na área sob vegetação natural, com cobertura arbórea e arbustiva, ocorre uma redução na amplitude das variações térmicas e de umidade, e com um aporte de material orgânico tanto em termos de quantidade como de natureza do tecido vegetal, tem-se um equilíbrio entre adições e perdas por decomposição, que permite um acúmulo progressivo do resíduo superficial, condição típica deste tipo de Floresta Tropical Subperenifólia, de acordo com o IBGE (1992) no seu Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Esse processo foi associado ao acúmulo de material orgânico tanto na superfície do solo como nos horizontes superficiais (A

e AB), o que pode ser constatado na descrição morfoestrutural e nos resultados obtidos em relação ao teor de carbono e/ou matéria orgânica no solo (Quadro 9) sob floresta.

A dificuldade de se formar uma serrapilheira e/ou camada mais espessa de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, tanto nas áreas sob sucessão como, principalmente, de rotação de culturas, pela maior diversidade da natureza de tecido vegetal, foi associada às condições climáticas da região Norte do Estado do Paraná, o que também foi observado por TORRES et al., (1993). A região de estudo situa-se ao norte do Trópico de Capricórnio, caracterizada por elevados índices de temperatura e umidade, fatores relacionados a um processo mais acentuado na decomposição da matéria orgânica na superfície do solo, o que é citado por Muzilli (1985).

As Fotos 06 e 07 ilustram a camada de acúmulo de resíduos de material orgânico na superfície do solo após 14 anos de sistema plantio direto contínuo e com intervenção mecânica, tanto em áreas cultivadas em sucessão como rotação de culturas. Pode se observar que não ocorre uma cobertura espessa e nem total da superfície do solo com resíduos de culturas anteriores (ou palhada). No entanto, o aporte contínuo destes resíduos de cultura na superfície do solo juntamente com a decomposição de sistemas radiculares de culturas anteriores trouxe qualidade em termos de teores de Carbono (C) no perfil do solo, como pode ser observado no Quadro 9.

Como foi descrito anteriormente, o experimento avaliado está inserido em um cronograma de seqüência de culturas para 25 anos, entre as safras de verão de 1988/1999 e 2012/2013. Nas áreas cultivadas em sucessão tem-se as seqüências das culturas comerciais soja e trigo; já nas áreas com rotação, são três culturas comerciais: soja, trigo e milho, e três culturas de cobertura do solo: uma gramínea - aveia preta (*Avena strigosa*), uma leguminosa – tremoço branco (*Lupinus albus*) e uma crucífera – nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Mesmo adotando sistemas de cultivos com rotação de culturas, ao se observar as Fotos 4B e 4C feitas após a colheita de verão 2001/2002, não se constata evidencia de resíduos vegetais dos cultivos anteriores (mesmo do tremoço, cultivado no inverno de 2001) na superfície do solo, somente da cultura do milho, recém colhida.

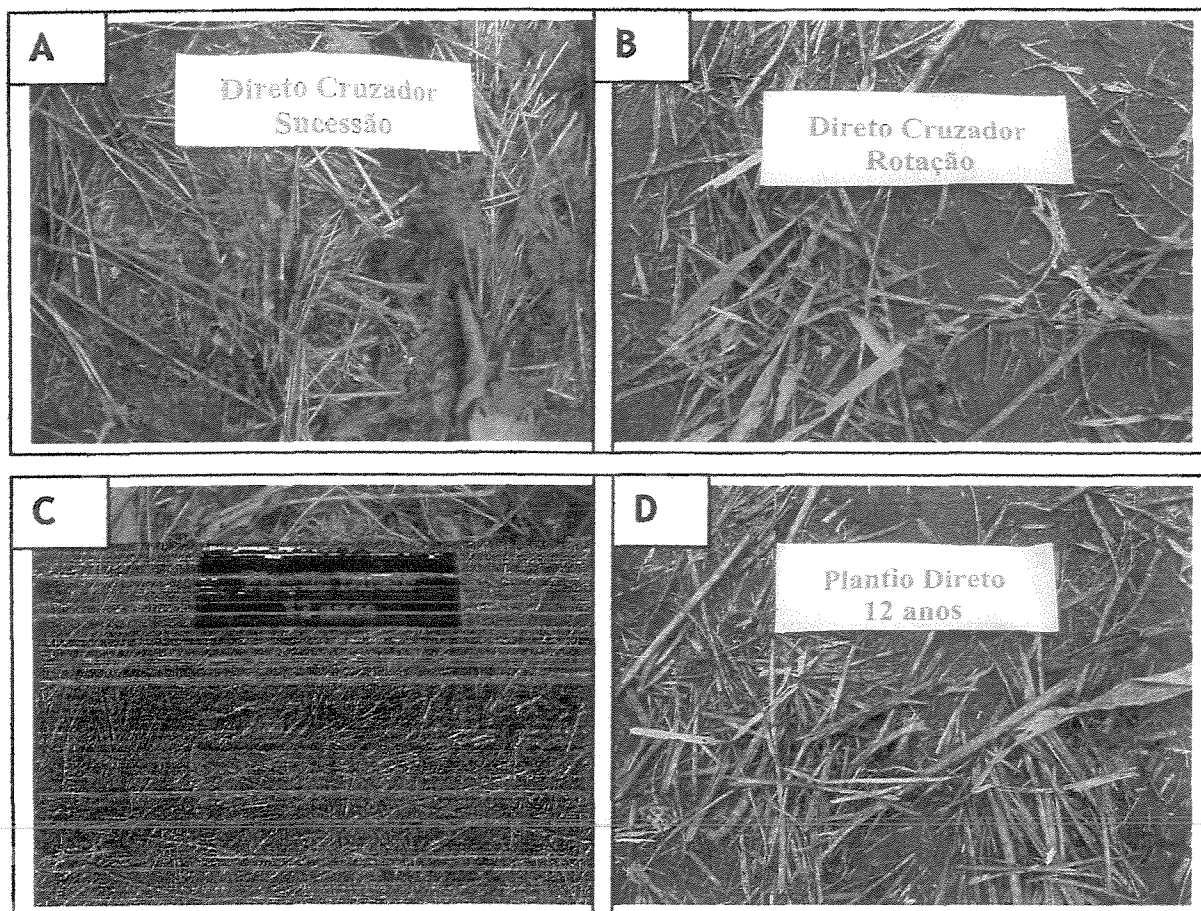


Foto 4: Resíduos de cultura em área sob sistemas plantio direto: com intervenção mecânica de três em três anos em sucessão - soja (A) rotação – milho (B) e contínuo há 15 anos em sucessão – soja (C) e rotação - milho (D) de culturas.

Assim como o tremoço, após a colheita da soja, a superfície do solo fica praticamente coberta com os resíduos da cultura que, são distribuídos na área pela própria colheitadeira, como pode ser observado nas Fotos 4A e 4C. Este é um fator que ocorre em um primeiro momento, sendo que as leguminosas (de baixa relação C/N, em relação às gramíneas), decompõem-se em um menor intervalo de tempo (DERPSCH et al. 1991); no entanto, foi constatada cobertura da superfície do solo pela área foliar da cultura de inverno (trigo), a presença de resíduos da cultura de soja.

Mesmo não se constatando uma maior ocorrência de resíduos na superfície do solo nas áreas sob rotação de culturas, em relação às áreas em sucessão, o aporte de matéria seca é superior (em torno de 40%) nestas áreas, a partir do momento em que a cultura do milho entra na seqüência de rotação, como pode ser observado nos resultados descritos no Quadro 8.

Quadro 8: Matéria seca produzida pelas culturas comerciais e de adubação verde utilizadas nos cultivos por sucessão e rotação avaliadas nos sistemas plantio direto contínuo e com intervenção mecânica de três em três anos.

Safras (anos)	Sistemas de manejo de solo			
	SPD 3 (S)*	SPD 3 (R)*	SPDC (S)*	SPDC (R)*
	Cultura:		Kg/ha	
			Materia Seca	
Verão 99/00	Soja - 3063,7	Soja - 3180,6	Soja - 2963,8	Soja - 3175,5
Inverno 00	Trigo - 1830,8	Trigo - 2052,2	Trigo - 1795,5	Trigo - 2055,3
Verão 00/01	Soja - 3033,0	Soja - 3117,7	Soja - 3412,8	Soja - 2777,7
Inverno 01	Trigo - 2533,2	TM* - 2789,1	Trigo - 2534,0	TM - 2823,1
Total Acumulado 1	10.460,7	11.139,6	10.706,1	10.831,6
Verão 01/02	Soja - 2801,2	Milho - 5314,2	Soja - 3027,7	Milho - 5302,8
Inverno 02	Trigo - 2701,8	Aveia - 2989,5	Trigo - 2743,0	Aveia - 2982,2
Verão 02/03	Soja - 3247,2	Soja - 3343,5	Soja - 3189,5	Soja - 3367,2
Inverno 03	Trigo - 2711,2	Trigo - 2919,5	Trigo - 2715,0	Trigo - 2982,2
Total Acumulado 2	11.461,4	14.566,7	11.675,2	14.634,4
Total Acumulado em 3 Anos	21.992,1	25.706,3	22.381,3	25.466,0

SPD (3 -S): Sistema plantio direto com intervenção mecânica de três em três em sucessão

SPD (3 -R): Sistema plantio direto com intervenção mecânica de três em três em rotação

SPDC (S): Sistema plantio direto contínuo há 15 anos em sucessão

SPDC (R): Sistema plantio direto contínuo há 15 anos em rotação

TM: Tremoço.

Entre as safras de verão 1999/20000 e inverno 2001, o total de matéria seca e/ou resíduos culturais equivaleram-se nas seqüências de culturas em sucessão e rotação, em torno de 10.000 Kg/ha (Total Acumulado 1, Quadro 8) , mesmo com o tremoço sendo cultivado no inverno de 2001 (no sistema de rotação). Já a partir da safra de verão 2001/2002 até a safra de

inverno 2003, o total de matéria seca passou nas áreas sob rotação de culturas para em torno de 14.000 Kg/ha, considerando um mesmo período de tempo, permanecendo os mesmos valores nas áreas em sucessão (Quadro 8).

Em relação a um maior ou menor aporte de resíduos culturais na superfície do solo em consequência do manejo do solo em plantio direto, com intervenção mecânica de três em três anos ou sistema contínuo por 15 anos, não se constatou um resultado que caracterizasse alguma diferença. Em três anos, da safra de verão 1999/2000 à safra de inverno de 2003, nas áreas em sucessão de culturas totalizaram-se cerca de 22.000 Kg/ha e rotação em torno de 25.000 Kg/h. Esta diferença foi associada à sequência da cultura do milho nas áreas de rotação, o que ficou claro quando se comparam os resultados entre as safras de verão 2001/2002 e de inverno 2003. Com relação à cultura da aveia, a massa de resíduos (Kg/ha) equivaleu-se ao da cultura do trigo (Quadro 8).

O aporte e preservação (não incorporação) de resíduos vegetais na superfície do solo, tanto nos sistemas plantio direto como na área sob vegetação natural, constitui fatores associados a uma maior diversidade da fauna que tem o solo como habitat. A camada de resíduos vegetais sobre a superfície do solo pode ser considerada o ponto de partida para a ciclagem de nutrientes e a fonte primária de energia para a fauna (no caso mesofauna) se estabelecer, de acordo com GASSEN (1993) e SIQUEIRA et al. (1994).

Não constitui objeto de investigação a quantificação de espécies presentes, além de que, a abertura de uma trincheira provoca um impacto que torna difícil essa operação. Entretanto, nas áreas de estudo foram constatadas as presenças de minhocas, aracnídeos, centopéias, piolhos-de-cobra, formigas, cupins e espécies de coleópteros, destacando-se o coró (*Phyllophaga cuyabana*) em forma de larva nas áreas sob cultivo, a semelhanças dos resultados observados por BOUMA et al. (1982); LAVELLE et al. (1992) e OLIVEIRA et al. (1997).

A atividade exercida pela fauna ficou clara quando da descrição dos perfis, de forma mais acentuada nos primeiros 30 cm de profundidade, mas constatada até 50 cm. Essa ação traduz-se pela fragmentação de resíduos orgânicos, no caso das formigas, predação de outras espécies (formigas e aracnídeos), mistura do solo com material orgânico, a partir da alimentação ou do transporte do resíduo para horizontes subsuperficiais AB, BA (minhocas, formigas, cupins,

centopéias, piolho de cobra e coró), atuando assim na agregação do solo e na abertura de canais e galerias (vazio tipo cavidades). São componentes importantes na reciclagem de nutrientes na superfície do solo, de acordo com GASSEN (1993). As formigas são consideradas boas indicadoras da riqueza de outros componentes da biota, ao controlarem as populações de diversos outras espécies (BRANDÃO et al., 2000), o que foi constatado nas áreas sob cultivo, tanto em sucessão como rotação (ambas na época implantadas com a cultura da soja, safra verão 2002/2003), com o ataque destas a população de corós.

Os diâmetros das cavidades variaram entre as áreas estudadas, até um máximo de 2 mm nos perfis sob cultivo, quando da escavação do solo realizada por corós, que formaram câmaras a uma profundidade entre 30 e 40 cm, o que está de acordo com GASSEN (1993) e OLIVEIRA et al. (1997). As cavidades desenvolvidas por minhocas, corós, piolhos de cobra, centopéias, formigas e cupins desenvolveram uma ou mais aberturas na superfície, sendo ramificadas e irregulares, com predomínio da orientação vertical, mas sendo comum também à ocorrência no sentido horizontal. Nas câmaras, muitas vezes interligadas pelos vazios do tipo cavidades, observou-se a ocorrência de ovos nas comunidades de cupins, cavidades desenvolvidas por minhocas até 60 cm de profundidade; o mesmo se deu em relação a quantidades de resíduos vegetais transportados da superfície, principalmente folhas, desde inteiras até bem fragmentadas, assim como observado por BAL (1982) e BOUMA et al. (1982).

Com relação à ocorrência de espécies e da atividade exercida pela fauna nos perfis de solo sob cultivo, não foi constatada diferença entre as áreas sob sucessão e rotação de cultura, o que pode estar associado à não quantificação mencionada. No entanto, a ocorrência de mesmas espécies entre as áreas de cultivo e sob vegetação natural torna-se bom indicador de um equilíbrio da atividade biológica do solo nos sistemas de plantio direto avaliados.

Este equilíbrio pode estar associado, além do aporte e preservação dos resíduos vegetais na superfície do solo, à não movimentação periódica do solo com implementos, além da elevação dos teores de matéria orgânica no perfil (Quadro 9), maior umidade (Quadros 5, 6 e 7) e mesmo maior retenção de água no solo quando se comparam os resultados obtidos em relação à área sob vegetação natural (Quadro 10), fatores essenciais para o estabelecimento da fauna do solo, de acordo com CATTELAN (1993) e TORRES et al. (1993).

Relacionando os resultados de Carbono das áreas sob sistema plantio direto e de vegetação natural (Quadro 9), constatou-se evidências de um novo equilíbrio do nível de matéria orgânica está ocorrendo no perfil do solo, tanto em termos de teores, como de sua concentração em profundidade, independentemente da sequência de culturas por sucessão ou rotação, em conformidade com observações anteriores (PICCININ et al., 1998). Sendo uma Floresta Tropical Subperenifólia, de vegetação arbórea e arbustiva, a adição de material orgânico dá-se predominantemente nos horizontes superficiais, como, de fato, ficou caracterizado nesta área, com os maiores teores de carbono encontrados nos horizontes A e AB, o que está de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (1992).

Os resultados de Carbono (matéria orgânica) foram altos tanto na área sob vegetação natural como sob os sistemas plantio direto, segundo especificações de RAIJ (1991) e superiores aos citados pela FUNDAÇÃO ABC (1993) e SCAPINI et al. (1998).

Tanto na área sob vegetação natural, como sob cultivo os teores de C mostraram decréscimo para a subsuperfície (Quadro 9). Os resultados de Carbono nos horizontes BA e Bw nas áreas sob plantio direto, principalmente nos perfis sob rotação de culturas, foram associados ao cultivo de gramíneas (trigo, aveia, milho) safra após safra que propiciou um maior aporte de material orgânico nestes horizontes, em consequência de um sistema radicular com características de maior colonização do perfil de solo.

Um outro fator observado é que no horizonte A os teores de C se equivalem nos sistemas plantio direto contínuo e com intervenção mecânica de três em três anos; já no horizonte AB, nas áreas com intervenção mecânica os valores de matéria orgânica são superiores. Este resultado está de acordo com o observado na descrição do Perfil de Manejo, quando se constatou que a ação da haste promoveu a incorporação de resíduos culturais (soja) até a uma profundidade de 20 cm.

Quadro 9: Propriedades químicas de solo coletas por horizonte em áreas sob vegetação natural, Sistema Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos e Sistema Plantio Direto Contínuo há 12 Anos cultivadas em Sucessão e Rotação de Culturas.

Horizontes	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol _c /dm ³							%	g/dm ³	mg/dm ³	

Vegetação Natural

A (0-18)	4,55	0,18	6,64	2,63	1,34	0,12	10,73	4,09	38,12	33,2	57,1	2,3
AB (18-37)	4,18	0,59	7,31	2,31	0,67	0,13	10,42	3,11	29,85	27,2	46,8	1,4
BA (37-53)	4,12	0,84	6,35	1,31	0,47	0,03	8,16	1,81	22,18	9,4	16,2	1,8
Bw (> 53)	4,08	1,10	7,04	0,81	0,33	0,04	8,22	1,18	14,36	8,1	13,9	1,3

Sistema de Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos em Áreas Cultivadas Sob Sucessão e Rotação de Culturas

Sucessão

A (0-26)	5,18	0,00	3,22	5,21	1,37	0,16	9,95	6,73	67,6	22,8	39,2	20,6
AB (26-43)	5,54	0,00	2,29	4,26	1,17	0,17	7,80	5,51	66,9	21,1	36,3	6,6
BA (43-58)	5,41	0,00	2,58	3,13	1,01	0,06	6,77	4,19	57,2	10,8	18,6	1,9
Bw (> 58)	5,28	0,00	3,42	2,58	0,62	0,05	6,67	3,25	48,7	7,7	13,2	1,4

Rotação

A (0-26)	5,48	0,00	3,08	5,87	1,97	0,58	11,50	8,42	73,2	25,3	43,5	29,56
AB (26-43)	5,30	0,00	3,10	4,30	1,11	0,30	8,87	5,77	65,0	22,3	38,4	10,2
BA (43-58)	5,18	0,00	3,27	2,91	0,88	0,09	7,15	3,88	54,3	12,1	20,8	1,6
Bw (> 58)	5,14	0,00	3,65	2,40	0,67	0,03	6,75	3,10	45,9	8,2	14,1	1,2

Sistema de Plantio Direto Contínuo há 14 Anos em Áreas Cultivadas Sob Sucessão de Culturas

Sucessão

A (0-21)	5,64	0,00	3,36	6,03	1,97	0,65	12,01	8,65	72,0	23,1	39,7	23,2
AB (21-39)	5,58	0,00	2,99	4,68	0,87	0,05	8,59	5,60	65,2	20,2	34,7	3,8
BA (39-57)	5,48	0,00	3,01	3,63	0,61	0,05	7,30	4,29	58,8	8,3	14,3	2,1
Bw (> 57)	5,27	0,00	3,61	2,58	0,67	0,03	6,89	3,28	47,6	7,1	12,2	1,4

Rotação

A (0-21)	5,58	0,00	3,41	5,48	1,61	0,64	11,14	7,73	69,3	26,8	46,1	31,4
AB (21-39)	5,49	0,00	2,89	4,41	1,11	0,36	8,77	5,88	67,1	21,7	37,3	4,9
BA (39-57)	5,44	0,00	3,19	3,23	0,78	0,11	7,31	4,12	56,4	9,9	17,0	2,4
Bw (> 57)	5,26	0,00	3,62	2,53	0,68	0,04	6,87	3,25	47,3	8,8	15,1	1,7

*MO = g/dm³ C x 1,72

Assim como a maioria dos solos tropical e subtropical verificou-se baixos valores de CTC, resultantes da predominância de argilas do tipo 1:1 (VIEIRA, 1975 e EMBRAPA, 1988). Os valores mais elevados de CTC na área sob vegetação natural estão relacionados principalmente, aos teores de Alumínio (Al^{+++}) mais Hidrogênio (H^+) superiores aos obtidos nos horizontes sob sistema plantio direto. Em função da correção da acidez nos sistemas de produção agrícola, o Al^{+++} está ausente nos resultados. Independentemente de ser área de cultivo ou de vegetação natural, os maiores valores de CTC foram obtidos no horizonte A, fator associado ao acúmulo de material orgânico na superfície do solo e maior suficiência em Ca e Mg.

Com a correção do solo para o cultivo, obteve-se um aumento no pH, na disponibilidade de cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}) e potássio (K^+), assim como da saturação por bases (V) nas áreas sob sistema plantio direto, como pode ser constatado no Quadro 9. Os valores mais elevados desses atributos foram encontrados nos horizontes superiores, assim como ocorreu na área sob vegetação natural, e, embora esta seja a superfície de maior aporte de material orgânico e de teores de C, estes resultados não foram associados neste trabalho à sequência de cultivo por sucessão ou rotação de culturas e/ou sistema de manejo contínuo ou com intervenção mecânica de três em três anos. Portanto, sendo a aplicação de calcário e as adubações de manutenção realizadas da mesma forma e quantidades entre os sistemas de manejo avaliados, os resultados semelhantes obtidos são resultantes destas operações.

Com relação aos teores de potássio (K), os valores mais elevados foram obtidos nas áreas sob sistema plantio direto contínuo, 0,65 e 0,64 $cmol/dm^3$ em sequência de sucessão e rotação culturas, respectivamente, havendo uma melhor distribuição no perfil na área onde se adota a rotação de culturas. Assim como o P, o K foi o elemento com menor nível de suficiência com o aumento da profundidade, comportamento semelhante ao constatado na área sob vegetação natural, sendo associado a menor mobilidade destes nutrientes no solo, conforme PAVAN (1985) e RAIJ (1991).

Quanto ao Fósforo (P), considerando a textura muito argilosa do solo estudado, os resultados obtidos caracterizaram teores altos tanto nas áreas em sequência de sucessão como rotação de culturas, segundo especificações de MALAVOLTA et al., (2002), indicando uma possível redução na necessidade de aplicação deste elemento. Os valores mais elevados foram

encontrados no horizonte A na área sob sistema plantio direto contínuo em rotação de culturas; já nos horizontes AB, os maiores teores foram obtidos sob sistema plantio direto com intervenção mecânica a cada três anos, principalmente na área sob rotação de culturas de 10,2 mg/dm³. Esta maior concentração de P em superfície está de acordo com SÁ (1993), estando os maiores valores também associados a adubações de manutenção e a melhor distribuição, no perfil do solo, pelas hastes do cruzador.

O valor elevado de hidrogênio no complexo de troca no solo com vegetação natural está em conformidade com a baixa saturação de bases e com o maior nível de acidez deste solo, como pode ser observado no Quadro 9. Nas áreas sob sistema plantio direto, com pH mediantemente ácido, os resultados evidenciam tanto a neutralização do alumínio (Al^{+++}) como a elevação da saturação de bases, acima de 55 % nos horizontes A, AB e BA, fator associado ao alto suprimento de cálcio (Ca^{++} - principalmente este elemento) e magnésio (Mg^{++}). Estes resultados revertem-se para o sistema plantio direto, pela correção da acidez em maiores profundidades, já que o calcário neste sistema é aplicado na superfície do solo sem qualquer tipo de incorporação.

É de se pressupor uma migração de bases para a subsuperfície no solo; no entanto, não foram quantificadas perdas nos horizontes superiores (com conseqüentes zonas de acúmulo), conforme citado por RAIJ (1991), como fator provável da correção da acidez em maiores profundidades. Este autor menciona ainda que em muitos casos estas movimentações configuram realmente perdas, atravessando o perfil do solo, sem afetar, praticamente, o subsolo. O que se pode argumentar é que, muito provavelmente, o que influenciou, primeiramente, foi à adequação química e física da área antes da implantação dos sistemas plantio direto aqui avaliados, com a correção dos teores de nutrientes e da acidez em superfície e subsuperfície, operações realizadas com subsoladores; aliada a isso, a aplicação, a cada 2 anos, de 1 ton./ha de calcário dolomítico, também afetou a condição.

Portanto, nestes 12 anos de implantação dos sistemas plantio direto até o momento, ocorreram 5 aplicações de calcário (em superfície), sendo a última realizada entre a colheita da safra de verão de 1998/1999 e o plantio de inverno 1999. Vale ser ressaltado que os dados apresentados no Quadro 9, foram coletados após a colheita da safra de verão 1999/2000, e que pela seqüência do cronograma de manejo, a próxima aplicação de calcário seria após a colheita

da safra de verão 2000/2001, coincidindo com a passagem do cruzador nas áreas sob sistema plantio direto com intervenção a cada três anos.

Estas mesmas operações também se coincidiram após a safra de verão 1994/1995, sendo que, na sequência do cronograma, a operação com o cruzador era realizada sempre um ano após a aplicação do calcário, que é aplicado em superfície sem qualquer tipo de incorporação. No entanto, os valores de pH, os teores de (Al^{+++}) e de $V (\%)$ obtidos não caracterizaram diferenças entre os horizontes A, AB, BA e Bw entre as áreas de cultivo contínuo e com intervenção mecânica a cada 3 anos, demonstrando que esta operação de rompimento da camada superficial do solo não está trazendo benefícios em relação ao perfil onde não ocorreu interferência mecânica há 12 anos.

Este mesmo comportamento foi caracterizado após a safra verão 2003/2004, quando foram coletadas as últimas amostras para a conclusão deste trabalho, como pode ser observado nos Quadros 12, 13, 14 e 15 (dados referentes ao Perfil de Manejo). Em função de amostragens preliminares (safra 2002/2003) terem caracterizado valores semelhantes ao apresentados no Quadro 9, os pesquisadores da EMBRAPA Soja optaram pela não realização da aplicação de calcário naquele ano.

Pelos valores de saturação por bases ($V > 65\%$) e espessura do horizonte A nos perfis sob cultivo, este não se enquadraria como A moderado, como classificado em 1998, bem como o descrito na área sob vegetação natural. Mesmo no horizonte Bw, os valores são bem superiores ao verificado na área sob vegetação natural, fator associado às práticas de manejo do solo, que alteraram as propriedades naturais deste solo. Percebe-se que, pelo manejo, pode se conduzir o solo a uma condição que pode modificar alguns critérios utilizados na sua classificação taxonômica num prazo relativamente curto.

Com os resultados volumétricos obtidos por horizontes (Quadro 10), constatou-se um aumento da densidade no horizonte A, e, em menor escala no AB, por comparação com a área sob vegetação natural. Os maiores índices de densidade foram constatados nas áreas em sucessão de culturas, principalmente sob sistema plantio direto contínuo, que, na época da descrição do perfil pedológico, contava com 12 anos de implantação.

Como consequência do aumento da densidade do solo, principalmente no horizonte A nas áreas sob plantio direto, houve uma redução do volume total de poros em relação ao

volume obtido na área sob vegetação natural. Este fator foi associado às pressões exercidas pelo tráfego de maquinário, resultando na alteração da relação massa/volume do solo; os valores de densidade mais elevados em torno dos 26 cm profundidade indicam que esta camada foi aquela na qual concentraram as maiores pressões decorrentes dos sistemas de manejo avaliados.

Mas, como pode ser constatado no Quadro 10, mesmo com densidade de solo de $1,33 \text{ Kg dm}^{-3}$ sob sistema plantio direto contínuo em sucessão de culturas, os índices de porosidade total permaneceram acima de 50 %, compatíveis com os resultados obtidos por FREITAS et al., (1998) e PICCININ et al. (1999). O que se constatou foi uma redução na macroporosidade (vazios $> 48 \mu\text{m}$, classe dos macroporos, segundo EMBRAPA-1979 e HAMBLIN-1985), com aumento da microporosidade, resultando em valores totais de poros acima de 50 %. Fator de importância foi a constatação da redução da densidade, e conseqüente aumento da macroporosidade e porosidade total, da superfície para a subsuperfície, passando de onde se constatarem os maiores índices (plantio direto sucessão) de $1,33 \text{ Kg dm}^{-3}$ para $1,21 \text{ Kg dm}^{-3}$, nos horizontes A e AB, respectivamente.

A não ocorrência do aumento da densidade da superfície para a subsuperfície e/ou formação de camadas de impedimento físico, fatores que se traduziram na continuidade e aumento do índice de vazios em todos os perfis sob cultivo avaliados, a semelhança do perfil sob vegetação natural, possibilitaram o movimento da água e solução do solo, assim como do desenvolvimento radicular a maiores profundidades. Os valores de densidade de solo referentes às áreas de cultivo estão acima aos encontrados nos horizontes A e AB sob vegetação natural, mas em relação ao intervalo de densidade proposto por REICHARDT (1985) para solos de textura argilosa, somente na área sob sistema plantio direto contínuo em sucessão o valor estaria pouco acima do que seria a média de densidade para este solo.

A textura muito argilosa é uniforme em todos os perfis levantados, com uma consistência muito friável quando úmido, em todo o perfil, e quando molhado torna-se plástica e pegajosa. Estes comportamentos deixam clara a necessidade de trabalho mecânico do solo em condições de consistência friável, em função da pressão do maquinário na superfície. O trabalho do solo em condições plásticas e pegajosas provocaria aumento da densidade do solo em um menor espaço de tempo, criando uma dificuldade para o retorno da condição anterior.

Quadro 10: Propriedades físicas do solo sob vegetação natural e sistemas de manejo, por horizontes.

Horizontes	Densidade Solo	Macro	Porosidade Micro	Total	Diâmetro Médio Ponderado	Capacidade Campo	Ponto Murcha Permanente	Água Disponível
cm	Kg dm ⁻³		dm ⁻³	dm ⁻³	mm	%		mm

Vegetação Natural

A (0-18)	0,96	22,07	39,91	61,98	4,12	33,81	27,39	11,10
AB (18-37)	0,99	24,17	38,17	62,34	3,57	33,86	27,92	11,17
BA (37-53)	0,92	21,83	37,28	59,11	3,03	32,33	26,35	8,70
Bw (> 53)	0,94	21,17	37,93	59,10	2,10	32,15	27,03	—*

Plantio Direto com Intervenção Mecânica a cada Três Anos

Sucessão

A (0-26)	1,28	5,19	44,82	50,01	3,52	33,34	29,33	13,40
AB (26-43)	1,15	8,25	44,04	52,29	3,35	34,85	28,64	12,10
BA (43-58)	1,09	11,62	42,15	53,77	3,06	32,73	27,11	9,20
Bw (> 58)	1,01	14,81	41,73	56,54	2,06	31,57	27,23	—*

Rotação

A (0-26)	1,20	11,89	40,69	52,58	3,96	34,05	28,97	15,80
AB (26-43)	1,13	14,80	39,73	54,53	3,93	34,94	28,61	12,21
BA (43-58)	1,08	14,15	43,45	57,60	3,22	33,87	28,04	9,40
Bw (> 58)	0,98	15,77	40,42	56,18	2,09	32,16	28,36	—*

Plantio Direto Contínuo há 12 Anos.

Sucessão

A (0-21)	1,33	5,44	44,81	50,25	3,83	33,87	29,1	13,10
AB (21-39)	1,21	9,25	43,04	52,29	3,74	34,07	28,25	12,70
BA (39-57)	1,12	12,46	42,35	54,81	3,13	33,17	28,01	10,40
Bw (> 57)	0,98	16,54	41,55	58,09	2,11	32,12	28,03	—*

Rotação

A (0-21)	1,22	11,68	42,18	53,86	4,09	34,83	28,41	16,30
AB (21-39)	1,17	11,77	41,99	53,76	3,89	34,66	28,32	12,80
BA (39-57)	1,07	17,50	40,31	57,81	3,16	33,83	28,15	10,91
Bw (> 57)	0,96	21,45	39,30	60,75	2,12	31,15	27,03	—*

*Não foi determinada a espessura do horizonte Bw₁

AD: Água Disponível = CC – PMP / 10 x espessura horizonte (cm) x DS

DMP: Diâmetro Médio Ponderado

Na região Norte do Estado do Paraná, onde a formação de resíduos na superfície do solo não é espessa, o trabalho do solo em condições de solo friável é uma condição fundamental no controle do desenvolvimento de processos de compactação, de acordo com resultados de trabalho desenvolvidos por TORRES et al. (1999).

De uma maneira geral, a condutividade hídrica do solo pode ser considerada alta tanto nas áreas sob cultivo, como sob vegetação natural. Evidência clara de tal propriedade é que, apesar dos altos índices pluviométricos precedentes aos estudos de campo, não foram observados quaisquer sinais de processos erosivos, acúmulo de água nas estradas, carreadouros ou nos canais de coleta e escoamento dos terraços. De fato, no balanço hídrico do ano de 2000, representado na Figura 1, pode-se observar os dados climáticos do mês de março, quando foram realizados os trabalhos de campo de descrição do perfil pedológico (última quinzena daquele mês), mostrando valores relativamente elevados nos índices pluviométricos.

Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano
Ano 2000

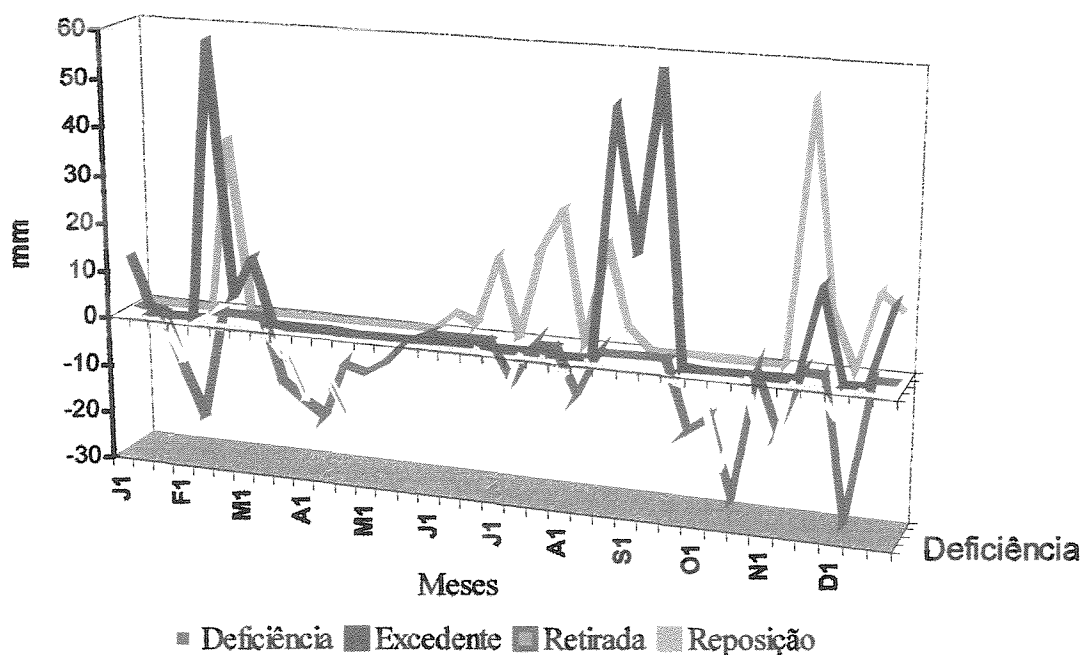


Figura 1: Balanço hídrico referente ao ano de 2000, dados coletados no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA-Soja), município de Londrina, Norte do estado do Paraná.

Provavelmente, a boa infiltração da água das chuvas tenha se dado pela estabilidade estrutural da superfície do solo associada a presença de resíduos da cultura da soja (que acabara de ser colhida), assim como à elevada porosidade, ressaltando a de origem biológica, estrutural (fissuras - descrita adiante) e volumétrica, sem qualquer impedimento mecânico à infiltração. A serrapilheira, além de reduzir a desagregação superficial, constitui barreira física que diminui deflúvio superficial, aumentando a infiltração e evitando o aparecimento de processos erosivos.

Com os resultados de umidade em peso (%) obtidos nas áreas de cultivo e sob vegetação natural (Quadros 5, 6 e 7), verifica-se que a drenagem no perfil sob vegetação natural é mais acentuada do que nas áreas sob cultivo. Os menores valores de umidade na área sob vegetação natural foram relacionados aos baixos valores de densidade e maior índice de macroporosidade, quando comparados aos valores obtidos nos perfis sob plantio direto, traduzindo-se em uma maior percolação de água no perfil, conforme propriedades descritas por FARIA e CARAMORI (1986). Vale ser ressaltado que a coleta de amostras para determinação da umidade foram realizadas no mesmo dia após a abertura de todas as trincheiras, antes do início dos trabalhos de descrição morfoestrutural, portanto sob as mesmas condições climáticas consideradas na Figura 01.

Com o aumento da densidade no horizonte A das áreas sob cultivo, constatou-se uma maior coesão dos pequenos agregados, em consequência de uma redução dos vazios intra-agregados. Já entre-agregados esta coesão não ocorreu, predominando neste espaço do solo vazios decorrentes de fissuras e da atividade biológica, tanto da fauna (cavidades) como de origem tubular, de grande ocorrência em função da decomposição de sistemas radiculares de culturas anteriores, conforme também descrito por GUIMARÃES et al. (1993). Estes resultados obtidos nas áreas sob vegetação e cultivo, condicionaram o solo a um comportamento peculiar. Enquanto na área sob vegetação natural a drenagem de água gravitacional é superior, nas áreas de cultivo os resultados de capacidade de campo (CC) foram superiores, bem como os valores que caracterizam ponto de murcha permanente (PMP), o que era de se esperar, pelo aumento da microporosidade, conforme mencionado por CAMARGO (1983).

Com o aumento da densidade, ocorreu maior retenção de água nos horizontes A e AB sob cultivo (Quadro 10), camadas que apresentaram maiores valores de densidade, o que pode constituir relevância no caso da exploração agrícola com cultivos anuais, principalmente quando da ocorrência de veranicos curtos, frequentes nesta região (DERPSCH et al. 1991). Outro comportamento relacionado com o aumento da densidade, foi valores mais elevados água disponível (AD) por horizontes nas áreas sob cultivo.

As descrições morfológicas permitiram compreender melhor as variações da densidade de solo e sua espacialização horizontal. O aumento trouxe consequências ligadas aos parâmetros hídricos (favoráveis) na área de cultivo. Em relação à capacidade de campo (CC) os resultados foram semelhantes no horizonte A entre as áreas de cultivo e de vegetação natural; já os resultados de ponto de murcha permanente (PMP) mostraram-se superiores nas áreas com implantação do plantio direto.

Vale ressaltar que vazios de origem biológica, principalmente os de maiores diâmetros, dificilmente são amostrados nos cilindros, em função da pressão que estes exercem no solo quando da coleta de amostras. Muitas vezes, a amostragem no volume de solo onde ocorre este tipo de vazios é evitada por dificultar a execução das análises, o que ressalta a importância das observações feitas em campo. No entanto, com os resultados semelhantes de capacidade de campo (CC) no horizonte A nas áreas sob plantio direto contínuo em sucessão e sob vegetação natural, de 33,87% em relação a 33,81%, respectivamente, supõe-se fissuras que ocorreram de forma acentuada no solo neste sistema de manejo (de maior densidade) parecem ter sido quantificados (Quadro 10).

A relação aqui utilizada entre índice de vazios com o teor de água em CC e PMP pelo método do extrator de placas de cerâmicas pressurizada (RICHARDS, 1965), é por este basear-se na capilaridade e na tensão da sucção da água nos poros, segundo especificações de REICHARDT (1985)

THOMASSON (1978) e BRADY (1983) citam que tensões de -33 KPa correspondem a vazios responsáveis pela água rapidamente assimilável pelas plantas; ao contrario, a água retida no potencial equivalente ao ponto de murcha permanente e sua disponibilidade à planta é largamente discutida; para REICHARDT (1987), ela pode variar para cada tipo de planta. Segundo relato de KERTZMAN (1996), com a diminuição dos diâmetros dos poros, a água

passa a ser atraída física e quimicamente pelos constituintes, tendendo a ficar retida nas paredes dos poros.

Considerando que os solos das áreas estudadas possuem a mesma composição granulométrica, os valores mais elevados de retenção de água e/ou água disponível (AD) por horizontes foram influenciados pelo estado estrutural, maior espessura dos horizontes e teor de matéria orgânica, assim como também observado por VIEIRA e CASTRO (1987), MORAES et al. (1993) e PICCININ et al. (1997). Em relação à operação com o cruzador a cada três anos, os resultados não demonstraram qualquer influência de sua utilização, apesar de os índices de densidade de solo terem se mostrados menores, por comparação a áreas sob sistema plantio direto contínuo, tanto em sucessão como rotação.

Segundo RUELLAN e DOSSO (1993), muitos Oxissolos possuem microagregados e agregados estáveis, sendo que comumente óxidos de ferro e alumínio ativos na fração argila proporcionam alto grau de coesão, atuando no comportamento físico-hídrico das classes de solo em que predominam tais características. Os horizontes nos quais foram constatados os maiores valores de retenção de água, também revelaram maior estabilidade dos agregados em água, avaliada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), conforme resultados Quadro 10.

Semelhantes organizações estruturais foram observadas na área sob floresta e nos perfis sob sistema plantio direto, como no horizonte Bw - estrutura microagregada (forte pequena granular), que caracterizou homogeneidade do solo entre as áreas de cultivo e sob vegetação natural. As diferenças estão no tipo e classe das estruturas, principalmente no horizonte A, com modificações decorrentes do maior grau de compacidade do solo, o que propiciou o desenvolvimento de fissuras, conforme descrições apresentadas nos Quadros 5, 6 e 7. Mesmo no horizonte A sob cultivo, constatou-se um estado estrutural estável, tanto na área em sistema plantio direto contínuo há 12 anos, como na de intervenção mecânica de três em três anos.

Quando do levantamento do perfil pedológico, as áreas sob plantio direto estavam com 12 anos de implantação, e havia dois anos que a operação de rompimento da camada superficial (em torno de 25 cm de profundidade) fora realizada. Embora tenha ocorrido uma maior homogeneidade no estado estrutural na área em sistema contínuo, constatou-se uma mesma estabilidade das estruturas no horizonte A sob intervenção mecânica a cada três anos,

fator associado nas duas áreas ao não revolvimento do solo com operações de aração e gradeação safra após safra (Quadro 10).

Os maiores valores do DMP foram encontrados nas áreas sob floresta, em concordância com as maiores concentrações de material orgânico no horizonte A, o que se repetiu em cada uma das condições estudadas, sendo a partir do horizonte AB semelhantes ou até superiores nas áreas de cultivo, assim como verificado por ESPÍNDOLA e FERNANDES (1998). Nas áreas sob cultivo, o valor mais elevado de DMP nos horizontes A e AB obtido sob sistema plantio direto contínuo foi associado a uma menor mobilização do solo, conforme também constatarem TORRES et al. (1993) e PICCININ et al. (2000).

Outro fator, em concordância com as observações de FREITAS e BLANCANEAUX (1994), a matéria orgânica, como agente cimentante, mostrou-se fator fundamental na agregação do solo, o que se evidenciou pelos resultados de DMP superiores nas áreas de rotação de culturas. A maior estabilidade estrutural, notadamente no horizonte A, é fator fundamental nos sistemas agrícolas, por representar o volume de solo onde ocorrem as maiores interferências das práticas de cultivo e de variabilidade das condições climáticas.

Embora as condições climáticas da região não sejam compatíveis com o desenvolvimento de uma espessa camada de cobertura vegetal na superfície do solo, o aporte e preservação de resíduos culturais na superfície e a decomposição de sistemas radiculares, ao longo do tempo, propiciaram um aumento de matéria orgânica em termos qualitativos, como foi constatado no Quadro 9.

O aporte contínuo de resíduos culturais na superfície, ao longo dos 12 anos, também é refletido, embora de modo não diretamente discernível (BLANCANEAUX, 1991), pela sua cor de tonalidade mais escura, de maneira generalizada no horizonte A, sendo que a partir do horizonte AB é mais discernível, embora o teor de carbono indique valores elevados nestes horizontes. A entrada de matéria orgânica no perfil de solo em profundidade, sob sistema plantio direto segue o mesmo processo ao do perfil sob vegetação natural, primeiramente a partir de resíduos culturais deixados na superfície do solo, e segundo pela percolação de compostos orgânicos pela solução do solo, já que não há reversão da camada superficial com operações de aração e gradagens. Outro importante mecanismo de elevação do teor de matéria orgânica no perfil de solo sob plantio direto, considerando 12 anos de safras de verão e inverno

e o não revolvimento do solo, está relacionada à decomposição de sistemas radiculares das culturas instaladas neste período.

Os valores mais elevados da estabilidade de agregados em água (DMP) e dos teores de matéria orgânica foram encontrados nas áreas sob rotação de culturas, que incluem plantas leguminosas (soja e tremoço), gramíneas (milho, aveia e trigo) e crucíferas (nabo-forrageiro). No entanto, mesmo nas áreas em sucessão de culturas (soja-trigo) os resultados mostraram-se elevados. Estes dados evidenciam que, mesmo em um sistema de sucessão soja – trigo, incluindo, assim, na seqüência de culturas, uma leguminosa e uma gramínea, é possível obter, em áreas sob plantio direto, condições físicas e químicas favoráveis a sustentabilidade de um sistema de exploração intensivo, o que concorda com observações de RUELLAN (1990) e PUIGNAU et al. (1994).

O cultivo de gramíneas, por possuírem um sistema radicular mais agressivo e que exercem constante envolvimento e compressão sobre as partículas minerais e pequenos agregados do solo, desenvolve mudanças constantes na rizosfera, ressaltam sua importância na seqüência de cultivos por agirem favoravelmente na formação dos agregados, de acordo com DERPSCH (1985).

Na área sob vegetação natural, sendo um meio com $\text{pH} < 4,5$ e de baixa saturação em bases, a formação de agregados estável em um ambiente muito ácido esta relacionada à forma coloidal ligada a complexos argila-matéria orgânica, em que os íons de alumínio (Al^{+++}) e ferro neutralizam as cargas negativas dos colóides e favorecem sua floculação, de acordo com RUELLAN (1990). O carbonato de cálcio (calcário) provavelmente teve um papel importante na estabilidade dos agregados (DMP) nas áreas de cultivo, mas, com certeza, podem ser também invocados resultados obtidos como principais mecanismos de estabilidade dos agregados, além da matéria orgânica, cátions como Ca^{+++} e Mg^{+++} , processos decorrentes da atividade biológica, argila e ferro, componentes esses muito presentes nos solos em estudo. Portanto, mesmo mudando os mecanismos de floculação e cimentação, seja em meio ácido ou de elevada saturação de bases, o solo estudado mostrou uma estrutura estável mesmo com a ocorrência de fatores ou elementos diferenciados, de acordo com RUELLAN e DOSSO (1993).

Os resultados obtidos evidenciam um certo equilíbrio na estabilidade estrutural das áreas sob sistema plantio direto em rotação, cujos maiores valores de DMP confirmam as descrições feitas em campo, ao se comparar o perfil nesta condição com o de floresta, refletindo um modo de organização estrutural muito semelhante quando em torno dos 26 a 30 cm de profundidade.

No perfil sob vegetação natural (Quadro 5), constatou-se no horizonte A (entre 0 e 8 cm) a ocorrência de pequenos agregados grumosos (> 1 e < 5 cm) sem coesão estrutural, prevalecendo, no entanto, estruturas maiores que 5 e inferiores a 10 cm, subangulares/arredondados, tidos como padrão estrutural para esta classe de solo. Tais parâmetros, segundo PRADO (1995) e EMBRAPA (1999), refletem uma organização estrutural condizente com a condição natural desta classe de solo, sem manejo, com baixo grau de compactação e, portanto, de elevada ocorrência de vazios, que são predominantemente decorrentes de empilhamento de pequenos agregados, destacando-se ainda vazios tubulares, desenvolvidos essencialmente da atividade exercida pela fauna do solo, conforme observações morfológicas procedidas em campo. Apresentam a condição de estrutura grumosa referida por PRIMAVESI (1980), como a ideal para os solos tropicais.

Nas áreas sob sistema plantio direto (Quadro 6 e 7), a organização de pequenos agregados que ocorrem na superfície do solo sob vegetação natural praticamente desaparece. Estado estrutural onde não ocorre face de contacto entre os agregados (LEMOS e SANTOS, 1984), ou seja, sem coesão de volume, ocorreu de forma localizada na superfície, no espaço de 0 a 3 - 6 cm de profundidade. Ainda na profundidade equivalente ao horizonte A, sob plantio direto, entre 5 a 26 cm de profundidade, foi evidenciada uma variabilidade horizontal entre 2 e 3 Unidades Estruturais, apresentando faces de contato, ou seja, com coesão na assembléia dos agregados, conseqüentemente de estabilidade do estado estrutural. Estas estruturas, decorrentes do sistema de manejo imposto em cada área e/ou perfil, são diferenciadas principalmente quando há um maior ou menor índice de compactação, ocorrência e generalização no espaço vertical e horizontal e formas de vazios.

No horizonte AB ocorre uma transição destas Unidades Estruturais, mostrando, ao mesmo tempo: a) evidências do sistema de manejo, com influências decorrentes de fatores climáticos e b) Unidades Estruturais indicativas de modificações menos acentuadas em relação

ao manejo empregado. Já no horizonte BA estas evidências de modificações tornam-se menos evidentes ainda; que antes de se atingir o horizonte Bw não se constatou, em qualquer dos perfis sob cultivo, modificações decorrentes do manejo, cujo estado estrutural é semelhante ao da área sob vegetação natural.

A partir do Perfil de Manejo constataram a ocorrência de Unidades Estruturais diferenciadas entre os perfis sob sucessão e rotação de culturas, o mesmo ocorrendo entre os perfis sob sistema plantio direto contínuo há 15 anos e com intervenção mecânica de três em três anos.

O desenvolvimento dessas modificações estruturais ocorrentes nos horizontes A, AB e BA, decorrentes dos sistemas de manejo adotado, foram caracterizadas pelo método do Perfil de Manejo. Vale ser ressaltado que a descrição do Perfil de Manejo foi realizada após a colheita da safra de verão 2003/2004, estando os sistemas de plantio direto com 15 anos de implantação, sendo que as áreas sob intervenção mecânica estavam completando três anos da última operação com o cruzador. Seguindo o cronograma do experimento, a operação com o cruzador, visando ao rompimento da camada superficial do solo, foi realizada após esta coleta de dados.

Com o tráfego de máquinas e implementos operando em baixa velocidade nas áreas sob plantio direto safra após safra (verão e inverno), totalizaram cargas superficiais correspondentes a 7270 Kgf na semeadura e 7950 Kgf na época de colheita. Estes valores são referentes à massa do trator e plantadeira (sem considerar peso de adubo e sementes), massa líquida da colheitadeira (sem peso da colheita), assim como operações de práticas culturais (como aplicações de herbicidas e fungicidas) e passagem do rolo-faca nas áreas de rotação. Em consequência de tais fatores, associados aos elevados teores de argila (acima de 70 %), era realmente esperado um maior nível de modificação estrutural na camada mais superficial, principalmente em relação ao aumento da densidade do solo, como comprovaram os valores obtidos no horizonte A sob cultivo.

Associado à ausência de revolvimento e tempo de implantação dos sistemas de plantio direto, os pequenos agregados correspondentes às estruturas de menor classe compactaram-se em um menor ou maior grau, principalmente entre os primeiros 15 a 20 cm de profundidade. Este processo traduziu-se em um aumento da compacidade do solo somente em superfície

(horizonte A), e, se por um lado observou-se uma correlativa redução de vazios intra-agregados, por outro, constatou-se o desenvolvimento de vazios entre-agregados, caracterizando, assim, principalmente as Unidades Estruturais 2 e 3, descritas no Quadro 11.

Estas Unidades Estruturais, assim como as Unidades Estruturais 1 e 5, tiveram seu processo de desenvolvimento associadas a fatores físicos, como pressão à exercida pelo maquinário na superfície do solo, adversidades climáticas (temperatura e umidade), fatores biológicos, influência do cultivo em sucessão e rotação de culturas e mecanismos químicos.

Para essa discussão foram adotadas as seguintes abreviações: **SPD3 (S)**: para sistema plantio direto com interferência a cada (3) três anos, com cruzador em sucessão de culturas; **SPD3 (R)**: para sistema plantio direto com interferência a cada (3) três anos, com cruzador em rotação de culturas; **SPDC 15 (S)**: para sistema plantio direto contínuo há 15 anos, em sucessão de culturas; e **SPDC 15 (R)**: para sistema plantio direto contínuo há 15 anos, em rotação de culturas.

A ocorrência das diferentes Unidades Estruturais e suas respectivas densidade de solo estão representadas nas Figuras 2, 3 ,4 e 5.

A Unidade Estrutural 1 foi associada a operações com maquinário e aporte de resíduos orgânicos na superfície, permitindo constatar que, sob mesmas condições climáticas, sua ocorrência tornou-se mais acentuada nas áreas sob SPD3 (S) e SPD 3 (R). Assim, seu desenvolvimento ocorreu de forma mais generalizada na superfície destas áreas (entre 0 e 7 cm de profundidade), sendo grumosa na área SPD 3 (R) e granular no SPD 3 (S); sua descrição detalhada está no Quadro 11, assim como sua forma de ocorrência no perfil sob estes sistemas está caracterizada nas Figuras 2 e 3.

Quadro 11: Descrição das Unidades Estruturais em áreas sob sistema plantio direto utilizando a metodologia do Perfil de Manejo.

UNIDADES ESTRUTURAIS	CARACTERÍSTICAS MORFOESTRUTURAL
UNIDADE ESTRUTURAL 1	Estado estrutural localizado e generalizado*, sem coesão entre faces dos agregados, estruturas pequenas (> 1 e < 5 cm), granulares** e grumosos***, muito nítida; grande ocorrência de raízes ramificadas entre e intra-agregados com sentido de colonização predominantemente horizontal e vertical; de vazios com origem no empilhamento de agregados e da atividade biológica: cavidades-tubulares; tipo de fauna observada: cupins, formigas, coleópteros, aranhas, colêmbolas e minhocas; com faces de ruptura rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido). *SPD3 (S) ** Granulares no SPD3 (S), e ***Grumosos nos SPDC 15 (S e R) e SPD3 (R).
UNIDADE ESTRUTURAL 2	Estado estrutural localizado, estruturas de média (> 6 e < 10 cm) a grande (> 10 cm), poliédrica subangulares que se desfaz em angulares, muito nítida; média ocorrência de raízes entre-agregados, pouco ramificadas sem sentido de colonização predominante, raízes intra-agregados pequena ocorrência não ramificadas e forma tortuosa predominando não achatadas; vazios com origem de fissuras e da atividade biológica: cavidades-tubulares; tipo de fauna observada: cupins, formigas, coleópteros, colêmbolas e coró; com faces de ruptura lisa/rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido).
UNIDADE ESTRUTURAL 3	Estado estrutural localizado* e generalizado, estruturas de média (> 6 e < 10 cm) a grandes (> 10 cm), poliédricas subangulares que se desfaz em subangulares, muito nítida; grande ocorrência de raízes entre-agregados, ramificadas com sentido de colonização predominante vertical, raízes intra-agregados grande ocorrência ramificadas e morfologia normal; vazios com origem de fissuras e da atividade biológica: cavidades-tubulares; tipo de fauna observada: cupins, formigas, coleópteros, colêmbolas, minhocas e coró; com faces de ruptura rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido).

* Localizada nos SPD em Rotação de Culturas

SPD3: Sistema de plantio direto com intervenção mecânica de três em três anos.

SPDC: Sistema de plantio direto contínuo há 15 anos.

S: Sucessão de culturas.

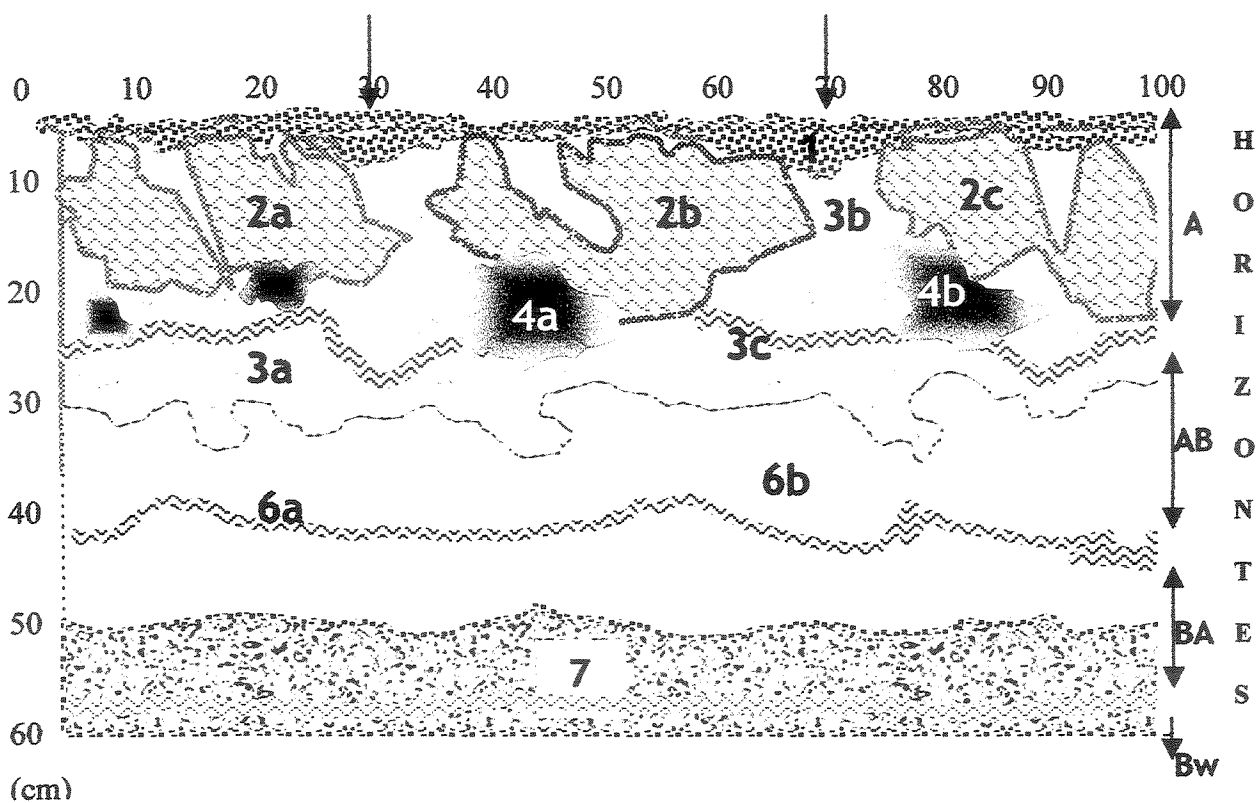
R: Rotação de culturas.

Quadro 11 (continuação): Descrição das Unidades Estruturais em áreas sob sistema de plantio direto utilizando a metodologia do Perfil de Cultivo.

UNIDADES ESTRUTURAIS	CARACTERÍSTICAS MORFOESTRUTURAL
UNIDADE ESTRUTURAL 4	Estado estrutural localizado, estruturas de média (> 6 e < 10 cm), poliédricas angulares que se desfaz em angulares, pouco nítida; pequena ocorrência de raízes entre-agregados, não ramificadas sem sentido de colonização predominante, raízes intra-agregados pequena quantidade, não ramificadas, forma achatada e tortuosa; vazios com origem no empilhamento de pequenos agregados e tubulares; tipo de fauna observada: não constatada; com faces de ruptura lisa e média coesão dos agregados (solo úmido).
UNIDADE ESTRUTURAL 5	Estado estrutural localizado* e/ou generalizado, estrutura média (> 6 e < 10 cm), poliédricas subangulares que se desfaz em subangulares, nítida; grande ocorrência de raízes entre-agregados, ramificadas, sentido de colonização vertical, raízes intra-agregados grande ocorrência, ramificadas e morfologia normal; vazios com origem no empilhamento de pequenos agregados, cavidades e tubulares; tipo de fauna observada: cupins, formigas, minhocas e coró; com faces de ruptura rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido).
* Localizada no SPDC (S)	
UNIDADE ESTRUTURAL 6	Estado estrutural generalizado, classe de estrutura pequena (> 1 e < 5 cm) e médias (> 6 e < 10 cm), poliédricas subangulares que se desfaz em subangulares, pouco nítida; média ocorrência de raízes* entre-agregados, ramificadas, sentido de colonização vertical, raízes intra-agregados média ocorrência, ramificadas e morfologia normal; vazios com origem no empilhamento de pequenos agregados, cavidades e tubulares; tipo de fauna observada: cupins, formigas e coró; com faces de ruptura rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido).
* Média ocorrência em função da profundidade desta Unidade Estrutural	
UNIDADE ESTRUTURAL 7	Estado estrutural sem evidências de modificações decorrentes dos sistemas de manejo do solo e de condução das culturas. Generalizado, estrutura pequena granular, pouco nítida; pequena ocorrência de raízes* entre e intra-agregados, pouco ramificadas*, sentido de colonização vertical e morfologia normal; vazios com origem no empilhamento de pequenos agregados; tipo de fauna observada: coró; com faces de ruptura rugosa e fraca coesão dos agregados (solo úmido).
* Em função da profundidade desta Unidade Estrutural	

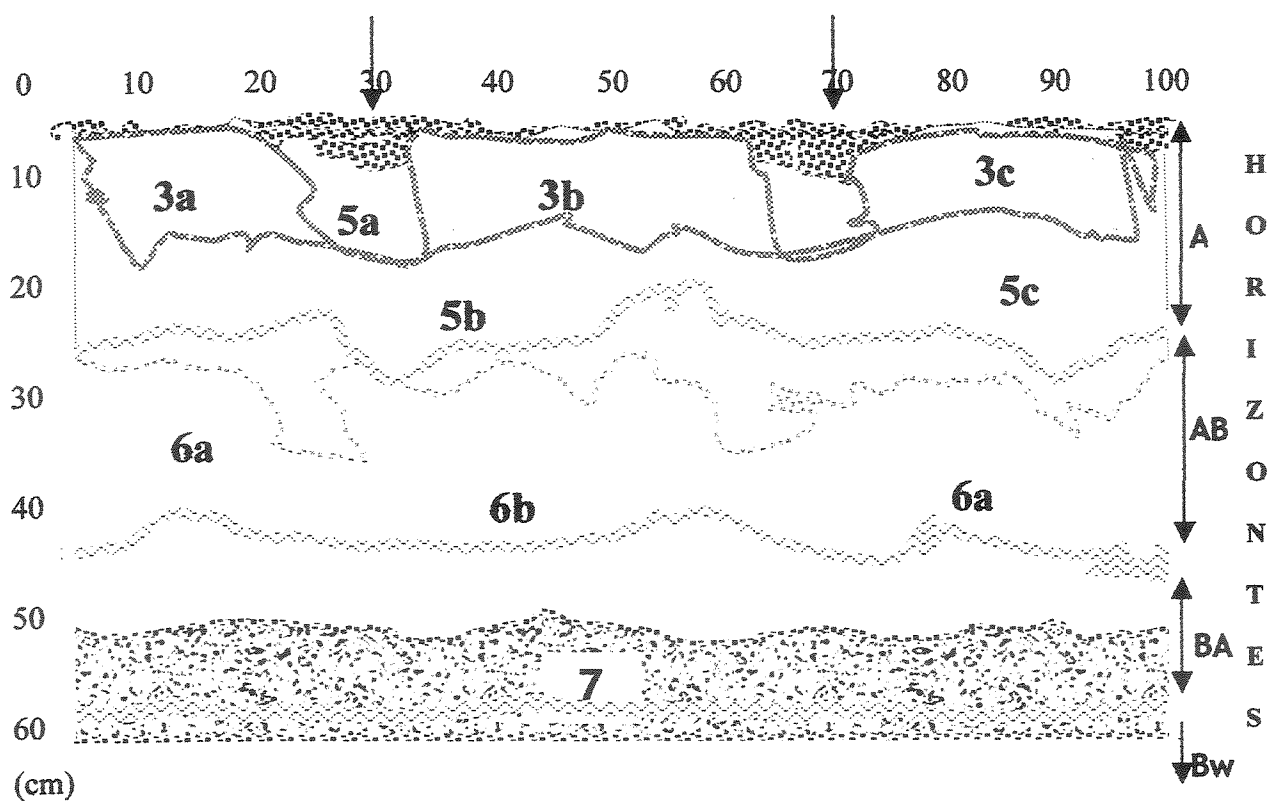
SPDC: Sistema de plantio direto contínuo a 15 anos

S: Sucessão de culturas



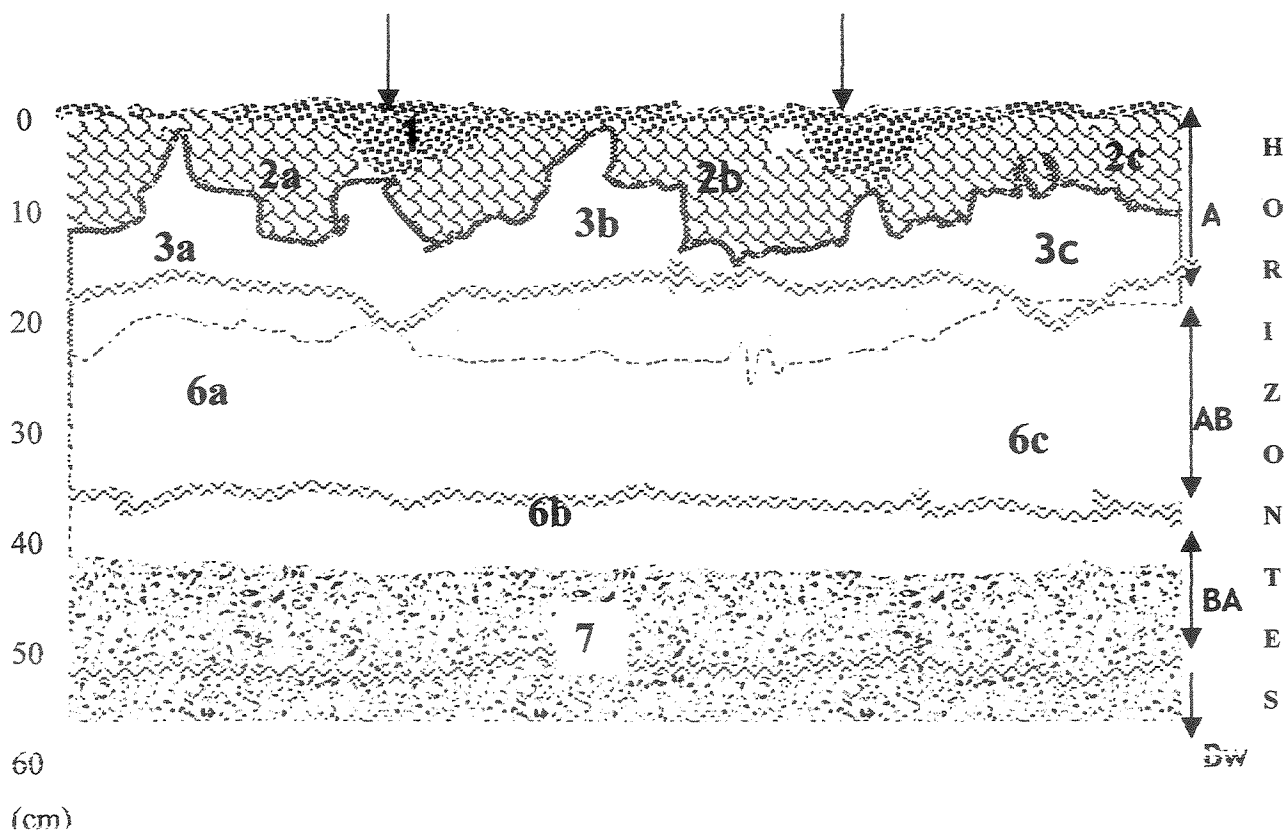
Estado	Densidade de Solo	Macro	Micro	Porosidade Total
Estrutural	Kg dm^{-3}	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$
2 a	1,30	5,03	44,40	49,44
2 b	1,29	5,93	44,55	50,48
2 c	1,36	4,81	44,94	49,75
3 a	1,23	8,38	42,72	51,10
3 b	1,26	6,95	43,45	50,40
3 c	1,23	7,71	42,99	50,69
4 a	1,31	5,65	41,57	47,22
4 b	1,30	3,94	42,97	46,91
6 a	1,19	12,40	40,95	53,35
6 b	1,16	10,80	42,71	53,51
7	1,03	14,15	43,45	57,60

Figura 2: Caracterização do Perfil de Manejo sob Sistema de Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos em Sucessão de Culturas e Densidade, Macro, Micro e Porosidade Total coletas.



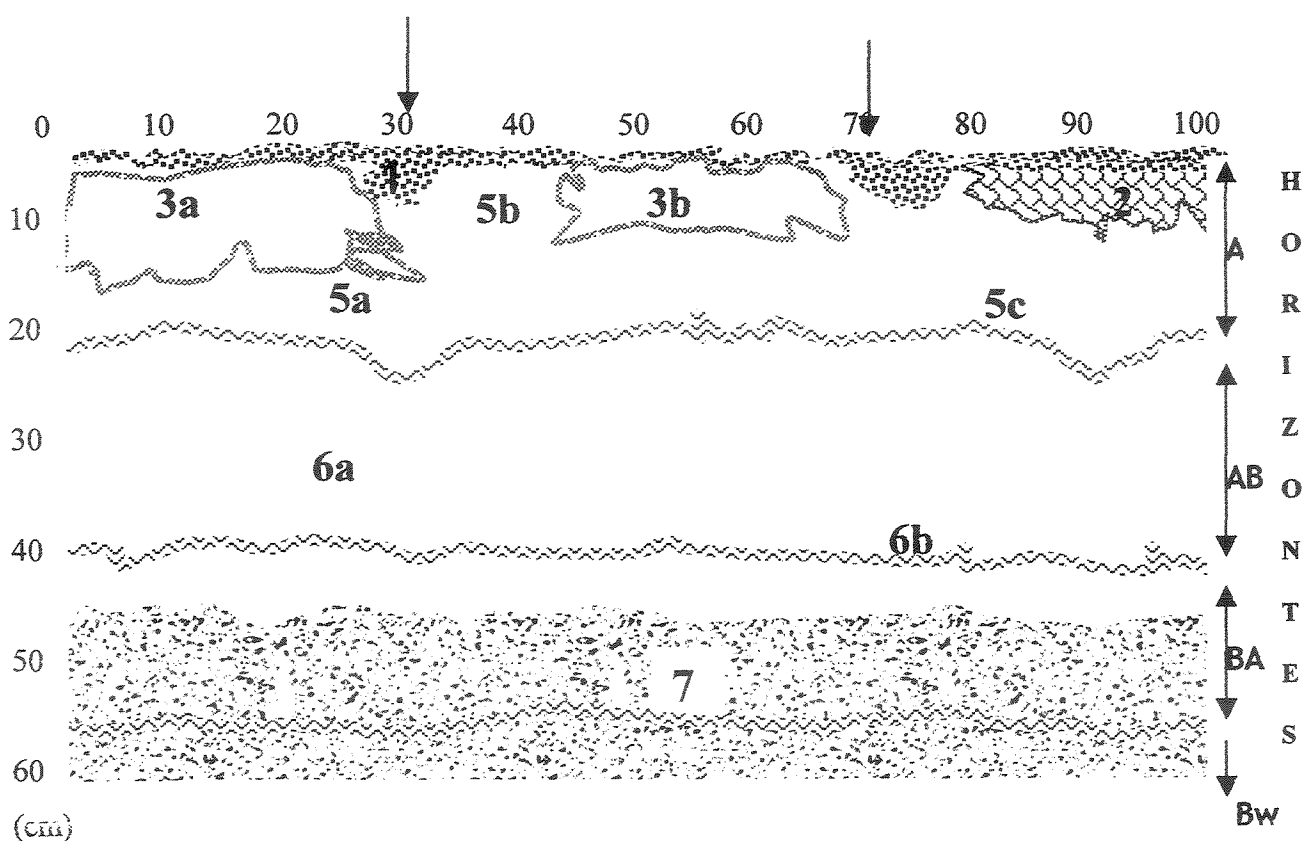
Estado	Densidade de Solo	Macro	Micro	Porosidade Total
Estrutural	Kg dm^{-3}	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$	$\text{dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$
3 a	1,25	6,93	44,57	51,50
3 b	1,23	8,83	43,07	51,90
3 c	1,26	7,08	43,95	51,03
5 a	1,19	11,25	41,94	53,19
5 b	1,16	7,37	43,88	51,25
5 c	1,15	9,25	43,04	52,29
6 a	1,10	8,39	44,47	52,86
6 b	1,11	12,51	41,47	53,98
7	1,04	17,50	40,31	57,81

Figura 3: Caracterização do Perfil de Manejo sob Sistema de Plantio Direto com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos em Rotação de Culturas e Densidade, Macro, Micro e Porosidade Total.



Estado	Densidade de Solo	Macro	Micro	Porosidade Total
Estrutural	Kg dm ⁻³	dm ⁻³ dm ⁻³	dm ⁻³ dm ⁻³	dm ⁻³ dm ⁻³
2 a	1,33	4,94	43,96	48,89
2 b	1,36	4,59	44,68	49,27
2 c	1,34	4,82	44,84	49,66
3 a	1,23	8,31	42,12	50,43
3 b	1,26	6,87	42,82	49,69
3 c	1,27	5,09	44,49	49,58
6 a	1,13	7,34	44,69	52,23
6 b	1,14	9,20	43,71	52,91
6 c	1,13	8,89	43,51	52,40
7	1,04	16,36	40,23	56,59

Figura 4: Caracterização do Perfil de Manejo sob Sistema de Plantio Direto Contínuo cultivado em Sucessão de Culturas e Densidade de Solo, Macro, Micro e Porosidade Total.



Estado Estrutural	Densidade de Solo Kg dm ⁻³	Macro dm ⁻³ dm ⁻³	Micro dm ⁻³ dm ⁻³	Porosidade Total dm ⁻³ dm ⁻³
2	1,33	4,05	43,85	47,90
3 a	1,20	9,89	42,69	52,58
3 b	1,24	6,46	44,48	50,94
5 a	1,14	8,37	43,24	51,61
5 b	1,16	7,83	43,97	51,80
5 c	1,18	7,15	44,39	51,54
6 a	1,07	9,47	43,94	53,41
6 b	1,08	7,66	45,16	52,82
7	0,98	15,77	40,421	56,18

Figura 5: Caracterização do Perfil de Manejo sob Sistema de Plantio Direto Contínuo em Rotação de Culturas e Densidade, Macro, Micro e Porosidade Total.

Já nas áreas sob SPDC 15, a Unidade Estrutural 1 desenvolveu-se predominantemente próxima às linhas de cultivo, chegando a desenvolver-se até 8 cm de profundidade, mas em geral, ocorreu no espaço horizontal entre 0 e 5 cm de profundidade. No SPDC 15 (R) predomina a do tipo grumosa, enquanto no SPDC 15 (S) desenvolveu-se tanto do tipo granular como grumosa (Quadro 11); a sua forma de ocorrência no perfil nestes sistemas contínuos há 15 anos está caracterizada nas Figuras 4 e 5. Independentemente do sistema de manejo e cultivo adotado, sua amostragem, para efeito de análises volumétricas, tornou-se impossível pela não coesão estrutural e baixa expressão de ocorrência, o que lhe confere elevada ocorrência de vazios com origem no empilhamento destes pequenos agregados, sendo o do tipo grumoso, de elevada porosidade também intra-agregados, de acordo com o observado também por TAVARES FILHO et al. (2001).

Como se observou com os resultados das análises químicas por horizontes nas áreas de cultivo, seu desenvolvimento ocorreu num meio de elevada saturação por bases e de altos teores de matéria orgânica no horizonte A, independentemente do sistema adotado. Com a amostragem realizada pelo método do Perfil de Manejo, os resultados obtidos demonstraram que a Unidade Estrutural 1 constitui o meio de maior fertilidade química, fator associado em parte, à maior concentração de raízes nos primeiros 5 cm superficiais do solo, com comportamentos semelhantes entre os sistemas plantio direto avaliados.

Estando estas estruturas do tipo granular e grumosas mais em superfície, constituem as Unidades Estruturais de maiores probabilidades de modificações decorrentes de fatores climáticos (processos de umedecimento e secagem), de mecânicos em função da pressão dos maquinários e por processos químicos, de acordo com o citado por RUELLAN (1990). Após as operações de preparo do solo, principalmente na época do plantio, notou-se um comportamento diferenciado, de um maior desenvolvimento das estruturas granulares, principalmente nas áreas sob SPD3 (S), as do tipo grumosas sofriam inicialmente uma retração para depois se reestruturarem. Com os resultados das análises químicas e observações de campo, pode-se dizer que os mecanismos mais atuantes neste processo são o aporte de resíduos culturais na superfície do solo (matéria orgânica de forma gradual), teores elevados de Ca^{+++} e Mg^{+++} e atividade exercida pela fauna do solo, muito elevada na superfície.

Não foi dada importância à fração argila como agente cimentante nos processos de desenvolvimento dos agregados, pelo fato de seu teor ser uniforme nas condições estudadas.

À medida que o processo de compactação evoluiu no volume mais superficial do solo, os pequenos agregados foram se aglomerando, dando origem a estruturas mais angulosas, como a Unidade Estrutural 2, caracterizadas pelas faces de ruptura lisas, com ocorrência de pequenos ângulos rugosos e redução dos vazios intra-agregados (Quadro 11), processo também observado por FREITAS et al. (1998). Provavelmente, com o desenvolvimento desta coesão, fissuras sem orientação definida começaram a formar-se quando as resistências à deformação entre as faces destes agregados foram ultrapassadas, resultantes do processo de expansão-retração da fração argila (superiores a 70 %) pelas variações climáticas, fenômeno mais expressivos na superfície do solo, configurando, assim, um verdadeiro meio de colonização radicular, de circulação de água e da solução do solo.

Os valores de densidade do solo e o desenvolvimento de fissuras (Unidades Estruturais 2 e 3 Quadro 11; Figuras 2, 3, 4 e 5), são indicativos de que estas retrações se desenvolveram de forma generalizada nos perfis com maiores valores de densidade em superfície. Além disso, o desenvolvimento de fissuras entre as faces dos agregados ocorreram com maior nitidez nas áreas de SPD3 (S) e SPDC 15 (S), sendo que nas Unidade Estrutural 2 foram mais acentuadas e sem sentido de ocorrência predominante; na Unidade Estrutural 3 o processo mostrou-se menos generalizado e com sentido preferencialmente vertical.

Nas áreas sob SPD3 (S) e SPD3 (R), esta forma de vazios foi descrita a uma profundidade em torno de 30 cm e 20 cm, respectivamente, associada à ação das hastes do cruzador. Este foi projetado com um ângulo de ataque de suas hastes em torno de 45° (Foto 1), o que resultou em baixa movimentação na superfície do solo e uma ação caracterizada somente entre as faces de ruptura de menor fraqueza dos agregados. Assim, a ação da haste em uma organização como a Unidade Estrutural 2 promoveu a separação desta em duas ou três (dependendo da classe), com as mesmas características, e tendo seu eixo de ocorrência em relação à superfície do solo alterada.

Este fato foi constatado quando da passagem do cruzador após a safra de verão 2000/2001, e pode ser explicado pelo simples fato de que Unidades Estruturais com um modo de organização semelhante a 2, com maior grau de compactação, não são generalizadas no

perfil, ou seja, ocorrem associadas horizontalmente com estruturas como a Unidade Estrutural 3. Não ocorrendo compactação generalizada horizontalmente, não se desenvolveu um meio de maior resistência a tração e assim sob a ação da haste, quando de uma classe maior, separaram-se em duas ou três Unidades menores com as mesmas características, ou foram simplesmente roladas para maiores profundidades, quando de classes menores, principalmente quando de um maior grau de compacidade.

O desenvolvimento da Unidade Estrutural 4 caracterizou o citado acima: a não interferência das hastes do cruzador em Unidade Estrutural de maior compacidade e de ocorrência localizada. Esta, de elevada coesão, tanto entre como intra-agregados, provavelmente pela profundidade de ocorrência, pôde ser associada a um processo de rolamento da superfície mais para a subsuperfície (Figura 2).

Após três anos da operação com o cruzador, constatou-se com a descrição do Perfil de Manejo realizada em 2004, que, embora as características morfológicas foram semelhantes entre as áreas sob SPD3 (S) e SPDC 15 (S), o espaço no perfil do solo com desenvolvimento de estruturas como a Unidade Estrutural 2 foi menor no SPDC 15 (S), principalmente considerando a zonalidade vertical, como pode ser observado nas Figuras 2 e 4. Nos estudos realizados nas áreas sob SPD 3 (S), constatou-se o desenvolvimento de um estado estrutural localizado (Unidade Estrutural 2) com classe variando de 15 a 20 cm ocorrendo entre 5 e 20 cm de profundidade.

Estes resultados estão refletidos no Perfil de Manejo descrito após a operação com o Cruzador em 2001, quando se constatou que o efeito da haste em um estado estrutural de maior compacidade ocorreu somente entre as faces dos agregados, acentuadamente em um intervalo de 40 em 40 cm (largura entre hastes), desenvolvendo neste espaçamento fissuras (fendas) preenchidas com pequenos e médios agregados e resíduos culturais. Mesmo com a pressão dos maquinários exercida na superfície do solo safra após safra, o nível de compacidade intra-agregados (ocorrência de compactação dos pequenos e médios agregados) na área sob SPDC 15 (S) foi semelhante ao constatado na área sob SPD3 (S). Considerando que o efeito da ação da haste ocorre somente nas faces entre-agregados, não sendo constatada alterações no estado interno destas estruturas, torna-se um fator complicador, pois o processo de compacidade evoluiu somente intra-agregados, e não entre agregados.

Outro comportamento observado com a descrição em abril de 2004, esteve relacionado com vazios (fendas) deixados pela passagem da haste do cruzador com largura em torno de 8 cm, características que não se evidenciaram após três anos. Os resultados obtidos na área sob SPD3 (S), em relação ao perfil sob SPDC 15 (S), demonstram que a partir de um certo tempo, o processo de compactação se estabilizou, caracterizando ainda uma evolução do estado estrutural mesmo na camada superficial do solo. Assim, as maiores modificações do solo ocorreriam nas operações seqüentes à passagem do cruzador, com os efeitos do tráfego subsequêntes mais reduzidos, assim como fora também constatado por FENNER (1999).

Na área sob SPD3 (R) ficou caracterizado o desenvolvimento de organizações estruturais predominantemente contínuas (baixa nitidez, Unidade Estrutural 5), no qual a pressão exercida causa separação dos agregados. A baixa coesão entre as faces dos agregados foi relacionada a maiores teores de matéria orgânica (Quadro 12), assim como o baixo desenvolvimento de compactação neste perfil. Em consequência de tais características, o efeito da operação com o cruzador resultou em uma assembléia de médias estruturas (entre 5 e 10 cm), o que explica a ocorrência da Unidade Estrutural 3 sob SPD3 (R) entre 5 e 20 cm de profundidade e com maior zonalidade horizontal em relação aos SPDC 15 (R), como se pode observar nas Figuras 3 e 5. No entanto, ao contrário ao observado no perfil sob SPD 3 (S), na área sob SPD 3 (R) constatou-se uma reestruturação no perfil, caracterizada pela menor ocorrência de fissuras e menores índices de densidade de solo (Figuras 2 e 3).

Com as descrições do Perfil de Manejo em 2001 e 2004, este último ano embasado em análises volumétricas, como densidade, macro, micro e porosidade total do solo (Figuras 2, 3, 4 e 5), os resultados semelhantes, ou até mesmo superiores obtidos nas áreas sob SPD 3 em relação aos perfis sob SPDC 15, evidenciam que o efeito da operação de rompimento da camada superficial dá-se em um período relativamente curto neste tipo de solo.

Comparando a evolução estrutural nos perfis sob SPDC 15 (S) e SPDC 15 (R), observou-se que ocorre em uma mesma profundidade, em torno de 25 cm, uma variabilidade de Unidades Estruturais com características morfo-estruturais diferenciadas quanto à nitidez, generalização, tipo e classe das estruturas, assim como no desenvolvimento de vazios, resultando, conseqüentemente, valores de densidade de solo diferenciadas, conforme o detalhado nas Figuras 4 e 5. Os maiores índices de densidade de solo foram encontrados no

perfil SPDC 15 (S); no entanto, a distribuição do sistema radicular por profundidade foi semelhante nas duas áreas, embora a colonização (considerando a zonalidade horizontal nos primeiros 20 cm de profundidade) tenha ocorrido de modo diferenciado pelos tipos de vazios predominantes em cada sistema, de maneira similar ao observado por MELLO IVO e MIELNICKZUK (1999).

A evoluções das Unidades Estruturais foi semelhante entre os sistemas de manejo do solo sob mesma sequência de culturas, embora a ação das hastes do cruzador tenha sido um fator de diferenciação em termos de profundidade de ocorrência. Enquanto nas áreas sob sucessão constatarem-se aumentos da compacidade intra-agregados nas camadas mais superficiais do solo, resultando no aparecimento de fissuras mais evoluídas, nas áreas sob rotação de culturas verificou-se a ocorrência de Unidades Estruturais de menores coesões tanto entre como intra-agregados, subangulares com faces rugosas, como Unidade Estrutural 5. Esta caracterizou-se como um meio de elevado índice de vazios, muito friável, com grande ocorrência de raízes entre e intra-agregados, ramificadas, sentido de colonização vertical e com morfologia normal, sendo os vazios de origem estrutural com origem no empilhamento de pequenos agregados e atividade biológica, cavidades e tubulares.

Estes índices de densidade de solo em superfície associados à ocorrência de Unidade Estrutural 5 na mesma zonalidade horizontal, foram relacionados a um maior aporte de resíduos culturais tanto em termos de massa (Quadro 8) como de qualidade de tecido vegetal, considerando o cultivo de leguminosas (2 espécies – soja e tremoço), gramíneas (3 espécies – trigo, milho e aveia) e crucíferas (1 espécie – nabo forrageiro) que se traduziram ainda nos teores mais elevados de carbono (C) no perfil do solo sob este sistema de cultivo.

A elevação dos teores de C no perfil de solo foram associados a dois fatores: de início, com a decomposição deste material na superfície do solo, ocorre o processo de percolação (através da solução do solo) de compostos orgânicos no perfil; seguido do acúmulo de material orgânico resultante da decomposição de sistemas radiculares ao longo do tempo. Estes processos, associados aos cátions Ca^{++} e Mg^{++} e à atividade biológica, são os mecanismos envolvidos no desenvolvimento de um modo de organização estrutural poroso, friável e estável, com estruturas arredondadas (subangulares), predominantemente contínuas

(pouco nítidas), com vazios de origem da assembléia de pequenos agregados de baixos níveis de compacidade, caracterizando a Unidade Estrutural 5 (Quadro 11, Figuras 3 e 5).

Ressalte-se que a ocorrência da Unidade Estrutural 2 sob SPDC 15 (R) foi associada, quando dos levantamentos de campo, à ação do rodado de maquinário, tendo sido observada na face desta Unidade exposta na superfície (de forma localizada, somente neste espaço) ocorrência de estruturas laminares (Figura 5). Segundo RUELLAN (1990), além da ação localizada do rodado, o desenvolvimento deste tipo de estrutura também é associado ao complexo de adsorção elevado, no caso saturado de Ca^{+++} e Mg^{+++} , como pode ser observado no Quadro 15.

Assim como na área sob SPDC 15 (R) , no SPDC 15 (S), Figuras 4 e 5, a ocorrências de Unidade Estrutural 6, em torno de 28 a 30 cm de profundidade, e da Unidade Estrutural 7, a 45 cm de profundidade, caracterizam uma mesma evolução estrutural em subsuperfície nestes perfis, o que evidencia, no caso, a importância de uma menor interferência mecânica no perfil do solo do que sistemas de sucessão ou rotação de culturas. A ocorrência da Unidade Estrutural 6 também foi caracterizada como estado estrutural de transição entre o volume de solo alterado pelo manejo e o que não apresenta evidências de alterações decorrentes do manejo (Unidade Estrutural 7), de acordo com RALISCH et al. (1993), com densidade de solo de $1,14 \text{ Kg dm}^{-3}$.

Com relação à evolução estrutural com características mais próximas à de condição natural, a área sob SPDC 15 (R) foi a que apresentou evolução mais próxima ao solo da área sob vegetação natural. Esta observação deve se aos resultados obtidos com a descrição do Perfil de Cultivo em relação à descrição do Perfil Pedológico (Quadro 5), considerando a ocorrência da Unidade Estrutural 5 em torno de 5 cm de profundidade, com características como nitidez (de nítida a pouco nítida), generalização (generalizada a partir de 17 cm de profundidade), tipo (subangular/subangular) e classe (média), assim como forma de vazios predominante do empilhamento de pequenos agregados.

Nos sistemas em que foi realizada a operação de rompimento da camada superficial do solo, mais importante que a profundidade de ocorrência destas Unidades Estruturais 6 e 7 (caracterizadas nas Figuras 2 e 3), foi a capacidade de reestruturação no solo na área sob SPD 3 (R) em três anos. Além das culturas da soja e do trigo, nesses 3 anos na área sob rotação

foram cultivados ainda o tremoço, o milho e a aveia, promovendo uma maior variabilidade de tecidos vegetais, que, provavelmente, após a decomposição e com a percolação de compostos orgânicos pela solução do solo, proporcionaram uma melhor estruturação do solo, de acordo com CERRI (1994).

Esta evolução foi constatada pelo modo de organização estrutural nos perfis sob SPD 3. Enquanto sob SPD 3 (S) entre 0 e 30 cm de profundidade ocorre, o predomínio de Unidades Estruturais 2 e 3, que, pela ocorrência de fissuras, caracterizou-se elevada nitidez dos agregados, no perfil sob SPD 3 (R) constatou-se baixa nitidez dos agregados e menores valores de densidade de solo. Características como baixa nitidez dos agregados, forma de vazios predominante da assembléia de pequenos agregados, ocorrendo de forma localizada entre 8 e 18 cm de profundidade e, a partir desta camada, tornando-se generalizada (Unidade Estrutural 5), evidencia-se, em um mesmo espaço de tempo (de três anos), um processo de reestruturação superior ao SPD3 (S).

Assim, em três anos, ou seja, entre a passagem do cruzados após a colheita da safra de verão 2000/2001 e a colheita da safra 2003/2004, constataram-se menores valores de densidade no SPD 3 (R), evidências que a rotação de cultura foi fator diferencial também da não elevação da densidade nestas áreas.

Nos sistemas contínuos há 15 anos, a maior variabilidade de unidades estruturais ocorreu em uma profundidade equivalente, em torno dos 18 cm de profundidade (Figuras 4 e 5). Os resultados de densidade também se mostraram superiores na área sob sucessão de culturas, variando nestas de 1,23 a 1,36 Kg dm⁻³, enquanto em rotação os valores estiveram entre 1,14 a 1,24 Kg dm⁻³.

Após três anos, os níveis de densidade de solo sob SPD 3 se mostraram semelhantes ao da área sem intervenção mecânica há 15 anos. Os valores de densidade caracterizaram níveis baixos nos SPD 3 (R) e SPDC 15 (R), ao contrario aos obtidos nas áreas sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S), considerados intermediários segundo especificações de REICHARDT (1985). Os maiores valores encontrados nas áreas sob sucessão de culturas, variando entre 1,30 a 1,36 Kg dm⁻³ (Figuras 2 e 4), foram superiores aos citados por KERTZMAN (1996) e inferiores aos verificados por FIGUEREDO et al. (2000) para esta mesma classe de solo.

Densidade entre 1,15 a 1,19 Kg dm^{-3} no SPD 3 e de 1,14 a 1,18 Kg dm^{-3} no SPDC 15, Figuras 3 e 5, em superfície, implicam na importância da rotação de culturas no início do sistema plantio direto ou mesmo após intervenção mecânica no solo. Em muitos trabalhos se tem evidenciado um desenvolvimento menos acentuado do processo de compactação, quanto da inclusão da cultura do milho na sequência de cultivo, o que está de acordo com trabalhos de FANCELLI (1993) e PICCININ et al. (1997).

A intervenção mecânica a cada três anos resultou, em uma condição estrutural composta cinco (5) Unidades Estruturas no SPD 3 (S), e de quatro (4) no SPD 3 (R); ocorrendo em superfície maior variabilidade da condição estrutural e, a partir de 18 a 25 cm de profundidade, maior generalização das características morfológicas, semelhantes a sob condição natural (Quadro 11, Figuras 2 e 3). Com a determinação da densidade nestes perfis, constatou-se comportamento semelhante, ou seja, um decréscimo dos valores da superfície para a subsuperfície. Tomando-se como base a área sob SPD 3 (S), os maiores valores de densidade foram de 1,36 Kg dm^{-3} a 10 cm de profundidade, de 1,26 Kg dm^{-3} a 20 cm e de 1,19 Kg dm^{-3} a 30 cm, Figura 2.

Estes resultados evidenciam que mesmo com a operação de rompimento da camada superficial do solo utilizando um implemento com características de baixa movimentação da superfície, as maiores alterações tanto em termos de estrutura como de densidade de solo em sistema plantio direto, são em superfície, correspondente ao horizonte A. Estes resultados são contrários aos citados por NOVAK et al. (1992) e BAILEY et al. (1994), segundo relatam que, repetidas passadas com rodados agrícolas, aumentam a degradação da estrutura do solo em profundidade, assim como aumento da densidade em subsuperfície, processo não observado neste trabalho nem mesmo nas áreas sob SPD 3 (S) e SPD 3 (R).

As alterações em superfície foram, principalmente, resultantes da sequência de culturas. Já em subsuperfície, se por um lado constatou-se que, as alterações são mais dependentes do tipo de implemento utilizado, por outro se teve evidências de uma evolução (natural) para suas condições de solo sob vegetação, como nos sistemas contínuos há 15 anos.

Enquanto os limites horizontais e verticais correspondente as Unidades Estruturais 2 e 3 nas áreas sob SPD 3 definem consequências do manejo do solo de um implemento específico, a transição entre um estado estrutural e outro, e mesmo a amplitude nos valores de

densidade demonstradas através destas mesmas Unidades no sistema contínuo, implicam em uma evolução. Neste caso, provavelmente os fatores mais atuantes são características pedo-climáticas associadas ao tempo, o que explica a não generalização de características morfoestruturais onde não ocorre interferência mecânica.

Interferência mecânica que neste estudo nem sempre resultou em uma condição estrutural desejada. Se por um lado a ação da haste do cruzador trabalhando numa profundidade em torno de 25 cm, proporcionou maior ocorrência de vazios (fissuras), por outro foi associada à presença da Unidade Estrutural 4 com densidade de solo de $1,31 \text{ Kg dm}^{-3}$ (Figura 2); embora isso não altere o comportamento global atual do solo sob SPD 3 (S), tornou-se um meio de maior compactação entre e intra-agregados, não propiciando o desenvolvimento radicular neste volume de solo.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram por muito as características morfológicas desta unidade pedológica. Com o aumento da densidade do solo em superfície, as variações mais importantes encontradas foram em relação à redução da macroporosidade - vazios com diâmetros superiores a $> 48 \mu\text{m}$, segundo classificação de HAMBLIN (1985). No entanto, como se pode observar nas Figuras 2, 3, 4 e 5, os valores de porosidade total são superiores a 49 %, provavelmente associados às características de estruturas microagregadas dos LATOSSOLOS VERMELHOS, de modo semelhante ao descrito por FREITAS et al. (1998). Comparando-se estes resultados com os obtidos na área sob vegetação natural, constatou-se que a redução da porosidade total deu-se em consequência de uma retração da macroporosidade, passando de 22 % sob condições naturais, para em torno de 5 % nas áreas sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S), em que ocorreram os maiores valores de densidade, ao contrário dos resultados encontrados por FALLEIRO et al. (2003), que não constataram decréscimo da macroporosidade com o aumento da densidade.

Em um primeiro momento, a distribuição das pressões exercidas pelo maquinário na superfície do solo atuou na compactação dos pequenos agregados, organizando estruturas em blocos angulares, resultando nos parâmetros morfoestruturais referentes à Unidade Estrutural 2, descritos no Quadro 11. Em um segundo momento, ocorreu o desenvolvimento de fissuras tanto em função de maiores variabilidades térmicas e de umidade como em consequência da pressão exercida pelo rodado do maquinário, ambos fatores atuantes nas faces de ruptura deste

demonstradas através destas mesmas Unidades no sistema contínuo, implicam em uma evolução. Neste caso, provavelmente os fatores mais atuantes são características pedo-climáticas associadas ao tempo, o que explica a não generalização de características morfoestruturais onde não ocorre interferência mecânica.

Interferência mecânica que neste estudo nem sempre resultou em uma condição estrutural desejada. Se por um lado a ação da haste do cruzador trabalhando numa profundidade em torno de 25 cm, proporcionou maior ocorrência de vazios (fissuras), por outro foi associada à presença da Unidade Estrutural 4 com densidade de solo de $1,31 \text{ Kg dm}^{-3}$ (Figura 2); embora isso não altere o comportamento global atual do solo sob SPD 3 (S), tornou-se um meio de maior compacidade entre e intra-agregados, não propiciando o desenvolvimento radicular neste volume de solo.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram por muito as características morfológicas desta unidade pedológica. Com o aumento da densidade do solo em superfície, as variações mais importantes encontradas foram em relação à redução da macroporosidade - vazios com diâmetros superiores a $> 48 \mu\text{m}$, segundo classificação de HAMBLIN (1985). No entanto, como se pode observar nas Figuras 2, 3, 4 e 5, os valores de porosidade total são superiores a 49 %, provavelmente associados às características de estruturas microagregadas dos LATOSSOLOS VERMELHOS, de modo semelhante ao descrito por FREITAS et al. (1998). Comparando-se estes resultados com os obtidos na área sob vegetação natural, constatou-se que a redução da porosidade total deu-se em consequência de uma retração da macroporosidade, passando de 22 % sob condições naturais, para em torno de 5 % nas áreas sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S), em que ocorreram os maiores valores de densidade, ao contrário dos resultados encontrados por FALLEIRO et al. (2003), que não constataram decréscimo da macroporosidade com o aumento da densidade.

Em um primeiro momento, a distribuição das pressões exercidas pelo maquinário na superfície do solo atuou na compacidade dos pequenos agregados, organizando estruturas em blocos angulares, resultando nos parâmetros morfoestruturais referentes à Unidade Estrutural 2, descritos no Quadro 11. Em um segundo momento, ocorreu o desenvolvimento de fissuras tanto em função de maiores variabilidades térmicas e de umidade como em consequência da pressão exercida pelo rodado do maquinário, ambos fatores atuantes nas faces de ruptura deste

tipo de agregados, de acordo com WIERMANN et al. (2000). Estes fatores foram associados à maior densidade na camada superficial do solo sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S) - Unidade Estrutural 2, onde o desenvolvimento de fissuras ocorreu de forma mais generalizada, associada a volumes de solo com menores teores de matéria orgânica, o que pode ser observado nos Quadros 11, 12, 13 e 14, semelhantes aos resultados obtidos por TORRES et al. (1999).

A ocorrência de fissuras nas áreas sob rotação de culturas, com valores de densidade entre 1,23 e 1,26 Kg dm⁻³ no SPD 3 e de 1,20 a 1,24 Kg dm⁻³, no SPDC 15, (Unidade Estrutural 3), foi associada, principalmente, às pressões exercidas pelo maquinário na superfície do solo. Este processo ficou claro quando se observou o tipo de estrutura, subangular/subangular, mesmo com o desenvolvimento de fissuras. Este comportamento ficou bem claro na área sob rotação em manejo contínuo há 15 anos, pelo modo de ocorrência da Unidade Estrutural 3 bem próxima a superfície (Figura 5). Resultados semelhantes foram obtidos anteriormente, por PICCININ et al. (1999).

Enquanto nas áreas sob sucessão, predominou vazios com origem na ruptura dos agregados, nas áreas em rotação a forma de vazios predominante ocorreu da assembléia de pequenos agregados (1 a 5 cm de diâmetro). Este processo implica em uma evolução nas características morfológicas, para condições semelhantes às constatadas na área sob vegetação natural. Estas mesmas características (Quadro 11), são predominantes na Unidade Estrutural 6, de transição entre o volume de solo alterado pelo manejo para um outro volume, onde não se evidenciou alterações decorrentes dos sistemas avaliados, espaço correspondente a Unidade Estrutural 7 (Quadro 11, Figuras 2, 3, 4, e 5), de acordo com RALISCH et al. (1993).

Independentemente dos sistemas de manejo do solo e da sequência de culturas, vazios com originados na decomposição de sistemas radiculares (tubular) e resultantes da atividade exercida pela fauna do solo (cavidades entre 0,2 e 2,5 cm de diâmetro), desenvolveram de forma acentuada nos perfis estudados. Os menores vazios (diâmetros) resultantes da atividade da fauna ocorreram em consequência da escavação de formigas e cupins; os de maiores diâmetros, do transporte de resíduos orgânicos exercido por formigas e, principalmente, corós (*Phyllophaga cuyabana*), em acordo com o citado por LAVELLE et al. (1992) e OLIVEIRA et al. (1997).

citados por REICHARDT (1985) e referidos por FARIA e CARAMORI (1986), e ainda semelhantes a SILVA et. al. (1998).

Nas áreas sob rotação de culturas, os valores de retenção de água foram mais elevados somente a 6 KPa no SPD 3 e entre 6 e 33 KPa no SPDC 15. Entre 33 e 300 KPa, evidenciou-se semelhança entre os sistemas de seqüência de culturas, e, de 300 a 1500 KPa, foram superiores nas áreas sob sucessão. Em relação aos sistemas de manejo do solo, os melhores resultados foram encontrados nos SPDC 15, como pode ser observado através das Figuras 6.

No entanto, em consequência da variabilidade espacial das Unidades Estruturais, ficou caracterizado um comportamento hídrico diferenciado nos perfis avaliados, principalmente sob sucessão de culturas.

As variações do potencial mátrico indicaram que entre 6 KPa, correspondente a vazios onde ocorre o fluxo de água gravitacional e a capacidade de campo, 33 KPa, e deste potencial até 100 KPa, amplitude correspondente a vazios responsáveis pela água rapidamente assimilável pelas plantas (REICHARDT, 1985; FARIA e CARAMORI, 1986), os valores foram superiores nas condições de solo correspondentes às Unidades Estruturais 5, 6, 7 e, principalmente, na Unidade Estrutural 3 (Figura 6).

O comportamento hídrico em uma condição de solo correspondente a Unidade Estrutural 3, demonstraram que: a) no potencial 6 KPa, a ocorrência de fissuras provavelmente foi fator resultante na maior disponibilidade e/ou drenagem de água, principalmente considerando que este comportamento se repetiu em todos os perfis de solo; b) entre 33 e 300 KPa, a compactidade intra-agregados (embora em menor grau em relação a Unidade Estrutural 2), atuou em uma maior retenção de água nestes potenciais.

Nas Unidades Estruturais 5, 6 e 7, onde foram encontrados menores valores de densidade e maiores índices de macro e porosidade total, com vazios estruturais predominantes da assembléia de pequenos agregados, constatou-se características de maior disponibilidade de água, mas não de sua retenção, assim como mencionado por SILVA et al. (1988).

condições de solo com maior compactidade (Unidade Estrutural 20, foram superiores aos citados por REICHARDT (1985) e referidos por FARIA e CARAMORI (1986), e ainda semelhantes a SILVA et. al. (1998).

Nas áreas sob rotação de culturas, os valores de retenção de água foram mais elevados somente a 6 KPa no SPD 3 e entre 6 e 33 KPa no SPDC 15. Entre 33 e 300 KPa, evidenciou-se semelhança entre os sistemas de seqüência de culturas, e, de 300 a 1500 KPa, foram superiores nas áreas sob sucessão. Em relação aos sistemas de manejo do solo, os melhores resultados foram encontrados nos SPDC 15, como pode ser observado através das Figuras 6.

No entanto, em consequência da variabilidade espacial das Unidades Estruturais, ficou caracterizado um comportamento hídrico diferenciado nos perfis avaliados, principalmente sob sucessão de culturas.

As variações do potencial mátrico indicaram que entre 6 KPa, correspondente a vazios onde ocorre o fluxo de água gravitacional e a capacidade de campo, 33 KPa, e deste potencial até 100 KPa, amplitude correspondente a vazios responsáveis pela água rapidamente assimilável pelas plantas (REICHARDT, 1985; FARIA e CARAMORI, 1986), os valores foram superiores nas condições de solo correspondentes às Unidades Estruturais 5, 6, 7 e, principalmente, na Unidade Estrutural 3 (Figura 6).

O comportamento hídrico em uma condição de solo correspondente a Unidade Estrutural 3, demonstraram que: a) no potencial 6 KPa, a ocorrência de fissuras provavelmente foi fator resultante na maior disponibilidade e/ou drenagem de água, principalmente considerando que este comportamento se repetiu em todos os perfis de solo; b) entre 33 e 300 KPa, a compactidade intra-agregados (embora em menor grau em relação a Unidade Estrutural 2), atuou em uma maior retenção de água nestes potenciais.

Nas Unidades Estruturais 5, 6 e 7, onde foram encontrados menores valores de densidade e maiores índices de macro e porosidade total, com vazios estruturais predominantes da assembléia de pequenos agregados, constatou-se características de maior disponibilidade de água, mas não de sua retenção, assim como mencionado por SILVA et al. (1988).

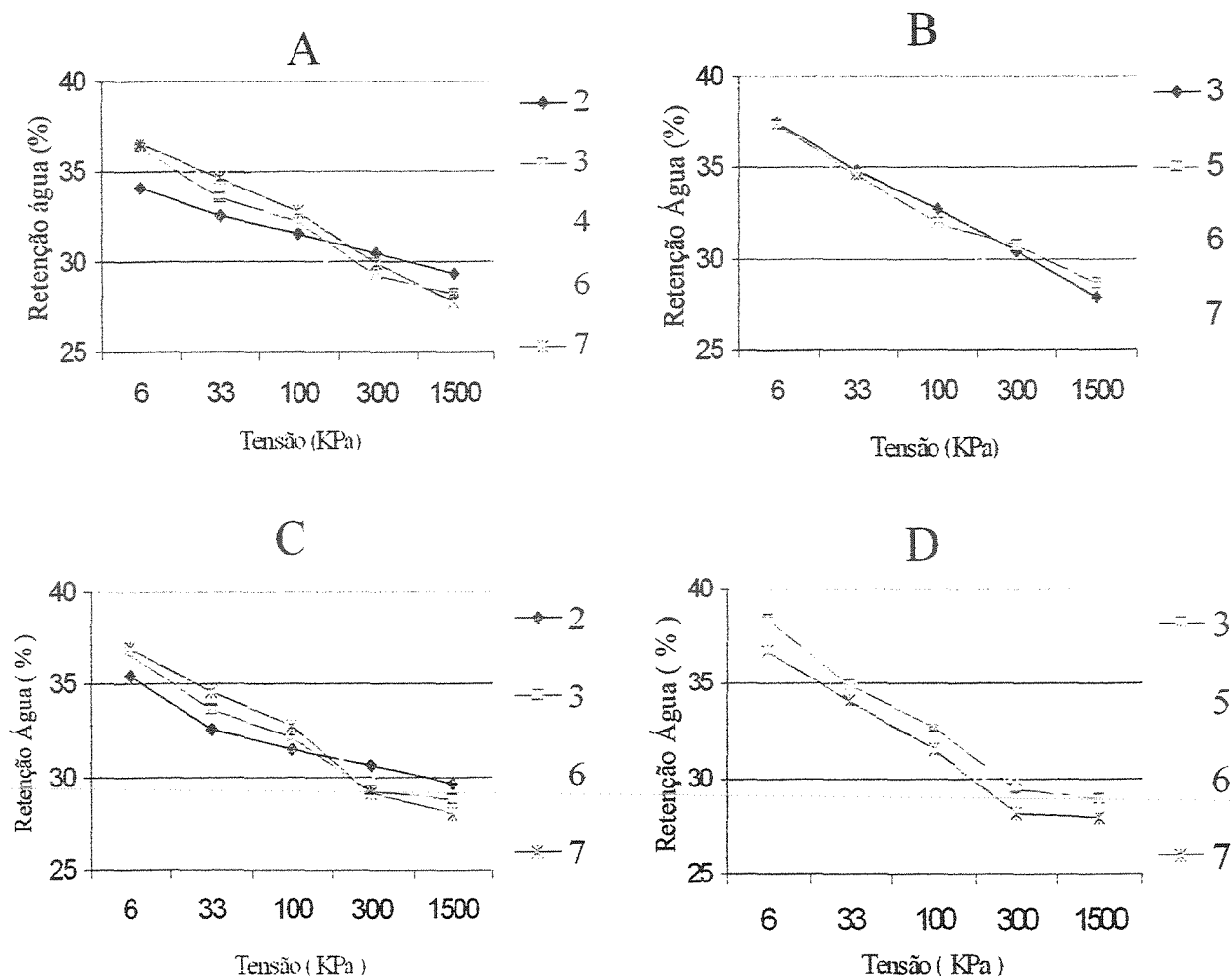


Figura 6: Índice de retenção de água nos perfis sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão nas Unidades 2, 3, 4, 6 e 7 (A) e rotação nas Unidades 3, 5, 6 e 7 (B) e contínuo há 15 anos em sucessão nas Unidades 2, 3, 6 e 7 (C) e rotação 3, 5, 6 e 7 (D).

Embora os valores de densidade de solo referentes à Unidade Estrutural 4 sejam inferiores aos encontrados no volume correspondente a Unidade Estrutural 2, neste mesmo sistema o processo de compactação nesta organização ocorreu tanto entre como intra-agregados, reduzindo os vazios com origem na assembléia de pequenos agregados. Este desenvolvimento de compactação entre e intra-agregados não é um processo muito comum em áreas sob sistema plantio direto, como o observado por FREITAS et al. (1998).

Os maiores índices de retenção de água (entre 6 e 33 KPa) foram encontrados nos SPD 3 (R) e SPDC 15 (R), relacionados a estruturas de superfície com maiores teores de matéria orgânica, vazios com origem tanto na assembléia de pequenos agregados como de fissuras e menores valores de densidade de solo. Na área sob SPDC 15 (R), em toda a amplitude dos pontos amostrados, entre 6 e 1500 KPa, não se constataram diferenças nos valores correspondentes às Unidades Estruturais 3 e 5. Já na área sob SPD 3 (R), nestas mesmas Unidades Estruturais, os valores foram semelhantes até a tensão de 33 KPa, sendo que a partir deste ponto os índices de retenção de água caracterizaram níveis superiores na Unidade Estrutural 3.

No caso do SPD 3 (R), os maiores índices de retenção de água a partir de 100 KPa na Unidade Estrutural 3, em relação a Unidade Estrutural 5, foram associados ao desenvolvimento de fissuras, maior coesão dos agregados pela sua ocorrência próxima a superfície e dos maiores valores de densidade de solo nesta organização estrutural, já que os níveis de matéria orgânica se equivaleram no SPD 3 (R), conforme Quadros 12 e 13.

Considerando o conjunto de dados obtidos com a descrição morfoestrutural e através das determinações volumétricas, implicam que a densidade do solo não se mostrou fator atuante na disponibilidade e retenção de água; no caso, o rearranjo das partículas sólidas do solo e, conseqüentemente, da organização estrutural, caracterizaram maiores ou menores teores de água. Se, por um lado, o processo de compactação intra-agregados caracterizou uma maior retenção de água, o desenvolvimento de fissuras resultante deste processo constitui meios de circulação e disponibilidade de água, assim como mencionado por CHOPART (1996).

As águas provenientes de precipitações pluviométricas ao atingirem a superfície do solo são interceptadas pela cultura instalada, ou pelos resíduos culturais do cultivo anterior. Como foi discutido anteriormente, embora não se consiga a formação de uma espessa camada de resíduos culturais na superfície do solo (TORRES et al. 1999), o material orgânico proveniente da colheita permanece na superfície do solo até a cobertura completa desta pela área foliar da cultura seguinte (PICCININ et al. 1999).

Assim, nas áreas sob rotação de culturas, ao atingir a Unidade Estrutural 1, a água precipitada dá início ao processo de infiltração sem qualquer impedimento, em razão do não desenvolvimento de Unidades Estruturais com níveis mais elevados de compactação em

superfície. As Unidades Estruturais 3 e 5, predominantes em superfície nas áreas sob SPD 3 (R) e SPDC 15 (R) caracterizadas por estruturas subangulares com faces de ruptura rugosa, estáveis com vazios predominantes de fissuras, da assembléia de pequenos agregados e com origem na atividade biológica (tubular e cavidades), constituíram em um meio poroso onde os líquidos circulam com facilidade. Se, por um lado, caracterizou-se que os vazios com origem estrutural são atuantes no processo de infiltração, a porosidade de origem textural (BRADY, 1983; RUELLAN, 1990), com valores acima de 51% predominantemente de microporos (vazios menores que 45 μm), foram associados à retenção de água e nutrientes.

Nas áreas sob SPDC 15 (S) e SPD 3 (S), a água ao atingir a superfície do solo, provavelmente encontrou na Unidade Estrutural 3 um meio com maior facilidade de infiltração, tanto em função das características morfológicas (como estrutura e vazios, Quadro 11), como dos menores índices de densidade; embora predomine vazios com origem em fissuras, os vazios resultantes da atividade biológica (principalmente tubulares) são muito elevados. As organizações estruturais caracterizadas como Unidade Estrutural 2 representaram o volume de solo de maior retenção de água, entre os perfis estudados, como indicam os aspectos morfoestruturais e os resultados volumétricos obtidos.

Pelo confronto dos parâmetros morfoestruturais levantados em campo com os resultados volumétricos obtidos, caracterizou-se que o fluxo de água e a solução do solo provavelmente se dão (da superfície para a superfície) sem qualquer impedimento. Mesmo assim, não se constatou qualquer processo de lixiviação de nutrientes, que seria evidente no caso de maior suficiência de elementos químicos nas Unidades Estruturais 6 e 7, embora os índices de saturação de bases sejam também elevados nestas Unidades (Quadro 12, 13, 14 e 15).

Assim, nas áreas sob sucessão de culturas, com níveis mais elevados de compactação, constatarem-se aspectos acentuadamente distintos na superfície do solo. E enquanto no volume correspondente a Unidade Estrutural 3 foram verificadas melhores condições de infiltração e disponibilidade de água, na Unidade Estrutural 2 caracterizou-se uma condição estrutural com propriedades que atuam na retenção, fatores relacionados principalmente ao maior grau de compacidade intra-agregados nesta Unidade, cujo comportamento foi também observado por SANCHES (1981) e TAVARES FILHO et al. (2001).

Resultante de um maior grau de compacidade somente intra-agregados na Unidade Estrutural 2, o desenvolvimento de tortuosidade (BARBER 1984) não ocorreu entre-agregados. Este processo provavelmente tenha facilitado a difusão de nutrientes nos vazios entre as faces dos agregados neste volume de solo, principalmente considerando índices mais elevados de retenção de água nesta Unidade, o que foi também verificado por CAMARGO, (1983), BARBER (1984) e REICHARDT (1987).

No volume de solo em que a densidade de solo não ultrapassou valores de 1,30 Kg dm⁻³ e o grau de compacidade intra-agregados foi baixa, caracterizando Unidades Estruturais 3 e 5, o processo de difusão e fluxo de massa provavelmente foram melhorados em consequência de uma maior aproximação dos agregados, do maior teor de água, e, conseqüentemente, do contato íon-raiz, conforme observação de SILBERBUSH et al. (1983), MARSCHENER (1983) e MERTEN e MIELNICZUK (1991).

O padrão de fertilidade do solo nas áreas de cultivo caracterizou-se como alto. Com a amostragem para análise química realizada por Unidade Estrutural, a partir do Perfil de Manejo, foram constatados nas Unidades mais superficiais (compreendendo os primeiros 30 cm de profundidade), os maiores níveis de suficiência, conforme demonstram os Quadros 12, 13, 14 e 15

Como pode ser observada, a variação horizontal (e mesma vertical) dos teores de cálcio (Ca⁺⁺), magnésio (Mg⁺⁺) e do pH não se mostrou relacionada com o sistema de manejo do solo e cultivo avaliados, o que está de acordo com os resultados obtidos por SCHLINDWEIN e ANGHINONI (2000). Nas áreas sob rotação de culturas, os teores de carbono foram superiores aos resultados obtidos sob sucessão, o que era esperado pela maior diversidade de culturas instaladas nestas áreas. Nos SPD 3 (S) e SPD 3 (R), além do C, os teores de fósforo (P) caracterizam níveis mais elevados nas Unidades Estruturais 2, 3 e 5, resultados em acordo com BAYER et al. (2000) e WIERMANN et al. (2000). Estes teores mais elevados de C e P a maiores profundidades nas áreas SPD 3 (S) e SPD 3 (R) estão relacionados à intervenção mecânica com o cruzador de três em três anos, resultando um processo acumulativo.

elevados valores de saturação de bases (acima de 50 %) em todas as organizações estruturais amostradas, de acordo com os critérios de calagem citados por MELO (1985) e SÁ (1993).

Quadro 12: Propriedades químicas do solo sob Sistema Plantio Direto Com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos em Sucessão de Culturas – SPD 3 (S).

Unidades Estruturais	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol _c /dm ³							%	g/dm ³	mg/dm ³	
1 (0 – 7)	5,98	0,00	2,58	6,52	3,02	0,43	12,55	9,97	79,4	26,7	45,9	24,3
2 (3 - 20)	5,46	0,00	3,22	5,21	1,37	0,15	9,95	6,73	67,64	21,6	37,2	9,8
3 (3 – 30)	5,51	0,00	2,29	4,26	1,17	0,08	7,80	5,51	70,64	22,9	39,4	2,0
4 (15-25)	5,18	0,00	3,42	2,58	0,62	0,05	6,67	3,25	48,7	4,2	7,2	1,4
6 (30-50)	5,45	0,00	2,58	3,13	1,01	0,05	6,65	4,19	61,89	8,8	15,1	1,4
7 (> 50)	5,38	0,00	3,83	3,45	1,23	0,33	8,84	5,01	56,7	7,9	13,6	1,3

Quadro 13: Propriedades químicas do solo sob Sistema Plantio Direto Com Intervenção Mecânica de Três em Três Anos em Rotação de Culturas - SPD 3 (R).

Unidades Estruturais	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol _c /dm ³							%	g/dm ³	mg/dm ³	
1 (0 – 7)	5,87	0,00	3,08	6,14	2,53	0,50	12,25	9,17	74,86	28,8	49,5	40,0
3 (3 – 18)	5,85	0,00	2,82	4,14	2,41	0,20	9,57	6,75	70,5	23,9	41,1	10,8
5 (7 – 31)	5,61	0,00	2,29	4,17	1,19	0,10	7,80	5,51	70,64	26,8	46,1	8,9
6 (31-50)	5,41	0,00	3,13	3,14	0,92	0,05	7,24	4,11	56,77	9,4	16,2	2,8
7 (> 50)	5,31	0,00	3,74	3,05	0,91	0,05	7,75	4,01	51,7	7,3	12,6	2,0

Quadro 14: Propriedades químicas do solo sob Sistema Plantio Direto Contínuo há 15 Anos em Sucessão de Culturas – SPDC 15 (S)

Unidades Estruturais	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol _c /dm ³					%		g/dm ³		mg/dm ³	
1 (0 – 5)	6,02	0,00	2,84	6,35	2,82	0,75	12,76	9,92	77,74	25,9	44,5	29,8
2 (4-- 20)	5,26	0,00	3,08	3,36	0,94	0,05	7,43	4,35	58,55	18,8	32,3	2,8
3 (5 – 2 8)	5,71	0,00	2,98	5,21	1,03	0,13	10,28	6,37	61,96	20,9	35,9	4,6
6 (28-45)	5,49	0,00	2,11	3,45	0,83	0,18	6,57	4,46	67,88	9,5	16,3	1,8
7 (> 45)	5,31	0,00	3,74	3,08	0,91	0,05	7,75	4,01	51,74	8,2	14,1	1,8

Quadro 15: Propriedades químicas do solo sob Sistema Plantio Direto Contínuo há 15 Anos em Rotação de Culturas – SPDC 15 (R)

Unidades Estruturais	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	V	C	MO*	P
cm	H ₂ O	cmol _c /dm ³					%		g/dm ³		mg/dm ³	
1 (0 – 5)	5,58	0,00	3,74	5,65	2,06	0,75	12,20	8,46	69,34	30,1	51,8	33,0
3 (4-- 18)	5,66	0,00	2,90	4,88	1,13	0,53	9,44	6,54	69,28	22,6	38,9	4,3
5 (5 –2 5)	5,58	0,00	3,07	6,12	2,53	0,51	12,25	9,16	74,86	23,2	39,9	3,8
6 (25-45)	5,46	0,00	2,98	4,63	1,15	0,48	9,24	6,26	67,74	11,2	19,3	2,6
7 (> 45)	5,34	0,00	3,30	3,33	0,84	0,30	7,77	4,47	57,53	9,8	16,9	1,8

Os menores valores de Ca, Mg, K, saturação de bases (V %), C e pH na Unidade estrutural 4, desenvolvida em subsuperfície no SPD 3 (S), são característicos para este tipo de organização estrutural. Quando se compararam os teores destes elementos nesta Unidade com os níveis mais elevados das Unidades Estruturais 6 e 7, a maiores profundidades (Quadro 12), verificou-se que, provavelmente, são fatores resultantes de uma maior compactação entre e intra-agregados, com redução da macro e porosidade total (Figura 2) e dos vazios resultantes

da assembléia de pequenos agregados. Em consequência destes fatores, provavelmente não ocorreu uma maior movimentação da solução do solo neste volume, o que explicaria os baixos níveis de suficiência obtidos, de acordo com ANGHINONI e SALLET (1998).

Estes resultados evidenciam que a movimentação da solução do solo foi afetada por uma série de fatores, como a distribuição, continuidade e diâmetro dos vazios, tipo e classe das estruturas, assim como da localização de desenvolvimento da Unidade Estrutural, menos dependente dos valores de densidade. Este comportamento ficou caracterizado com os teores de suficiência obtidos na Unidade Estrutural 2, com densidade de $1,36 \text{ Kg dm}^{-3}$, tanto no SPDC 15 (S) como SPD 3 (S), semelhante ao da Unidade Estrutural 3, nos mesmos perfis ou mesmo aos níveis dos SPD 15 () e SPD3 (R), de acordo PICCININ et al (1997), e contrário ao citado por HAKANSSON (1990), que prioriza níveis de compactação por meio de análises volumétricas de densidade e distribuição modal da porosidade.

Este mesmo processo de aumento da densidade e redução da macroporosidade que ficou constatado na camada mais superficial do solo, tanto no sistema contínuo como de intervenção mecânica de três em três anos, não restringiu o desenvolvimento radicular da soja, contrariamente ao citado por DE MARIA et al. (1999). As avaliações do perfil radicular caracterizaram uma concentração acentuada nos primeiros 20 cm de profundidade, independentemente do sistema plantio direto contínuo há 15 anos ou com intervenção mecânica a cada três anos (Figura 7), de modo semelhante ao citado por MELLO IVO e MIELNICZUK (1999) e típico das plantas de soja (TORRES et al, 1993), sendo cultivada na época a variedade BR 156.

A maior concentração de raízes nos sistemas avaliados ocorreu na Unidade Estrutural 1 (entre 0 e 7 cm de profundidade), caracterizada por um elevado desenvolvimento de vazios entre os pequenos agregados granulares (SPD 3 – S) e grumosos (SPD 3 – R, SPDC 15 – S e SPDC 15 – R), em consequência da não coesão entre as faces de contactos. A concentração de raízes nesta Unidade ocorreram em razão de ser um meio extremamente poroso, bem como pela elevada disponibilidade de elementos químicos como o P e, principalmente, o K^+ , assim como níveis de pH mais elevados.

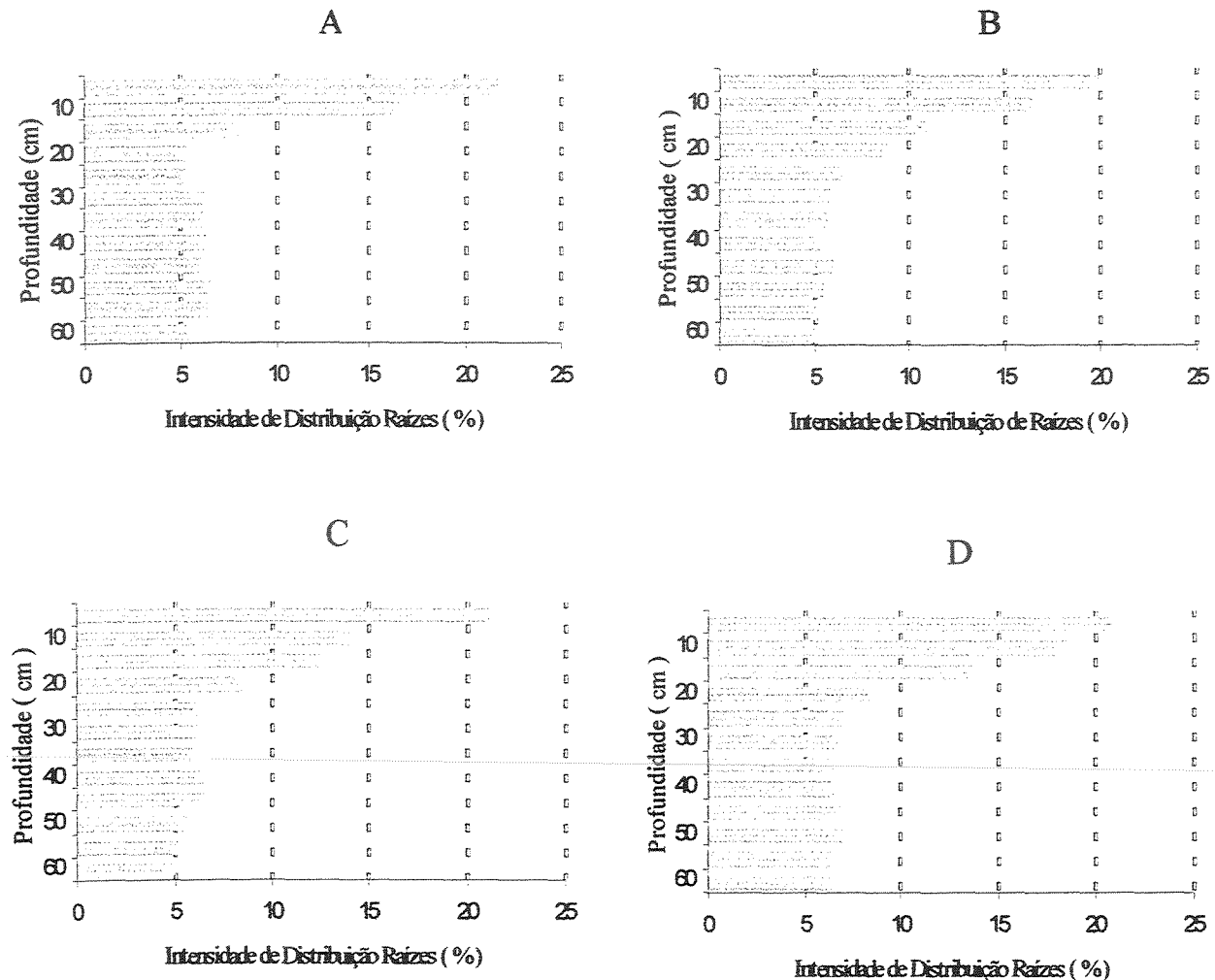


Figura 7: Concentração de raízes nos perfis sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão (A) e rotação (B) e contínuo há 15 anos em sucessão (C) e rotação (D).

No contexto organizacional dos perfis sob SPDC 15 (S) e SPD 3 (S), a Unidade Estrutural 1 esteve sobreposta a Unidade Estrutural 2 e 3, volumes com maiores níveis de compacidade, diferentemente da condição estrutural sob SPDC 15 (R) e SPD 3 (R), onde não se constatarem compacidade entre e intra-agregados e os valores de densidade foram os mais baixos. Independentemente destas condições diferenciadas, a colonização radicular correspondente a Unidade Estrutural 1, deu-se no sentido vertical, resultados coerente com a maior concentração de raízes nesta camada mais superficial do solo (Figura 7).

A concentração radicular nos 20 cm superficiais do solo revelou um comportamento tanto associado a arquitetura do sistema radicular da planta de soja (COALE e GROVE, 1986), como consequência da passagem de um meio de menor resistência para um outro de maior. A passagem das raízes para um meio de menor compactidade (ou resistência) para um de maior (por menor que seja o grau de compactidade), traduziu-se a princípio em um sentido de colonização vertical, comportamento que ficou claro com os resultados obtidos nas áreas sob rotação.

O fator diferencial deu-se no sentido e morfologia das raízes ao atingirem diferentes condições estruturais. Deve ser ressaltado que nos períodos de desenvolvimento crítico da cultura da soja, germinação–emergência e floração–enchimento dos grãos (EMBRAPA, 2002), meses de novembro e janeiro (época deste estudo), respectivamente, não ocorreu déficit de umidade, como pode ser observado na Figura 8.

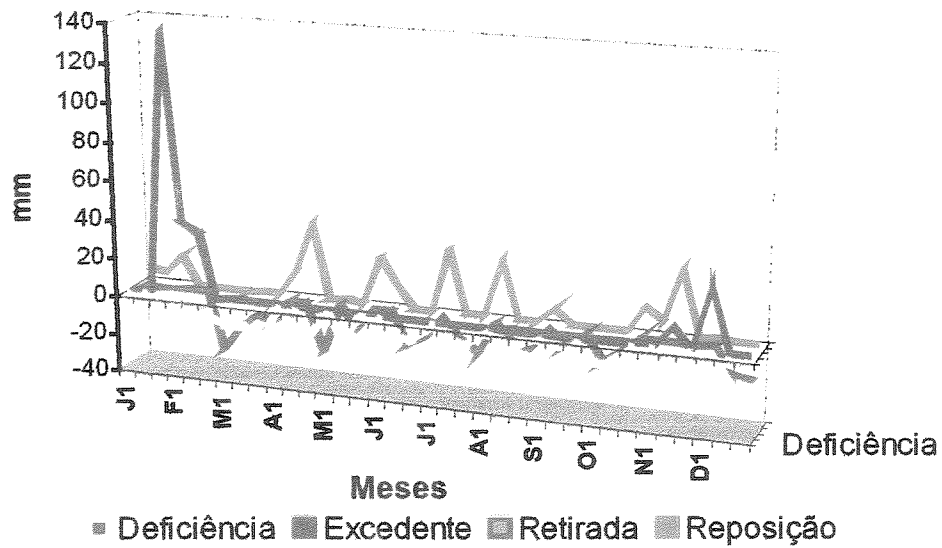
As raízes laterais de primeira e segunda ordem concentraram-se, independentemente dos sistemas avaliados nos primeiros 20 cm de solo, com um comprimento em torno de 20 a 25 cm. Já a raiz principal desenvolveu da superfície para a subsuperfície alcançando em torno de 60 cm de profundidade (de avaliação) nos SPD 3 (R) e SPDC 15 (R). Nos perfis sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S), foi observada certa tortuosidade desta raiz entre 7 a 18 cm de profundidade, sendo constatado seu desenvolvimento em torno dos 50 cm de profundidade.

Nas áreas onde se constatarem níveis mais elevados de compactidade (SPDC 15 S e SPD 3 S - Unidade Estrutural 2), observou-se a ocorrência de raízes em fissuras e vazios tubulares, pouco ramificadas, sem sentido de colonização predominante; já intra-agregados, de compactidade mais elevada, poucas raízes não ramificadas de forma tortuosa e predominantemente não achatadas foram observadas. Ao ultrapassarem este volume, em torno dos 18 – 20 cm de profundidade, elas se ramificaram e colonizaram o volume de solo no sentido vertical, de modo semelhante aos demais sistemas.

A ocorrência de compactidade deu-se em superfície e de forma localizada (Unidade Estrutural 2), próxima das plantas de soja, influenciando na colonização deste volume de solo através de fissuras, vazios tubulares e de cavidades, o que poderia não acontecer se tal processo se desenvolvesse a maiores profundidades, de acordo com PICCININ et al. (1999).

Balanço hídrico decendial - 2003

Embrapa Soja - Londrina/PR



Balanço hídrico decendial - 2004

Embrapa Soja - Londrina/PR

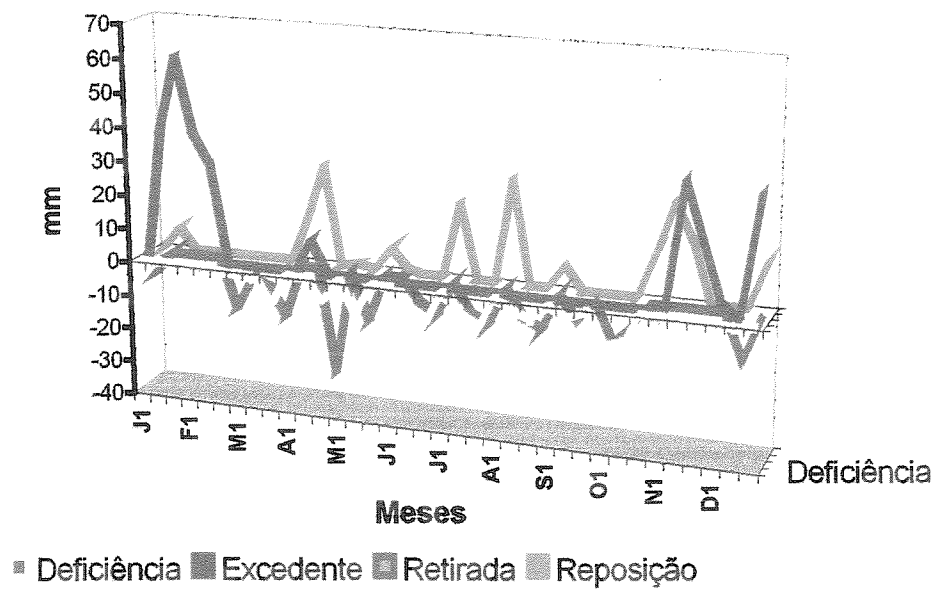


Figura 8: Balanço Hídrico dos Anos 2003 e 2004 coletados no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA Soja), Londrina – PR.

Como o processo de compactação não se desenvolveu de forma generalizada horizontalmente, ou seja, há uma variabilidade de Unidades Estruturais de maior e menor compactação, o meio preferencial de desenvolvimento radicular nos perfis sob SPD 3 (S) e SPDC 15 (S) ocorreu na Unidade Estrutural 3; quando ocorre a transição da Unidade Estrutural 1 para esta Unidade, as raízes tomaram um sentido predominantemente horizontal, até a profundidade de 15 cm, passando então, ao sentido vertical, sendo ramificadas em todo este volume.

Observou-se, nos levantamentos de campo, que o sentido preferencial de desenvolvimento das raízes foi dependente da forma de vazios, ao colonizarem certo volume de solo. Predominantemente no desenvolvimento em fissuras, entre-agregados e mesmo em vazios tubulares, a colonização deu-se no sentido horizontal ou horizontal/vertical nos meios de maior resistência à penetração. As raízes, ao colonizarem o perfil de solo, seguem o meio de menor resistência, o que ficou claro com o desenvolvimento de raízes em vazios com origem na atividade biológica e em Unidades Estruturais 3 e 5, predominando o sentido vertical.

Nas áreas sob rotação de culturas, as raízes apresentaram ramificações em todos os volumes caracterizados pelo Perfil de Manejo, tanto entre com intra-agregados. A colonização do perfil segue um sentido predominantemente horizontal entre 7 e 15 cm de profundidade, e a partir dos 15 cm, vertical, consequência da menor resistência do solo nestes perfis, de acordo com RALISCH et al. (1993).

Foi observada uma redução da ramificação de raízes quando estas se concentravam em vazios com origem na atividade da fauna do solo, com diâmetros superiores a 0,2 cm, provavelmente pelo menor contato raiz/solo. No caso de cavidades desenvolvidas pela atividade do coró, o processo tornou-se mais acentuado, primeiramente pelo maior diâmetro (em torno de 2 cm) e depois pela cavidade ter as “paredes” lisas e sem carreamento de solo; já que no sistema plantio direto a ocorrência de solo pulverizado praticamente não se desenvolve (PICCININ et al. 1997). Nos perfis sob SPD 3 (R) e SPDC 15 (R), constatou-se a ocorrência de raízes com maior desenvolvimento de seu diâmetro, fator associado a menor coesão dos agregados e, conseqüentemente, da interface solo-raiz.

Os resultados obtidos nas áreas sob rotação de culturas assinalaram que o aumento da resistência em sistema plantio direto pode ser minimizado com a inclusão de uma maior

seqüência de cultura, principalmente no início da implantação, ou após uma operação de descompactação superficial (Figura 9). Estes resultados ficaram evidentes pela diferença constatada entre o SPD 3 (R) e o SPD 3 (S), mesmo sistema e manejo do solo com níveis mais elevados de resistência no cultivo em seqüência de culturas (Figura 9 A e B), semelhantes aos obtidos na área sob SPDC 15 (S), no entanto inferiores aos encontrados por WUTKE et al. (2000).

Os resultados com o penetrômetro de impacto possibilitaram quantificar o índice de resistência a penetração do volume de solo, no entanto estes resultados não se relacionaram com uma menor concentração de raízes no espaço de maior resistência, o que foi constatado por TORRES et al (1999), conforme resultados obtidos na Figura 9. Relacionando o Perfil de Manejo com o Perfil de Raízes, os índices de resistência do solo, de 4,5 MPa no SPDC 15 (S), de 4,3 MPa SPD 3 (S), de 3,5 MPa SPD 3 (R) e de 3,0 SPDC 15 (R), não caracterizaram restrição, ou mesmo impedimento, ao desenvolvimento radicular. Estes resultados foram superiores aos citados na literatura, que segundo NESMITH (1987) e MEROTTO e MUNDSTOCK (1999), valores de resistência entre 1 e 3,5 MPa pode restringir,ou mesmo impedir, o desenvolvimento radicular.

Assim, nos perfis onde se constataram os maiores índices de resistência à penetração do solo, no caso o SPDC 15 - S, observou-se comportamento do sistema radicular semelhante ao dos perfis de menor resistência (SPDC 14 – R e SPD 3 -R).

O que fica claro com os resultados obtidos, é que mudança na resistência do solo, entre um volume e outro, mesmo caracterizando valores baixos, como de 0,13 MPa para 1,09 MPa no perfil sob SPD 3 (R), as raízes adquirem, a principio um novo sentido de direção vetical/horizontal entre 7 e 15 cm de profundidade, e vertical a partir dos 15 cm.

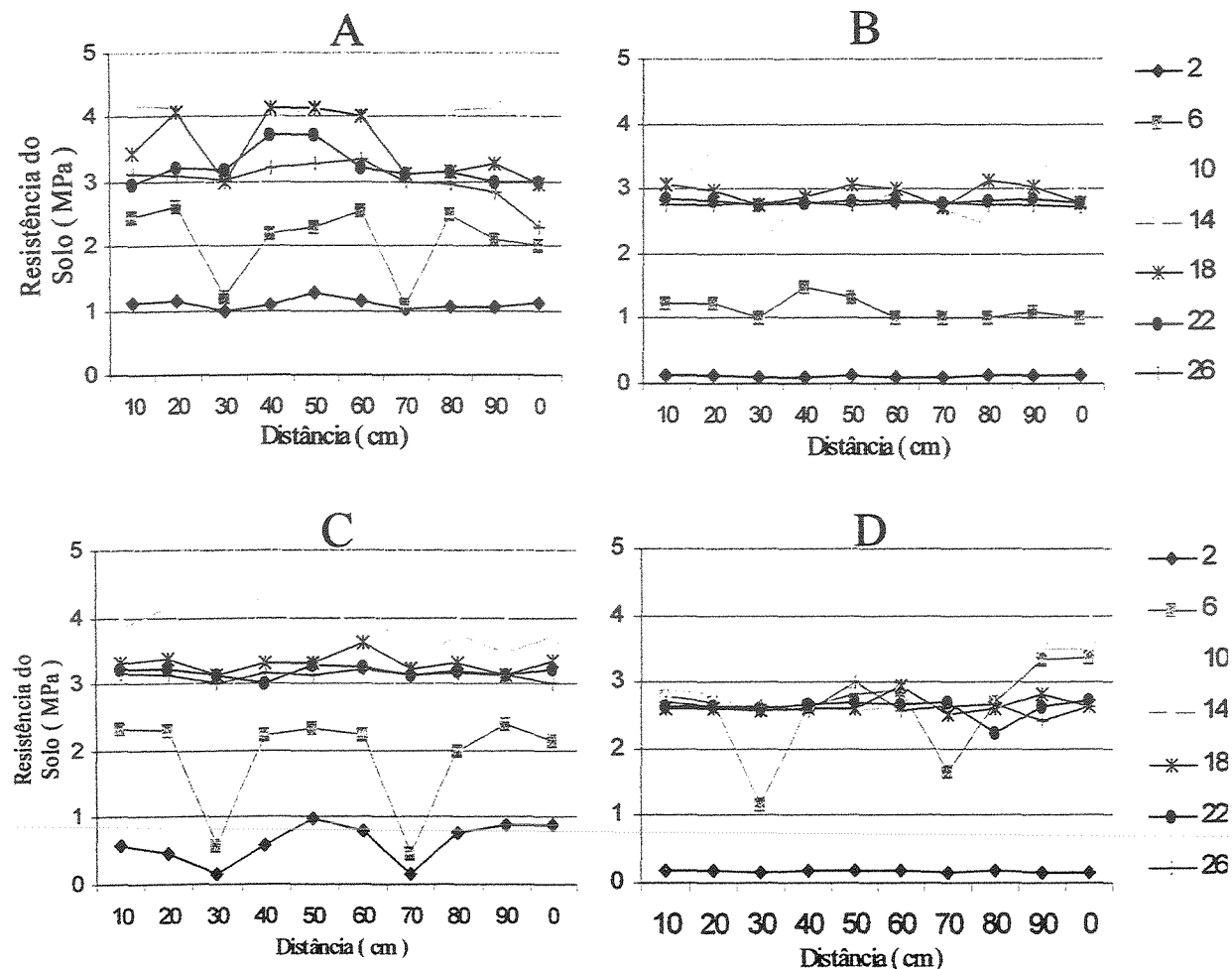


Figura 9: Índice de resistência a penetração nos perfis sob sistemas plantio direto: com intervenção de três em três anos em sucessão (A) e rotação (B) e contínuo há 15 anos em sucessão (C) e rotação (D), nas profundidades 2, 6, 10, 14, 18, 22 e 26 cm.

Outro fator constatado na área sob SPD 3 (S), onde ocorreu uma transição entre as Unidades Estruturais 2 e 4 (Figura 2), com densidade semelhante, os índices de resistência a penetração estiveram em torno de 4,1 MPa (Figura 7 A); no entanto na Unidade Estrutural 2 constatou-se o desenvolvimento radicular, o que não ocorreu na Unidade Estrutural 4.

Enquanto na Unidade Estrutural 4 ocorreu um processo de compactação, tanto entre como intra-agregados, caracterizando uma redução dos vazios com origem na assembléia de pequenos agregados, na Unidade Estrutural 2 o processo se desenvolveu somente intra-agregados, resultando na formação de fissuras, meio de colonização de raízes. Por estarem na mesma profundidade, a umidade não foi considerado fator determinante, o que foi também

referido por DE MARIA et al. (1999). Isto implica que o penetrômetro não quantifica estas formas de vazios de origem estrutural e meio de colonização radicular; no entanto, vazios decorrentes da atividade exercida pela fauna do solo foram amostrados entre 20 a 35 cm de profundidade, do mesmo modo meio de circulação de raízes, de acordo com TORRES et al.. (1999).

Após três anos a passagem do cruzador, os índices de resistência do solo se equivaleram aos encontrados no sistema plantio direto contínuo há 15 anos (Figura 7). Estes resultados são de extrema importância, pois na maioria das vezes, a interrupção do sistema com a passagem do escarificador, é simplesmente baseada em dados de resistência a penetração. Neste estudo, evidenciou-se que, elevados índices de resistência à penetração do solo não implicam em menor desenvolvimento do sistema radicular.

Embora com os estudos quantitativos tenha-se constatado concentração do sistema radicular similar entre os sistemas avaliados, nos sistemas sob rotação de culturas, meio de menores índices de resistência, seu desenvolvimento caracterizou morfologia normal entre 7 a 60 cm de profundidade, sendo seu desenvolvimento horizontal na Unidade Estrutural 1, em consequência do cultivo. Os resultados não evidenciaram qualquer impedimento mecânico ao desenvolvimento radicular a maiores profundidades, que constituem comportamento provável no caso de déficits hídricos, mas como este fator climático não ocorreu, os resultados de produtividade demonstraram que a concentração radicular superficial não compromete o sistema, como pode se observar no Quadro 16.

Os resultados de produtividade foram acima da média do Estado do Paraná, nos respectivos anos de avaliação (DERAL, 2004), considerando as culturas de soja, trigo e milho, em todos os sistemas avaliados.

A influência do sistema de rotação de culturas sobre o rendimento de grãos variou em função dos anos, mas não se observou uma tendência de proporcionar maior produtividade das áreas sob este sistema de cultivo, em relação às áreas cultivadas com sequência soja-trigo. As produtividades médias de grãos nas áreas se mostraram superiores na sequência das safras avaliadas nos sistemas plantio direto contínuo há 15 anos, em maior número de anos na área sob SPDC 15 (S).

Este resultado caracterizou o equilíbrio observado entre os sistemas de cultivos avaliados, que representa um resultado relevante, considerando que o sistema é contínuo há 15 anos. Deve ser ressaltado que o sistema plantio direto estudado é complexo por envolver manejo do solo e das culturas, mas revelou-se como um sistema em equilíbrio, tanto na conservação do solo como de áreas produtivas.

Quadro 16: Produtividade média alcançada nas áreas pesquisadas.

Ano / Cultura	SPD 3		SPDC 15	
	Sucessão Kg /ha	Rotação Kg /ha	Sucessão Kg /ha	Rotação Kg /ha
Safra Verão	Soja	Soja	Soja	Soja
1999/2000	3378,4	3937,4	3572,6	4257,4
Safra Inverno	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo
2000	2937,2	3272,6	2931,1	3260,5
Safra Verão	Soja	Soja	Soja	Soja
2000/2001	3371,3	3396,7	3415,6	3343,1
Safra Inverno	Trigo	Tremçoço	Trigo	Tremçoço
2001	2821,1	-----*	3127,8	-----*
Safra Verão	Soja	Milho	Soja	Milho
2001/2002	3124,2	8682,0	3428,4	9255,0
Safra Inverno	Trigo	Aveia	Trigo	Aveia
2002	1336,2	-----*	1207,9	-----*
Safra Verão	Soja	Soja	Soja	Soja
2002/2003	3192,4	3873,8	3325,2	3746,2
Safra Inverno	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo
2003	2951,3	2865,3	2955,8	2902,5
Safra Verão	Soja	Soja	Soja	Soja
2003/2004	3385,3	3491,7	3432,6	3513,1

*Não se realiza colheita, é passado o Rolo-Faca nestas culturas.

5. CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo estudados mostraram modificações morfoestruturais, aumento da densidade e microporosidade do solo a uma profundidade máxima de 40 cm (horizontes A e AB), por comparação com as condições de vegetação natural, sendo que a partir do horizonte BA as características se tornam semelhantes para todas as situações.

Entre 0 e 40 cm de profundidade das áreas de cultivo, um novo equilíbrio é caracterizado (meio estável) em razão da não mobilização do solo, presença de matéria orgânica, cátions bi-valentes (Ca^{++} e Mg^{++}) e atividade biológica. A maior diferença constatada, a partir da confrontação com o solo sob vegetação natural, é que este constitui um meio muito ácido, tendo o Al^{+++} como importante elemento, que afeta negativamente a CTC e positivamente a agregação. Nos meios mais saturados, ricos em Ca^{++} e Mg^{++} , a agregação é favorecida por esses cátions básicos.

As condições morfoestruturais nas áreas sob rotação de culturas se assemelham mais com as observadas sob vegetação natural, com menores valores de densidade, maior estabilidade dos agregados em água, maior teor de água disponível às plantas e elevação do aporte de resíduos culturais na superfície do solo após a introdução da cultura do milho na seqüência de culturas.

Revelou-se de extrema importância a adequação física e química do solo para a correta implantação de áreas sob plantio direto, a qual influencia continuidade e sustentabilidade do sistema e, conseqüentemente, da produtividade.

Não se constata nos sistemas plantio direto contínuo há 15 anos, um processo de compactação que comprometa a continuidade do sistema de manejo do solo. Mesmo na área sob sucessão, onde foi maior o nível de compacidade, este processo ocorre de forma localizada na superfície do solo, ou seja, não caracteriza compactação generalizada no plano horizontal.

Mesmo na camada superficial, de maior grau de compacidade, caracterizada principalmente nas áreas sob sucessão de culturas, a variabilidade de unidades estruturais resulta comportamento bimodal no perfil do solo, tanto de maior fluxo e reserva útil, como da retenção da água no solo, com volumes que propiciam maior e menor desenvolvimento radicular, de menores e maiores índices de resistência à penetração.

Fica evidente que a disponibilidade, retenção da água e nutrientes no solo, assim como o desenvolvimento radicular são consequência da distribuição, continuidade e diâmetro dos vazios, tipo, classe e localização das estruturas, e menos dependentes dos valores de densidade de solo.

Os valores de densidade estão mais associados aos índices de resistência à penetração do solo, o que não se traduz, no entanto, no maior ou menor desenvolvimento radicular, relacionado de forma mais direta a vazios com origem estrutural. Vazios com origem em fissuras e na decomposição de sistemas radiculares (tubulares), não são amostrados pelo penetrômetro, somente os de maiores diâmetros com origem na atividade da fauna do solo.

O diagnóstico quanto ao modo de organização estrutural no perfil de solo e sua relação com processo de compactação, desenvolvimento e morfologia radicular e teor de acidez em subsuperfície, auxiliam no estabelecimento de quando interferir com práticas mecânicas em áreas sob sistema plantio direto.

As intervenções a cada três anos não trouxeram benefícios às características morfoestruturais, físicas, químicas, bem como na produtividade de grãos nas safras de verão e inverno. A adoção de rotação de culturas se afigura essencial na continuidade do sistema, principalmente no início de sua implantação.

Não se constatou o desenvolvimento de processos de degradação do solo em quaisquer sistemas avaliados; como meio produtivo, foram caracterizadas diferenças de maior produtividade de grãos nas áreas em sistema plantio direto contínuo, porém esse comportamento não foi constante para os anos estudados.

Fica evidente que a disponibilidade, retenção da água e nutrientes no solo, assim como o desenvolvimento radicular são consequência da distribuição, continuidade e diâmetro dos vazios, tipo, classe e localização das estruturas, e menos dependentes dos valores de densidade de solo.

Os valores de densidade estão mais associados aos índices de resistência à penetração do solo, o que não se traduz, no entanto, no maior ou menor desenvolvimento radicular, relacionado de forma mais direta a vazios com origem estrutural. Vazios com origem em fissuras e na decomposição de sistemas radiculares (tubulares), não são amostrados pelo penetrômetro, somente os de maiores diâmetros com origem na atividade da fauna do solo.

O diagnóstico quanto ao modo de organização estrutural no perfil de solo e sua relação com processo de compactação, desenvolvimento e morfologia radicular e teor de acidez em subsuperfície, auxiliam no estabelecimento de quando interferir com práticas mecânicas em áreas sob sistema plantio direto.

As intervenções a cada três anos não trouxeram benefícios às características morfoestruturais, físicas, químicas, bem como na produtividade de grãos nas safras de verão e inverno. A adoção de rotação de culturas se afigura essencial na continuidade do sistema, principalmente no início de sua implantação.

Não se constatou o desenvolvimento de processos de degradação do solo em quaisquer sistemas avaliados; como meio produtivo, foram caracterizadas diferenças de maior produtividade de grãos nas áreas em sistema plantio direto contínuo, porém esse comportamento não foi constante para os anos estudados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ANGHINONI, I e SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. ed. Conceitos e Fundamentos da Sistema Plantio Direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p.27-52.
- BAILEY, A.C.; RAPER, R.L. e BURT, E.C. An integrated approach to soil compaction prediction. J. Agri. Eng. Res. 61: 73-80. 1994.
- BAL, L. Zoological ripening of soil. Agric. Res. Rep. 850. Wageningen, Centre Agric. Publ. Docum., 1982: XVII. 365 p.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, 1984. 398 p.
- BARROS, O.N.F. Análise estrutural e cartográfica detalhada de solos em Marília, Estado de São Paulo. UNESP/FG, 1985. 146 p.
- BLANCANEUX, P. e FREITAS, P. L. Aplicação da análise morfo-estrutural na avaliação dos efeitos de sistemas de uso e manejo do solo. In: I Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária. EMBRAPA-CNPDI, 1996. 18p.
- BOHM, W. Methods of studying root systems. Springer - Verlag, 1979. 194p.
- BOUMA, J.; BELMANS, C.F.M. & DEKKER, L.W. Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels. Soil Science Society of America Journal, 46:917-921. 1982.
- BRADY, N.C. Natureza e Propriedades Solos. Livraria Freitas Bastos S/A, 1983, 647 p.
- BRANDÃO, C.R.; CANCELLO, E.M. & YAMAMOTO, C.L. Avaliação do estado de conhecimento da diversidade biológica do Brasil. USP, São Paulo, 2000. 28 p.
- CAMARGO, O.A. Compactação do Solo e Desenvolvimento de Plantas. Fundação Cargill, 1983. 44 p.
- CATELLAN, A.J. Plantio direto e os microorganismos de solo. In: Plantio Direto no Brasil. Editora Aldeia Norte, p. 111-118. 1993.
- CERRI, C.C. Carbono orgânico no solo. In: Metodologias para Investigación en Manejo de Suelos. Dialogo XXXIX / PROCISUR, Montevideo, p: 13-16. 1994

- CHOPART, J.L. Utilisation de quelques outils portables pour évaluer le fonctionnement hydrique d'une parcelle cultivée en milieu tropical. Le Travail du Sol dans les Systèmes Mécanisés Tropicaux. Montpellier, France, Cirad-Sar. 1997. p: 20-27.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. In: Controle da Erosão no Paraná, Brasil. IAPAR/GTZ, 1991. 272 p.
- DERPSCH, R. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pés. Agropec. Brás. 20: 761-773. 1985.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, M. e 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo, 1979. n.p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Tomo 1: Levantamento do Solo do estado do Paraná. Curitiba. 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-SNLCS: Levantamento Detalhado dos Solos da Área Experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Londrina. 1988. 85p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Brasília, 1999. 412p.
- ESPÍNDOLA, C.R e FERNANDES, M.R. Degradation of a clayey Oxisol by tillage. In: Proc. 16 th World Congress of Soil Science. Montpellier, 1998. 6p. (CDRn)
- FANCELLI, A L. A importância da cultura do milho no plantio direto. In: Plantio Direto no Brasil. CNPT-EMBRAPA, FUNDACEP-FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. Passo Fundo, p: 119-127. 1993.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M. e SILVA, C.S.M. Influências dos sistemas de preparo do solo nas propriedades químicas e físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, 27: 1097- 1104. 2003.

- FARIA, R.T. e CARAMORI, P.H. Caracterização físico-hídrica de um latossolo roxo distrófico do município de Londrina-Pr. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 21: 1303-1311. 1986.
- FENNER, P.T. Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita da madeira. USP, Botucatu. 1999. 135p (Tese Livre Docência).
- FIGUEREDO, L H; DIAS JUNIOR, M. S. e FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade de solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *R. Bras. Ci. Solo*. 24:487-493. 2000.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M. & GALDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. In: Congresso Brasileiro de Soja - Desafios e Soluções do Complexo Soja no Brasil. Anais... Embrapa Soja, p. 350. 1999.
- FREITAS, P.L. e BLANCANEUX, P. Metodologia de pesquisa em manejo do solo: Estrutura e porosidade do solo. In: Metodologias para Investigación en Manejo de Suelos. Dialogo XXXIX / PROCISUR, Montevideo, p:24-42. 1994.
- FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, Ph & MOREAU, R. Caractérisation structurale de sols des cerrados brésiliens (savanes) sous différents modes d'utilisation agricole. *Étude et Gestion des Sols*, 5: 93-105. 1998.
- GAUTRONNEAU & MANICHON, H. Guide méthodologique du profil cultural. *Gera et Ceres*. 1987. 71p.
- GASSEN, D.N. A atividade biológica como ação transformadora do sistema: Simpósio Internacional Sobre Plantio Direto e Sistemas Sustentáveis. Fundação ABC. Castro. p. 137-151. 1993.
- GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R. & MEDINA, C.C. O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo. In: XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBCS, Goiânia. 1:23-25. 1993.
- GUIMARÃES, M.F; TAVARES FILHO, J; RALISCH, R.; MEDINA, C.C; PICCININ, J.L. & BRANDÃO, O. Influence de trois systèmes de mise en valeur sur l'évolution du profil cultural d'un latossolo roxo l'Etat. *Le Travail du Sol dans les Systèmes Mécanisés Tropicaux*. Montpellier, France, Cirad-Sar. 1997. p: 41-49.

- GONZALÉZ, N. Maquinaria conservacionista. In: Panorama Agrário Mundial. Argentina, INTA. 1989. p: 154-155.
- HAKANSSON, I.A. A method for characterizing the state of compactness of plough layer. Soil & Tillage Research, 16: 105-120, 1990.
- HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water moviment, crop root growth and water uptake. Ad. Agron, 38:95-158. 1985.
- HENIN, S.; GRAS, R. & MONNIER, G. Le Profil Cultural. 2 ème édit. Masson Ed, 1969
- INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATISTICA – IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro. 1992. 91p.
- KERTZMAN, F.F. Modificações na estrutura e comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação. Universidade de São Paulo, 1996, 153p. (Tese de Doutorado).
- LAVELLE, P., BLANCHART, E., MARTIN, A., SPAIN, A. V. & MARTIN, S. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. Soil Sci. Soc. America, spec. publ. 29: 157 - 185. 1992.
- LEMO, R.M. e SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo a campo. Serviço nacional de Levantamento e conservação do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Campinas. 1984. 45p.
- MALAVOLTA, E; GOMES, F.P. e ALCARDE, J.C. Adubos & adubações. São Paulo, Nobel. 2002. 200p.
- MANICHON, H. Influence des systêmes de culture sur de profil cultural: elaboration d'une méthode de diagnostic basé sur l'observation morphologique. INA-PG, 1982, 214 p. (Tese Doutorado).
- MEDEIROS, G.B. e HENKLAIN, J.C. O plantio nas regiões tropical e subtropical brasileiras. In: Avances em Siembra Directa. IICA-PROCISUR, p. 63-72, 1995.
- MELLO IVO, W.M.P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. R. Bras. Ci. Solo, 23: 135-143, 1999.
- MELO, F.F. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem. Seminário Sobre Corretivos Agrícola. Fundação Cargill, Campinas. P:67-92. 1985.

- MEROTTO, a e MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. R. Bras. Ci. Solo. 23: 197-202. 1999
- MERTEN, G.H. & MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. Campinas. R. Bras. Ci. Solo, 15:369-374. 1991.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. & NETO, D.D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. Scientia Agrícola, 50:383-392, 1993.
- MORAES, M.H. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 106 p. (Dissertação de Mestrado).
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. Atualização em plantio direto. Fundação Cargill. p. 275-284. 1985.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:186-193. 1987.
- NOVAK, L.R.; MONTOVANI, E.C. e FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho escuro. Pesq. Agropec. Brás. 27:1587-1595. 1992
- OLIVEIRA, J.B; JACOMINE, P.K & CAMARGO, M.N. Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, L.J; GARCIA, A; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; FARIAS, J.R.B. e CORSO, I.C. Coró – da – Soja (*Phyllophaga cuyabana*). EMBRAPA – CNPSo. Londrina. 30p. 1997.
- PAVAN, M.A. Fertilidade do solo em plantio direto. In: III Encontro Nacional de Plantio Direto. Anais... Fundação ABC, p. 67-75, 1985.
- PICCININ, J.L.; MEDINA, C.C.; GUIMARÃES, M.F; TORRES, E. & SARAIVA, O. F. Relação entre organização estrutural, crescimento de raízes e propriedades físicas e químicas de um latossolo roxo distrófico cultivado por 17 anos sob sistema de semeadura direta. Universidade Estadual de Londrina-Pr, 1997, 32p.

- PICCININ, J.L.; MEDINA, C.C.; GUIMARÃES, M.F; TORRES, E. & SARAIVA, O. F. Relações entre organização estrutural, crescimento de raízes e propriedades físicas e químicas de um Latossolo Roxo cultivado sob sistema de semeadura direta. ANAIS da FertBio 98, UFLA, LAVRAS. CAXAMBU. 1998
- PICCININ, J.L.; TORRES, E. & SARAIVA, O. F. Compactação e desenvolvimento radicular da soja em latossolo roxo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. In: Congresso Brasileiro de Soja - DESAFIOS e SOLUÇÃO do COMPLEXO SOJA no BRASIL. ANAIS...Embrapa Soja, 1999.
- PICCININ, J.L.; ESPÍNDOLA, C.R. & TORRES, E. Condições morfoestruturais e estabilidade dos agregados do solo sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Anais...CEPLAC/CEPEC, 2000
- PRADO, H. Manual de classificação de solos do Brasil. FUNEP, 1995, 197p.
- PRIMAVESI, A . O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. São Paulo, Nobel, 1980. 541p.
- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. Agrônômica Ceres, 1991, 341p.
- RALISCH R.; GUIMARÃES, M. F.; BALBINO, L.C.; MEDINA, C.C. e TAVARES FILHO, J. Estudos do efeitos da realização sucessiva de um mesmo tipo de manejo sobre o perfil cultural e o perfil de enraizamento em um Latossolo Roxo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22. Ilhéus. 3:2122-2134. 1993.
- REICHARDT, K. Processos de transferências no sistema solo - planta - atmosfera. Fundação Cargill, 1985, 443 p.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Manole, 1987, 89p.
- RUELLAN,A. As estruturas da cobertura pedológica. Apotila de Curso, 1990, 78p. n.p.
- RUELLAN, A e DOSSO, M. Regards sur lê sol. Universités Francophones, , Paris. 1993. 192p.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: Plantio Direto no Brasil. Editora Aldeia Norte, p. 37-60, 1993.
- SANCHES, P.A. Suelos del tropico: características y manejo. São José,IICa, 634 p. 1981.

SCAPINI, AC. A; REINERT, V R e SILVA, V. Evolução da estabilidade estrutural de solo degradado por dois anos de preparo convencional e plantio direto contínuo. Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 6, Brasília. <http://www.agri.com.Br/6enpdp/resumos>. Brasília. 1988.

SCHLINDWEIN, J.A. e ANGHINONI. I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. R.Bras. Ci. Solo. 24: 85-91. 2000.

SECRETARIA ESTADUAL DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. SEAB/DERAL. Acompanhamento Agropecuário. Curitiba. 2004.

SILBERBUSCH, M.; HALLMARK, W.B. & BARBER, S.A. Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake of soybean. New York. Comm. Soil Science Plant Anal., 14:237-296. 1983.

SILVA, R.B.; LIMA, J.M. e SILVA, F.M. Alterações de propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho distrofico. R. Bras. Ci. Solo. 25:791-798. 2001.

SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M e ARAUJO, R. Microrganismos e processos biológicos do solo. EMBRAPA – CNPSo. Londrina. 142p. 1994.

STOLF, R.; FERNANDES, J. e FURLANI NETO, V. Recomendações para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF. STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba. v.1, n.3. 1983.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH,R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C. e NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. R. Bras. Ci. Solo, 23: 393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J; RALISCH R.; GUIMARÃES, M. F.e MEDINA, C.C. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento radicular de Um Latossolo Roxo. R. Bras. Ci. Solo. 25: 725-730. 2001.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. Journal of Soil Science, 29:338-346. 1978.

TORRES, E.; SARAIVA,O.F. e FARIAS, J.R. Manejo do solo para a cultura da soja. EMBRAPA Soja, Londrina. 1998. 71p. (Circular Técnica 12).

TORRES, E.; SARAIVA,O.F. e FARIAS, J.R. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. EMBRAPA Soja, Londrina. 1999. 58p. (Circular Técnica 23).