

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES.
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA –
CURSO DE MESTRADO

MAUSY MARCHEL MARQUES DOMINGOS

**SISTEMAS DE MANEJO EM TERRAS AGRICULTÁVEIS
DA GLEBA PINGUIM-RIBEIRÃO FLORIANO
(MARINGÁ/PR) E SUAS INFLUÊNCIAS NAS
PROPRIEDADES DO SOLO**

MARINGÁ - PR

2009

MAUSY MARCHEL MARQUES DOMINGOS

**SISTEMAS DE MANEJO EM TERRAS AGRICULTÁVEIS
DA GLEBA PINGUIM- RIBEIRÃO FLORIANO
(MARINGÁ/PR) E SUAS INFLUÊNCIAS NAS
PROPRIEDADES DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Nakashima

MARINGÁ

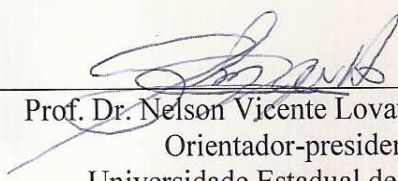
2009

**“SISTEMAS DE MANEJO EM TERRAS AGRICULTÁVEIS DA GLEBA-
RIBEIRÃO FLORIANO (MARINGÁ-PR) E SUAS INFLUÊNCIAS NAS
PROPRIEDADES DO SOLO”**

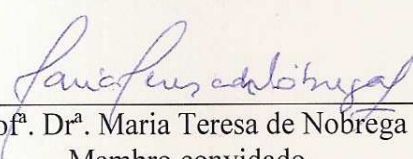
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em **25 de março de 2009.**


BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Orientador-presidente
Universidade Estadual de Maringá



Prof.ª Dr.ª Maria Teresa de Nobrega
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr Ricardo Ralisch
Membro convidado
UEL – Londrina - PR

Dados internacionais de catalogação na publicação
Bibliotecária responsável: Mara Rejane Vicente Teixeira

Domingos, Mausy Marchel Marques.

Sistemas de manejo em terras agricultáveis da Gleba Pinguim-Ribeirão Floriano (Maringá/PR) e suas influências nas propriedades do solo / Mausy Marchel Marques Domingos. - Maringá, Pr, 2009.

116 f. : il. ; 30cm.

Orientador: Nelson Vicente Lovatto Gasparetto.

Co-orientador: Paulo Nakashima.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá.

Bibliografia: f.108-116.

1. Solos – Manejo – Maringá (PR). I. Gasparetto, Nelson Vicente Lovatto. II. Nakashima, Paulo. III. Universidade Estadual de Maringá. IV. Título.

CDD (22^a ed.)

631.4

DEDICATÓRIA

Aos meus pais José (*in memoriam*) e Thereza,
ao meu marido Marcelo, aos meus filhos Marcelo e Monique
pelo incentivo, carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

- A Deus;
- Ao professor Nelson Vicente Lovatto Gaspareto, pela orientação;
- Ao professor Paulo Nakashima, pela disponibilidade na co-orientação;
- Aos professores João Tavares Filho e Ricardo Ralish da Universidade Estadual de Londrina (UEL); Geiva Carolina Calsa, Maria Teresa de Nóbrega e Hélio Silveira da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelos ensinamentos e sugestões;
- À CAPES pelo apoio financeiro,
- Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (UEM) e seus professores pela formação acadêmica e convivência;
- Ao IAPAR, especialmente Mário Miyazawa, Graziela M. de Cesare Barbosa e Auro Sebastião da Silva, por terem contribuído com o aprimoramento científico e disponibilizado o laboratório de física do solo;
- À EMATER, especialmente Luiz Caetano Vicentine, pela troca de idéias;
- Aos professores do Departamento de Engenharia Civil (UEM) Antonio Belincanta e José Wilson Assunção, por permitirem a utilização do laboratório de mecânica dos solos;
- Ao CNPQ Protocolo 473253/2007 e Fundação Araucária Convênio 319/2007;
- Aos técnicos do Dep^o de Engenharia Civil (UEM) Cipriano José de Azevedo Freire e Aparecido da Silva, pelo acompanhamento das análises;
- Aos agricultores da Gleba Pingüim, em especial Moacir Ferro, Gumercindo Gobbi, Paulo Luiz Pereira e Carlos Augusto Pereira pela confiança no meu trabalho;
- Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UEM), em especial à Grace Bungenstab Alves pelo auxílio nas atividades de campo; Fabiana Cristina Meira Zaparoli, Rafaela Harumi Fujita e Alan Charles Fontana pela discussão científica e amizade;
- Aos tios Milton Campana e Elita Pereira Campana, por todo apoio;
- A irmã Roselene Adélia Marchel e sobrinho Renan Marchel pelas orações, apoio e compreensão em todos os momentos;
- Aos amigos, em especial Eduardo Gabriel, pela colaboração e incentivo;

[...] talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito [...] não somos o que deveríamos ser, mas somos o que iremos ser. Mas graças a Deus, não somos o que éramos (Martim Luther King).

RESUMO

Solos originados do basalto, mais especificamente aqueles do Terceiro Planalto Paranaense, são férteis do ponto de vista físico. Sistemas de produção, de um modo geral, são apontados como promotores de alterações na estrutura do solo. O perfil cultural é uma ferramenta importante nos trabalhos de campo, pois viabiliza a realização de análises a partir de uma perspectiva qualitativa da estrutura do solo. Com o intuito de estudar os efeitos da ação antrópica sobre as propriedades do solo selecionou-se quatro sistemas de manejo e uma área de floresta, localizados na Gleba Pingüim-Ribeirão Floriano (Maringá/PR). Avaliou-se a estrutura do solo por meio do perfil cultural, sobretudo a morfologia dos agregados; densidade; carbono orgânico; óxidos; estabilidade via peneiramento em água, diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade dos agregados (IEA). Foi estimado, também, a resistência do solo à penetração com penetrômetro de impacto. Os sistemas de manejo foram constituídos de lavouras, em plantio direto e preparo convencional; cana-de-açúcar e pastagem. Os sistemas contendo plantio convencional e direto apresentaram no perfil cultural maior diversidade de volumes de solo variando espacialmente, sobretudo no sentido horizontal. Verificou-se importante efeito de pré-compressão no solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem, possivelmente, condicionados por usos pretéritos. O cultivo de grãos, especialmente o sistema plantio direto, mostrou maiores densidades nas primeiras profundidades; contudo, a partir de 15cm a densidade desse solo foi próxima daquela apresentada pelo solo sob floresta. Entre 0 a 20cm de profundidade a maior estabilidade dos agregados foi verificada no cultivo sob sistema plantio direto, possivelmente favorecida pelos óxidos; enquanto que de 20cm a 40cm o solo sob floresta apresentou melhor índice; porém nessa profundidade o agente de agregação demonstrou ser a matéria orgânica. Já para os manejos do solo sob cana-de-açúcar e pastagem as estabilidades maiores nas primeiras profundidades foram verificadas no solo sob cana-de-açúcar, favorecida possivelmente pela matéria orgânica; e entre 20cm a 40cm essa situação foi vista para a pastagem, sobressaindo-se os óxidos como agente de agregação. As maiores resistências do solo à penetração para a profundidade até 10cm foi verificada para a pastagem e plantio convencional, seguida do plantio direto e cana. Contudo, aos 20cm tem-se maiores resistências para plantio direto, convencional, cana-de-açúcar e pasto, respectivamente. Das análises, tanto qualitativas como quantitativas, verificou-se que a dimensão física do solo reflete os usos e manejos, sobretudo a variável densidade. Essa se constitui de fundamental relevância haja vista suas implicações tanto do ponto de vista das necessidades das plantas, como dos impactos ambientais.

Palavras-chave: solo, perfil cultural, compactação, sustentabilidade

SUMMARY

Originated soils of the basalt, more specifically those of the Third Paranaense Plateaus, are fertile of the physical point of view. Systems of soil management, in a general way, are pointed as promotional of alterations in the structure of the soil. The cultural profile is an important tool in the field works, therefore it makes possible the accomplishment of analyses from a qualitative perspective of the structure of the soil. With intention to study the effect of the man action on the properties of the soil one selected four soil management and a forest area, located in the Penguin-Brook Soil Floriano (Maringá/PR). It was evaluated structure of the soil by means of the cultural profile, over all the morphology of aggregates; density; organic carbon; oxides; stability in water, weighed average diameter (DMP) and index of stability of aggregates (IEA). It was esteem, also, the resistance of the soil to the penetration with penetrometer of impact. The soil management had been constituted of farmings, in direct plantation and conventional preparation, cane-of-sugar and pasture. The systems I contend conventional plantation and direct they had presented in the cultural profile bigger diversity of volumes of soil having varied space, over all in the horizontal direction. One verified important effect of daily pay-compression in the soil under management of the cane-of-sugar and pasture, possibly, conditional for past uses. The culture of grains, especially the system direct plantation, showed to greater densities in the first depths; however, from 15cm the density of this soil was next to that one presented by the soil under forest. 20cm of depth enters 0 the biggest stability of aggregates was verified in the culture under system direct plantation, possibly favored for oxides; whereas of 20cm 40cm the soil under forest presented index better; however in this depth the aggregation agent demonstrated to be the organic substance. Already for the management of the soil under cane-of-sugar and pasture the estability biggest in the first depths had been verified in the soil under cane-of-sugar, possibly favored for the organic substance; e between 20cm 40cm this situation was seen for the pasture, to point out itself oxides as aggregation agent. The biggest resistance of the soil to the penetration for the depth until 10cm were verified for the pasture and conventional plantation, followed of the direct plantation and sugar cane. However, to 20cm one has bigger resistance for direct, conventional plantation, sugar cane-of-sugar and grass, respectively. Of the analyses, qualitative as in such a way quantitative, the changeable density was verified over all that the physical dimension of the soil reflects the uses and managements. This if constitutes of basic relevance has seen its implications in such a way of the point of view of the necessities of the plants, as of the ambient impacts.

Keywords: soil, cultural profile, compacting, sustainability

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	20
2.1	Hipóteses.....	20
2.2	Objetivos.....	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1	Solo.....	21
3.1.1	Fertilidade, características e propriedades.....	21
3.1.2	Estrutura do solo e sua caracterização.....	25
3.1.2.1	A estrutura como expressão da evolução do solo.....	28
3.1.2.2	Estabilidade estrutural nas relações manejo e cultivo.....	32
3.2	Gerenciamento do solo agrícola.....	36
3.2.1	Sistemas de manejo.....	36
3.2.2	Perfil cultural na avaliação qualitativa do solo.....	41
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1	Localização da área de estudo.....	43
4.1.1	Caracterização da área de estudo.....	46
4.1.1.1	Aspectos físicos da área.....	46
4.1.1.2	Aspectos geográficos e históricos.....	49
4.2	Método.....	50
4.2.1	Perfil cultural.....	50
4.2.1.1	Amostragem do solo e determinações.....	52
4.2.1.1.1	Granulometria.....	53
4.2.1.1.2	Estabilidade dos agregados do solo via úmida.....	53
4.2.1.1.3	Resistência do solo à penetração.....	54
4.2.1.1.4	Densidade do solo.....	55
4.2.1.1.5	Densidade de partícula.....	55
4.2.1.1.6	Matéria orgânica	56
4.2.1.1.7	Óxidos de ferro, óxidos de alumínio e minerais de argila.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5.1	Ocupação e atividades rurais: Gleba Pingüim-ribeirão Floriano..	58
5.2	Manejos empregados na Gleba Pingüim-ribeirão Floriano.....	59
5.3	Caracterização do solo.....	60

5.4	Perfil cultural e os volumes estruturais homogêneos.....	65
5.4.1	Floresta.....	66
5.4.2	Cana-de-açúcar.....	67
5.4.3	Pastagem.....	70
5.4.4	Plantio convencional.....	71
5.4.5	Plantio direto.....	73
5.5	Densidade.....	75
5.5.1	Cana-de-açúcar e pastagem.....	75
5.5.2	Floresta, plantio convencional e plantio direto.....	77
5.6	Carbono orgânico.....	79
5.6.1	Cana-de-açúcar e pastagem.....	79
5.6.2	Floresta, plantio convencional e plantio direto.....	81
5.7	Estabilidade dos agregados do solo via úmida.....	84
5.7.1	Cana-de-açúcar e pastagem.....	85
5.7.2	Floresta, plantio convencional e plantio direto.....	91
5.8	Resistência do solo à penetração do solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto.....	98
6	DISCUSSÃO GERAL.....	101
7	CONCLUSÕES	106
8	REFERÊNCIAS.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Modelo da organização de agregados em diferentes escalas a partir de unidades estruturais mantidas juntas por vários agentes ligantes.....	23
Figura 2 -	Espaços porosos condicionados pela textura do solo.....	24
Figura 3 -	Estrutura do solo como uma função do estado do colóide.....	26
Figura 4	Necessidades edafológicas e o manejo físico do solo.....	37
Figura 5 -	Localização da área de estudo na Gleba Pingüim-ribeirão Floriano. C/P = cana/pastagem, PC = plantio convencional, PD = plantio direto, M = mata.....	45
Figura 6 -	Gleba Pingüim-ribeirão Floriano na zona rural do município de Maringá. Localização dos perfis de solo sob mata (M), cana-de-açúcar (C), pastagem (P), plantio convencional (PC) e plantio direto (PD).....	46
Figura 7 -	Carta de solo da região de Maringá.....	48
Figura 8 -	Média mensal da série de dados de precipitação e temperatura no período de 1976 a 2000 da Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá.....	48
Figura 9 -	Difratograma de raios-X da fração argila de horizonte B do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pinguim-ribeirão (C: caulinita; Gb: gibbsita; VHE: vermiculita.....	61
Figura 10-	Difratograma de raios-X da fração argila de horizonte B do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano (Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Si: quartzo.....	62
Figura 11-	Distribuição das frações granulométricas no solo sob floresta, cana-de-açúcar pastagem, plantio convencional e plantio direto.....	65
Figura 12-	Distribuição da precipitação pluvial durante o ano de 2007 e a série de dados para o período de 1976 – 2000.....	66
Figura 13-	Perfil cultural do solo sob floresta da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano. NAM = não alterado pelo manejo.....	67
Figura 14-	Perfil cultural do solo sob manejo cana-de-açúcar. C $\mu\Delta$ = em processo de compactação, contínuo; F $\Delta\mu$ = em processo de compactação, com fissuras.....	68
Figura 15-	Manejo da cana-de-açúcar e estrutura angular a subangular: produto de destorroamento mecânico de adensamento/compactação a 20cm de profundidade.....	69
Figura 16-	Perfil cultural do solo sob manejo pastagem. C $\mu\Delta$ = em processo de compactação, contínuo; F $\Delta\mu$ = em processo de compactação, com fissuras; NAM = não alterado pelo manejo.....	70
Figura 17-	Estruturas do solo sob manejo da pastagem. A: prismática, B: blocos angulares a subangulares.....	71
Figura 18	Perfil cultural do solo sob plantio convencional. F Δ mt = em processo de compactação, com fissuras – médios torrões; F Δ gt = em processo de compactação, com fissuras – grandes torrões; C $\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo).....	72
Figura 19-	Estruturas angulares no solo sob manejo plantio convencional.....	73
Figura 20-	Perfil cultural do solo sob manejo plantio direto. L = livre; FZ = estrutura laminar, com fissuras; F $\Delta\mu$ mt = em processo de compactação, com fissuras – médios torrões; NAM = não alterado pelo manejo.....	74
Figura 21-	Estruturas do solo sob plantio direto. A: laminar, B: grumosa, C: bloco	75

	angular a subangular.....	
Figura 22-	Densidade do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	76
Figura 23-	Floresta, plantio convencional e plantio direto - densidade nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta g t/m t/\Delta\mu$ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo).....	78
Figura 24-	Teor de carbono orgânico do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	81
Figura 25-	Teor de carbono orgânico no solo sob floresta, plantio convencional e plantio direto - nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta g t/m t/\Delta\mu$ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo).....	82
Figura 26-	Manejo convencional com sucessão das culturas de soja e milho e ausência de homogeneidade na distribuição dos restos culturais	83
Figura 27-	Homogeneidade na distribuição dos restos culturais (palhada) em sistema e manejo plantio direto com rotação das culturas trigo/triticale-milho-feijão/aveia-soja precoce- milho safrinha- soja ciclo normal).....	84
Figura 28-	Solo sob cana-de-açúcar e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos: $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo) e $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras).....	86
Figura 29-	Solo sob pastagem e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras), $C\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo).....	87
Figura 30-	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) de agregados estáveis em água do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: $C\Delta\mu/\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	88
Figura 31-	Índices de estabilidade (IEA) no solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem em seus diferentes volumes estruturais: $C\Delta\mu/\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras) E NAM (não alterado pelo manejo) nas profundidades de 0 a 20cm e 20 a 40 cm.....	89
Figura 32-	Influência da matéria orgânica no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob manejos cana-de-açúcar (C) e pastagem (P) nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm nos volumes: $C\mu\Delta/F\Delta\mu$ (processo de compactação, contínuo/com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	90
Figura 33-	Influência dos óxidos de ferro e alumínio no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob manejos cana-de-açúcar (C) e pastagem (P) nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40 centímetros nos volumes: $C\mu\Delta/F\Delta\mu$ (processo de compactação, contínuo/com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	91
Figura 34-	Solo sob floresta e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, no volume estrutural homogêneo: NAM	

	(não alterado pelo manejo).....	92
Figura 35-	Solo sob manejo plantio convencional e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta_{gt}$ (compactado, com fissuras-grandes torrões); $F\Delta_{mt}$ (compactado, com fissuras-médios torrões) e $C\Delta_{\mu}$ (em processo de compactação, contínuo).....	93
Figura 36-	Solo sob manejo plantio direto e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta_{\mu}$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	93
Figura 37--	Floresta, plantio convencional, plantio direto e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta_{gt}/mt/\Delta_{\mu}$ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), $C\Delta_{\mu}$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo).....	94
Figura 38-	Influência da matéria orgânica no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob floresta, plantio convencional e plantio direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm nos volumes $F\Delta_{\mu}/C\Delta_{\mu}$ (processo compactação, com fissuras/contínuo), $F\Delta_{gt}$ (compactado, com fissuras e grandes torrões) e NAM (não alterado pelo manejo).....	96
Figura 39-	Influência dos óxidos de ferro e alumínio no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob floresta, plantio convencional e plantio direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm nos volumes $F\Delta_{\mu}/C\Delta_{\mu}$ (processo compactação, com fissuras/contínuo), $F\Delta_{gt}$ (compactado, com fissuras e grandes torrões) e NAM (não alterado pelo manejo).....	97
Figura 40-	Resistência do solo à penetração no solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto para as profundidades de 0-10cm, 10cm-20cm, 20cm-30cm e 30cm a 40cm.....	98
Figura 41-	Teores de carbono orgânico ($g\ dm^{-3}$) para o solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes homogêneos do solo.....	101
Figura 42-	Teores de carbono orgânico ($g\ dm^{-3}$) para o solo sob manejos plantio convencional, plantio direto e floresta nos volumes homogêneos do solo.....	102
Figura 43-	Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob manejo da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes homogêneos do solo.....	103
Figura 44-	Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob manejo plantio convencional, plantio direto e floresta nos volumes homogêneos do solo.....	103
Figura 45-	Densidade do solo sob manejo da cana-de-açúcar e pastagem nos diferentes volumes homogêneos do solo.....	104
Figura 46-	Densidade do solo sob manejo plantio convencional e plantio direto nos diferentes volumes homogêneos do solo.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classes de resistência do solo.....	35
Tabela 2 -	Área sob plantio direto no mundo.....	38
Tabela 3 -	Expansão da área cultivada em plantio direto no Brasil.....	39
Tabela 4 -	Constituintes da fração argila do horizonte B nítico do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pinguim-ribeirão Floriano.....	60
Tabela 5 -	Teores de ferro e alumínio cristalino e amorfo do horizonte B nítico do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pinguim-ribeirão Floriano. Solo sob manejo plantio direto.....	63
Tabela 6-	Caracterização do solo (densidade de partícula-Dp, argila, silte, areia e óxidos livres) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto na Gleba Pinguim-ribeirão Floriano.....	64
Tabela 7-	Caracterização do solo (C-carbono orgânico, K-potássio) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto na Gleba Pinguim-ribeirão Floriano, a partir de amostras coletadas nos volumes estruturais homogêneos (VEH).....	80
Tabela 8-	Distribuição da massa de solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto, quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos (VEH): $C\Delta\mu/\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta/\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo).....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Composição química de distintas frações do solo.....	24
Quadro 2 -	Número de animais em um metro quadrado de solo pastoril.....	30
Quadro 3 -	Modos de organização do perfil de solo.....	51
Quadro 4 -	Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.....	52
Quadro 5 -	Umidade do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico sob diferentes manejos, determinada no momento da realização da penetrometria de impacto e a resistência mecânica do solo à penetração da raiz (RP).....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAG	Associação Brasileira de Agribusiness
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CELA	Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agronômicas
Cfa	Clima mesotérmico úmido de verão quente
COCAMAR	Cooperativa dos Cafeicultores de Maringá
CMNT	Companhia Melhoramentos Norte do Paraná
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTNP	Companhia de Terras Norte do Paraná
DAG/UEM	Departamento de Agronomia/Universidade Estadual de Maringá
ECPM	Estação Climatológica Principal de Maringá
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
FUNDACEP	Fundação Centro de Experiência e Pesquisa
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEAME	Instituto de Pesquisa Agropecuária Meridional
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
SRP	Sociedade Rural do Paraná
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

AM	Alterado pelo manejo
NAM	Não alterado pelo manejo
L	Livre
F	Fissurado
Z	Laminar
C	Contínuo
μ	agregado não compacto
Δ	Agregado compacto
μΔ/Δμ	Agregado em processo de compactação

1 INTRODUÇÃO

O solo, além de constituir-se em um valioso recurso natural, é componente dos ecossistemas terrestres. Desempenha funções tais como sustentar a produção de biomassa, prover *habitat* para a biota, colaborar para a qualidade do ar e dos recursos hidrológicos, apoiar projetos de engenharia, preservar registros arqueológicos e manter valores estéticos da paisagem (LAL, 2004).

O uso do solo consiste em um dos componentes que integram as mudanças globais e afetam os sistemas ecológicos (VITOUSEK, 1994). Nesse contexto, formas de cultivo por meio de técnicas convencionais podem ser caracterizadas por insistência em modelos insustentáveis, pela susceptibilidade de certos tipos de solo a processos erosivos e, conseqüentemente, pelas perdas de ativos da natureza (LAL, 2000).

O manejo dos solos tropicais objetivando sua sustentabilidade faz parte de alguns dos desafios das ciências ambientais. O uso intensivo do solo, o tráfego de máquinas e o emprego sistemático de práticas agrícolas impróprias resultam em modificações morfológicas (MANICHON, 1982), físicas (KAY, 1990) e biológicas (BRUSSAARD, 1994); além disso, restringe o crescimento e o desenvolvimento das raízes (LETEY, 1985) e influencia na perda de nutrientes por processos erosivos (COGO et al., 2003).

As operações de cultivo, realizadas durante o preparo primário e secundário do solo, alteram sua estrutura; implicando, por um lado, na diminuição do volume de terra explorado pelas raízes (MANICHON, 1982); e por outro lado, na menor taxa de infiltração e maior escoamento superficial das águas pluviais (HELLIN, 2006).

Segundo Kay (1990) a porosidade, a resistência mecânica e a estabilidade da superfície do solo constituem as características estruturais mais relevantes do ponto de vista do crescimento das culturas e transporte de nutrientes. Estudos dessa natureza apontam que sistemas de manejo (PHILLIPS & YOUNG JÚNIOR, 1973) associado às condições desfavoráveis de preparo do solo (DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1996) e ao tráfego de máquinas (HILLEL, 1998) alteram a estrutura e resultam em maior compactação; interferindo, conseqüentemente, em processos como retenção, infiltração e redistribuição da água, permeabilidade e erosão hídrica.

Essas limitações poderão ser diagnosticadas a partir da utilização de diferentes metodologias; as quais permitirão avaliar a real condição física do solo. A análise qualitativa da estrutura do solo pela metodologia do perfil cultural viabiliza verificar, em

solos agrícolas, o estado físico de horizontes antropizados em decorrência do tráfego de máquinas e da ação dos órgãos ativos dos implementos agrícolas. Por outro lado, a quantificação das alterações torna-se possível a partir de análises feitas em laboratório. Contudo, os resultados obtidos com a utilização de metodologias, ora qualitativa, ora quantitativa, não demonstram ser suficientes para concluir análises que pretendam diagnosticar efeitos das formas de produção sobre a estrutura do solo.

A geografia está entre as ciências que leva em conta tanto aspectos da estrutura geoecológica como sócio-econômico do espaço. Nesse sentido, quaisquer pesquisas que abranjam conceitos físicos; como, por exemplo, os pedológicos, constituem-se de fundamental importância ao profissional dessa área de conhecimento. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a qualidade do estado físico dos Nitossolos Vermelhos Latossólicos eutroférricos em área agricultável da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano (Maringá/PR), sob diferentes sistemas de manejo (plantio direto, plantio convencional, cana-de-açúcar e pastagem). A análise descritiva dos dados amostrais tem como fio condutor a metodologia do perfil cultural.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

a) Na agricultura o tipo de manejo influencia nas condições físicas do solo, promovendo por um lado degradação estrutural, e por outro lado impactos ambientais;

b) Sistemas de manejo com cobertura permanente do solo, não revolvimento da terra e rotação de culturas; bem como pastagens manejadas; são responsáveis pela maior estabilidade de agregados do solo.

2.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral, verificar a qualidade do estado físico dos Nitossolos Vermelhos Latossólicos eutroférricos em área agricultável da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano (Maringá/PR), a partir de sistemas de produção (plantio direto, plantio convencional, cana-de-açúcar e pastagem).

Objetivos específicos:

- Descrever a estrutura do solo sob os manejos: plantio direto, plantio convencional, cana-de-açúcar, pastagem e floresta; a partir do método perfil cultural, identificando aspectos morfológicos dos agregados que apresentam relações com condições de compactação;
- Comparar as estruturas do solo dos sistemas de produção às apresentadas no solo sob floresta;
- Utilizar metodologias quantitativa e qualitativa de análise do solo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SOLO

3.1.1 Fertilidade, características e propriedades

O solo, além de constituir-se em um valioso recurso natural, desempenha importantes funções tais como: sustentar a produção de biomassa, prover *habitat* para a biota, criar mecanismos para transformação da biomassa, colaborar para a qualidade do ar e dos recursos hidrológicos, servir de apoio às obras de engenharia, preservar registros arqueológicos e manter valores estéticos da paisagem. Nesse sentido, a concepção de solo é acompanhada pela proposição de que todas as coisas sobre a terra são diretamente e/ou indiretamente derivadas dele (LAL, 2004; RUELLAN & DOSSO, 1993).

Uma revisão bibliográfica seletiva sobre a composição geral do solo confirma que ele é um sistema composto por fases: sólida, líquida e gasosa, o que por sua vez, exige que todas as suas características e propriedades sejam pensadas, não somente do ponto de vista químico, mas, sobretudo nos seus aspectos físicos e comportamento hídrico e mecânico. Dessa forma, pode-se ressaltar que abordagens dos aspectos pertinentes ao solo requerem conhecimentos prévios, tanto dos fatores de sua formação como dos seus atributos (KIEHL, 1979; HILLEL, 1998; LAL, 2004).

Considerando-se o corpo teórico exposto, autores como Watanabe (2001), mostram que tanto características como propriedades, promovem efeitos sobre produtividades das culturas, sobretudo, na retenção de água, na aeração e na resistência do solo à penetração de raízes. Sob essa perspectiva, pode-se dizer que o solo necessita ter um conjunto de atributos físicos favoráveis, para a maximização do crescimento e desenvolvimento das plantas.

Sob uma perspectiva histórica tem-se que a fertilidade química, física e biológica do solo constituiu-se tema relevante para a humanidade desde o século XVII, pois nessa época o aumento da produção das culturas era de vital importância. Como resultados dessas necessidades, a década de 1840 foi marcada pelo reconhecimento de que os rendimentos de culturas dependiam, acima de tudo, dos elementos inorgânicos aplicados ao solo. Além disso, muitas outras pesquisas

mostraram diferentes relações do solo, as quais permitiram entendê-lo não, apenas, como meio ambiente favorável para crescimento de plantas (BRADY & WEIL, 2002).

A influência das características e propriedades do solo na sua condição física e, conseqüentemente, fertilidade; vem sendo discutida por muitos pesquisadores ao longo do tempo; sobre isso, há de se destacar a textura como uma das características mais importantes do solo, tanto do ponto de vista de sua formação como estabilização (KAY, 1990; TISDALL & OADES, 1982; LAL, 2004).

A partir dessa reflexão faz-se necessário estabelecer relações entre textura e estrutura do solo. Dentre as diversas implicações da granulometria na estrutura, há de se ressaltar suas influências sobre a quantidade de vazios no solo. O espaço poroso do solo que corresponde à fração volumétrica ocupada por ar e água tem um importante diferencial, ou seja, a quantidade e a natureza da porosidade é determinada, ora pelo arranjo, ora pela geometria das partículas; dessa forma a porosidade pode ser entendida como sendo uma função textural, representada pelo tamanho das partículas; e estrutural, representada pelos arranjos heterogêneos de sólidos e espaços vazios existentes em certo momento (HILLEL, 1998).

Sobre a influência da estrutura do solo na porosidade Hillel (1998) registra que, teoricamente, o espaço de vazios apresenta relação com a morfologia dos agregados. Assim, uma porosidade mínima (25,95%) pode ocorrer em solos com partículas esferoidais uniformes dispostas sob a forma de pirâmide, e máxima (47,64%) em solos no qual a disposição das partículas esferoidais ocorrerem sob a forma cúbica. De um modo geral, a porosidade textural e/ou estrutural exerce influência sobre as propriedades hidráulicas do solo, pois as alterações na geometria dos espaços porosos respondem tanto pela retenção como pelo transporte da água no perfil (KIEHL, 1979).

A partir dos conceitos encontrados na revisão bibliográfica empreendida na literatura especializada e, também, subsidiados em autores clássicos da área, o processo de agregação das partículas do solo segue determinada hierarquia. Tisdall & Oades (1982) registram que partículas primárias livres e agregados de tamanhos “silte” são unidos por agentes ligantes persistentes (associação de complexos de argila, metal polivalente e matéria orgânica), formando microagregados menores que 0,25mm. Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e agentes transitórios (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas) resultando em macroagregados maiores

que 0,25mm de diâmetro. Além disso, os autores registram que em solos com mais de 2% de carbono orgânico predominam agentes ligantes temporários e em solos com quantidades menores que 1% de carbono orgânico predomina agentes ligantes transitórios (FIGURA 1).

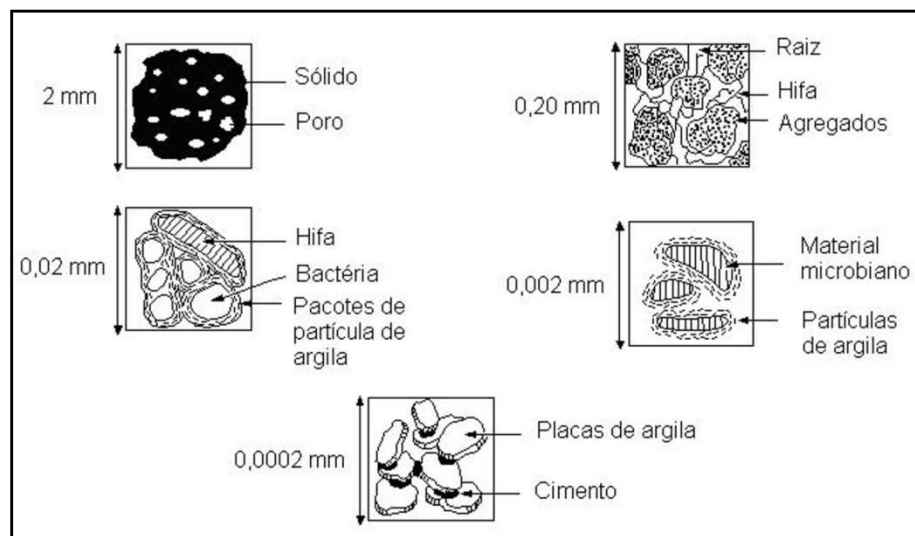


Figura 1 - Modelo da organização de agregados em diferentes escalas a partir de unidades estruturais mantidas juntas por vários agentes ligantes
Fonte: Tisdall & Oades (1982)

Segundo Brandão et al. (2006, p. 23), a textura do solo exerce ascendência sobre o movimento da água. Como resultado dessa influência tem-se que “solos de textura grossa (arenosos) possuem, em geral, maior quantidade de macroporos do que os de textura fina (argilosos) apresentando maiores condutividade hidráulica e taxas de infiltração”.

Ainda sobre essa questão, citam-se pesquisas realizadas por Carpenedo (1994), Tormena & Roloff (1996), Dias Júnior & Pierce (1996), Neves et al. (2003) e Tavares Filho et al. (2001) sobre as relações entre textura, porosidade e capacidade produtiva dos solos. Nesse particular, é importante ressaltar que na porosidade textural os solos constituídos, principalmente, por fração areia apresentam poros macroscópicos, nos quais a água circula livremente. Por outro lado, solos constituídos, predominantemente, por fração argila apresentam poros microscópicos nos quais se encontra maior porcentagem de água retida (FIGURA 2).

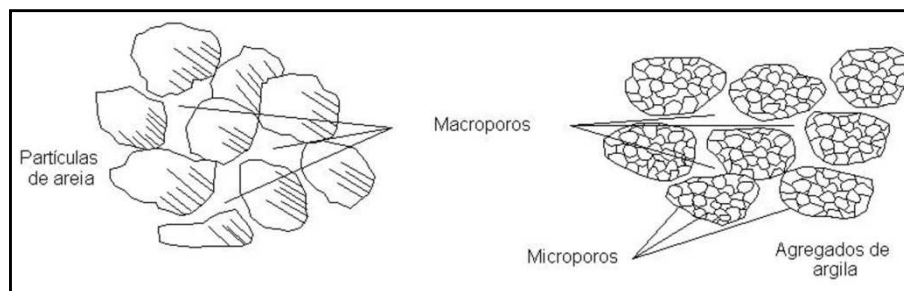


Figura 2 - Espaços porosos condicionados pela textura do solo
Fonte: Brady & Weil (2002)

Além dessa relação, Colombano (2004) registra que a textura influencia nos valores críticos de densidade. Solos com textura argilosa, com mais de 55% de argila, apresentam $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$ de densidade, ou seja, menor se comparados a solos de textura arenosa com menos de 20% de argila, os quais apresentam densidade de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$.

Dentro dessa realidade, tem-se que a porosidade como aspecto influenciado pela textura do solo, além de afetar o desenvolvimento das plantas governa os processos biológicos, alterando tanto a quantidade como a diversidade dos organismos do solo (HILLEL, 1998).

Do ponto de vista da composição química das frações do solo, Yágodin et al. (1986) aponta que as texturas apresentam, por sua vez, diferentes quantidades de elementos de nutrição para as plantas; porém, a capacidade de absorção e/ou adsorção do solo constitui aspecto inerente a composição mineralógica. Vale dizer que a textura do solo depende da proporção de areia, silte ou argila na sua composição, que por sua vez, influencia na taxa de infiltração da água, armazenamento da água, aeração, facilidade de mecanização e fertilização (QUADRO 1).

Quadro 1 – Composição química de distintas frações do solo

FRAÇÕES (mm)	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P
	(%)						
1,0...0,2	43,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,7	0,02
0,2...0,04	43,8	1,1	0,8	0,4	0,1	1,2	0,04
0,04...0,01	41,6	2,7	1	0,6	0,2	1,9	0,09
0,01...0,002	34,6	7	3,6	1,1	0,2	3,5	0,04
>0,002	24,8	11,6	9,2	1,1	0,6	4,1	0,18

Fonte: Yágodin et al, 1986

Sobretudo dentro dessas variáveis relacionadas com as diferentes frações granulométricas que a penetração das raízes, a taxa de infiltração da água, a drenagem, a dinâmica das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e o funcionamento quantitativo e qualitativo dos lençóis freáticos são perturbados.

3.1.2 Estrutura do solo e sua caracterização

Sobre as questões relacionadas à estrutura do solo, é oportuno enfatizar que as aproximações dos aspectos que lhe são inerentes, sugerem reconhecê-lo como uma mistura heterogênea de partículas sólidas de diferentes formas e tamanhos, dotada de dinamismo devido as contínuas mudanças naturais (clima, biota, gravidade) e fatores antrópicos, como o tráfego de veículos. Segundo Lal (2004) a estrutura do solo é dinâmica e complexa.

Uma abordagem a trabalhos que tratam da formação, caracterização e gerenciamento da estrutura do solo, mostra ser necessário levar em conta que ela, apesar de complexa, permanece entre as mais importantes propriedades físicas do solo. Uma das razões identificadas pelos pesquisadores é o conjunto de escalas que a estrutura do solo expressa, isto é, de poucos ângstrons (Å) para muitos centímetros. Na estrutura do solo tem-se o reflexo de um conjunto de dimensões onde são observados materiais sólidos, poros e organismos (KAY, 1990; LAL, 2004).

Diferentes são as formas de abordagens da estrutura do solo; Lal (2004) interpreta que seu estudo pode se dar a partir do enfoque da pedologia, edafologia e engenharia. No enfoque pedológico a definição da estrutura do solo está baseada em seu comportamento a partir das propriedades de seus componentes; no edafológico baseia-se nos atributos relacionados às plantas, como por exemplo, poros, circulação da água e difusão de gases. Por outro lado, sob a perspectiva da engenharia tem-se como importante, os aspectos da permeabilidade da água, estabilidade dos agregados e compressibilidade, principalmente.

Na explicação de Kay (1990), a estrutura representa arranjos heterogêneos de sólidos e espaços vazios existentes em certo momento; refletindo unidades nas quais as partículas primárias são mantidas juntas por uma ligação mais forte do que a ligação entre agregados. Sob este raciocínio, pode-se estabelecer que, tanto a disposição espacial de partículas coloidais de argila num flóculo, como o arranjo de

torrões e o complexo de canais formados pela fauna demonstram serem variáveis relevantes no estudo da estrutura do solo (FIGURA 3).

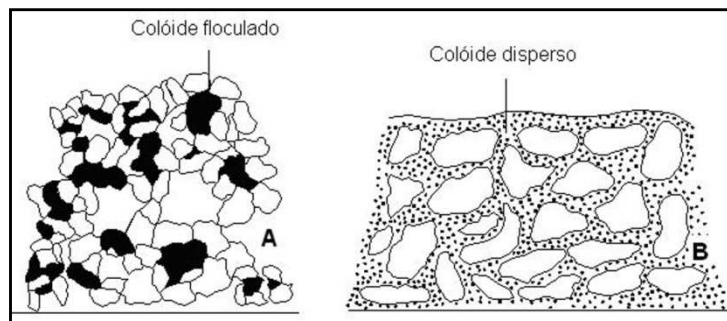


Figura 3 - Estrutura do solo como uma função do estado do colóide. A - estrutura granular, B – partículas livres
Fonte: Zonn (1986)

Sob este enfoque pode-se, portanto, entender que partículas de argila bem como microagregados e torrões são elementos da estrutura do solo, que quando combinados criam e/ou determinam as características estruturais. Além disso, há de se ressaltar que simples fragmentações desses elementos contribuem, com o mesmo valor, na reorganização de arranjos estruturais pré-existentes. Contudo, Dexter (1988) chama a atenção para o fato de que a floculação da argila constitui a base da estrutura do solo.

Esse autor relata que os agregados do solo apresentam graus diferentes de estabilidade, ou seja, capacidades distintas em conservar o arranjo de seus sólidos e espaços vazios quando expostos às diferentes forças. Outro autor, (KAY, 1990), acrescenta que a característica da estabilidade é, na maioria das vezes, uma especificidade tanto da forma estrutural como do tipo de força que está sendo aplicada ao solo.

Essas afirmações foram constatadas nas primeiras investigações sobre modelos de agregação realizadas por Emerson (1959). Os resultados de diferentes estudos desse pesquisador mostraram que ligações eletrostáticas ocorrem entre partículas de minerais, formando micro e macro agregados do solo.

Sobre as propriedades químicas da fração inorgânica do solo, tem-se que, de um modo geral, os minerais possuem cargas que atraem íons e água refletindo, por sua vez, a capacidade da atividade do solo. Assim, os agentes das trocas de

substâncias que ocorrem no solo são representados ora pela argila, ora pelo húmus, pois ao seu redor ocorrem diferentes reações químicas (PRIMAVESI, 1985).

Primavesi (1985) acrescenta que essas cargas, além de viabilizarem ligações eletrostáticas, agindo como pontes de contato entre as partículas, também são responsáveis pelas trocas de substâncias nutritivas para uso dos vegetais. De acordo com os processos químicos envolvidos na agregação das partículas; Emerson (1959), mostrou que óxido de ferro e alumínio influenciam, significativamente, na floculação e agregação das partículas do solo.

Pesquisas recentes confirmam que nos óxidos de ferro, alumínio e manganês e, nas periferias das argilas silicatadas, as adsorções de íons metálicos podem ocorrer por meio da formação de ligações covalentes ou eletrostáticas com grupos funcionais da superfície dos óxidos (COSTA, 2002; DUFRANC et al., 2004).

Dentre muitos autores que compartilham das idéias de Emerson (1959) destacam-se Tisdall & Oades (1982), os quais consideram que a matéria orgânica, por apresentar polímeros com carga negativa, está entre as principais substâncias ligantes que promovem estabilidade estrutural. Para esses autores, numa fase inicial, a formação de microagregados (< 0,25mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, a influência do crescimento das raízes, hifas de fungos, polissacarídeos a partir das bactérias juntamente com material vegetal, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas como macroagregados estáveis (> 0,25mm).

As dimensões atribuídas para micro e macro agregados variam segundo os autores, ou seja, enquanto Brady & Weil (2002) definem microagregados e macroagregados como estruturas menores e maiores que 3mm, respectivamente; Emerson (1959) conceitua microagregados e macroagregados como aqueles que apresentam tamanhos entre 0,002mm a 0,05mm e 0,05mm a 5mm; sucessivamente.

Recomendações e experiências com relação ao papel da matéria orgânica na estrutura do solo são encontradas mais recentemente com os estudos de Tisdall & Oades (1982), Carpenedo (1994), Silva & Mielniczuk (1997), Castro Filho (2001) e Salton (2005); os quais concordam que os agregados do solo apresentam diferenças quanto ao seu grau de estabilidade, a partir da atividade do húmus, da microbiologia e materiais inorgânicos como argila, carbonato de cálcio, ferro, sílica e óxido de alumínio.

Conforme dados acima mencionados, é constatado que na determinação dos fatores que afetam a agregação e estabilidade dos solos, tem-se de um lado, determinados aspectos como a textura e mineralogia, quantidade e qualidade do húmus; de outro lado, o clima, os processos biológicos, o uso e o manejo do solo. Logo, na medida em que se alteram os teores de óxidos e matéria orgânica, por exemplo, consecutivamente, ter-se-ão graus diferenciados na estabilidade dos agregados.

Questionamentos acerca da formação e estabilidade dos agregados do solo também é relatado por Carpenedo & Mielniczuk (1990), os quais mostraram que além da ação biológica das raízes e microorganismos, as forças de compressão também apresentam papel importante. Concordando com estes autores, Kay (1990) considera que a forma estrutural existente no solo representa o efeito de processos que ocorrem em diferentes escalas e proporções. Para esse autor a aridez, gelo, degelo, formação de bioporos, compressão, corte e fraturas pelas raízes, animais ou equipamentos podem alterar as características dos agregados do solo e assim alterar sua estrutura.

De um modo geral, os atributos do solo que determinam a formação e a estabilidade estrutural apresentam relação com a textura, mineralogia das argilas, matéria orgânica, plantas, organismos do solo e profundidade do perfil (PUGET et al., 2000).

3.1.2.1 A estrutura como expressão da evolução do solo

Segundo Brady & Weil (2002) a textura do solo não é prontamente sujeita a mudanças, sendo por isso considerada uma propriedade básica do solo. Além disso, a proporção relativa dos diversos grupos de minerais que constituem o solo determina, não somente a capacidade de suprimento de nutrientes do solo, como também o fornecimento de água e ar para as plantas.

Para esses autores, a classe textural do solo que, efetivamente, determina seu comportamento físico é a fração argila. A alta área específica dos argilominerais, variando de 10 a 100 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$, permite-lhe grande capacidade de adsorção de água e de outras substâncias. Dessa forma, posto que minerais de argila são colóides que, freqüentemente, transportam tanto cargas eletromagnéticas negativas quanto

positivas; essa fração, conseqüentemente, apresenta maior capacidade de retenção de água e nutrientes pelo solo, maior taxa de liberação dos minerais intemperizáveis para nutrição das plantas e maior propensão dos solos em manter-se unidos em uma massa coesa, ou como agregados discretos.

Em linhas gerais, propriedades do solo como comportamento de contração/expansão, plasticidade, capacidade de retenção de água, resistência do solo, e adsorção química dependem do tipo de argila e de sua quantidade (BRADY & WEIL, 2002).

Os principais autores e documentos dessa revisão, já citados neste trabalho, verificaram que a estabilidade estrutural, também condicionada pela textura do solo, pode implicar tanto no desenvolvimento de processos erosivos como na condutividade hidráulica. Conforme Hillel (1998) analisa, elementos naturais como o tipo de partícula mineral predominante no solo pode contribuir para processos de compactação. Nesse particular, importa ressaltar que a massa de solo, segundo a proporção relativa das frações granulométricas, implica em diferentes tipos de estruturas.

Nas revisões de literatura (TISDALL & OADES, 1982; SILVA & MIELNICZUK, 1997; COLOMBANO, 2004) que tratam das relações entre a fauna e a estrutura do solo, observa-se uniformidade sobre a importância dos organismos do solo na promoção da agregação das partículas minerais. Sobre essa questão Primavesi (1985) aponta que no solo habita grande quantidade de animais.

Os autores em seus artigos relatam que no solo encontra-se uma população muito grande e diversificada de organismos vivos, desde bactérias até insetos e vermes anelados. Por um lado, bactérias, fungos e protozoários exercem um papel fundamental na decomposição de restos orgânicos e na formação de compostos organo-minerais. Por outro lado, térmitas, formigas, minhocas e demais organismos da fauna do solo participam da decomposição e incorporação de restos orgânicos (NEVES et al., 1992).

Sobre esse assunto, Cardoso et al. (1992) acrescenta que as bactérias do solo formam o grupo de microrganismos que apresentam maior abundância e diversidade entre as espécies: a comunidade bacteriana é estimada em cerca de 10^8 a 10^9 organismos por grama de solo, apresentando grande capacidade de decomposição dos substratos contidos no solo.

Este autor enfatiza que, os fungos, por sua vez, possuem formações denominadas hifas que constituem filamentos ramificados com cerca de 3-10µm de diâmetro. O conjunto de hifas dá um aspecto de algodão e denomina-se micélio. Os fungos são encontrados no solo com comunidades variando de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo (QUADRO 2).

Quadro 2 - Número de animais em um metro quadrado de solo pastoril

Animal	Números		
	Mínimo	Máximo	Ótimo
Protozoários (amebas)	0	0	1.551.000.000
Nematóides	1.800.000	120.000.000	21.000.000
Ácaros	20.000	400.000	100.000
Centopéias	1.200	2.900	2.500
Formigas	200	500	0
Larvas de insetos	0	0	0
Minhocas	600	2.000	800
Moluscos	20	1.000	50
Colêmbolos	10.000	440.000	50.000

Fonte: Primavesi (1985)

Primavesi (1985) observa que os microseres que contribuem à agregação do solo são todos heterótrofos, quer dizer, necessita de matéria orgânica como fonte de energia. Para essa pesquisadora os microrganismos mais importantes na agregação do solo são as bactérias celulolíticas (*Cytophagas*, *Sporocytophagas*), pois decompõem celulose em condições aeróbias produzindo ácidos poliurônicos. Esses apresentam caráter coloidal e são produzidos, principalmente, na decomposição de palha por essas bactérias.

Ainda sobre a importância da fauna do solo os organismos interferem em diferentes níveis na formação de seus agregados. Colombano (2004) interpreta que a macrofauna edáfica, em sua movimentação ao longo do volume de solo, é responsável pela construção de poros de grande tamanho, os quais contribuem na formação da macroporosidade, aeração, permeabilidade e resistência à penetração de raízes.

Sobre a importância da porosidade, Yágodin et al. (1986) mostram que há aumento na absorção dos elementos de nutrição pelas células e tecidos das plantas

quando da presença de melhor aeração e temperatura ideal, pois esses fatores provocam a ativação do processo de respiração das plantas. Além disso, a atividade dos microorganismos influencia a transformação e assimilação de substâncias nutritivas pelas plantas.

Por outro lado, a fauna do solo como as minhocas, altera sua estrutura pela pressão que exercem na criação de galerias. Sobre essa questão Kay (1990) registra que espécies como *Aporrectodea rósea* chegam a exercer aproximadamente pressões de até 0,2MPa.

Na literatura internacional, entretanto, a revisão bibliográfica oportunizou o conhecimento de diferentes trabalhos cujo enfoque principal é a atuação da matéria orgânica no solo. Segundo pesquisadores como Tisdall & Oades (1982) e Castro Filho (2001) o material orgânico exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes. Assim, segundo Cardoso et al. (1992, p. 33) tem-se que o solo [...]

“pode ser encarado como um *habitat* microbiano por excelência, local de vida de inúmeras e variadas populações de todos os tipos de microorganismos e mesmo como o reservatório final da grande diversidade genética de quase todos eles”.

Conforme demonstrado em vários trabalhos (TISDALL & OADES, 1982; CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; SILVA & MIELNICZUK, 1997; SILVA & MIELNICZUK, 1998) as raízes apresentam importante papel na formação e estabilização da estrutura do solo. Nos relatos dessas revisões de literatura observa-se que o sistema radicular torna-se agente de agregação, na medida em que supre o solo de resíduos orgânicos para a decomposição, bem como, apresentam efeitos mecânicos e físicos decorrentes das pressões exercidas em razão de seu crescimento.

Efeitos positivos do sistema radicular de gramíneas perenes exercidos na estruturação do solo foram verificados por Silva & Mielniczuk (1997). Além disso, pequenas raízes, de um modo geral, são apontadas por Tisdall & Oades (1982) como co-responsáveis na formação de unidades maiores de agregados a partir das menores (<0,250mm); por estas razões Baver et al. (1973) apontam a ação do sistema radicular como fator primário na formação de agregados do solo.

De acordo com Silva & Mielniczuk (1997) os efeitos positivos do sistema radicular na formação e estabilização dos agregados do solo predominam, principalmente, na camada de 5-20cm.

Sobre os efeitos do tipo de clima sobre a estrutura do solo, referenciais teórico-metodológicos apontam que ao surgir as primeiras preocupações quanto à origem e desenvolvimento do solo, no final do século XX, pesquisadores como Dokouchaiev (apud BRADY & WEIL, 2002) perceberam que alterações no clima, automaticamente, promoviam o aparecimento de diferentes tipos de solo. Atualmente, sabe-se que o clima apresenta-se como interferente, em potencial, nos processos pedogenéticos. A alta temperatura, por exemplo, mostra um papel essencial na alteração das rochas, pois define as características físico-químicas das soluções de alteração do solo (MELFI, 1997). Além disso, o clima se mostra fator relevante na formação do solo, à medida que determina o estoque de carbono orgânico (SALTON, 2005).

Portanto, a partir da interpretação desses pesquisadores conclui-se que o clima, de fato, influencia na característica física do solo, expressa pelo tamanho, forma e arranjo das partículas. Assim, a formação do solo em termos químicos e físicos, vincula-o como sendo, também, uma razão do clima.

3.1.2.2 Estabilidade estrutural nas relações manejo e cultivo

É necessário analisar que além do material de origem, dos processos pedogenéticos, da vegetação, da posição na paisagem e do clima constituíram-se aspectos relevantes nas abordagens referentes a estrutura original do solo, pesquisadores como Reinert, 1984; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Carpenedo, 1994; Bertol et al., 2001 e 2004; Fregonezi et al., 2001 e Salton, 2005; concordam que relações de manejo (conservacionista, convencional) e cultivo (rotação, sucessão) devam ser abordados.

De acordo com Foth (1978) a manipulação mecânica do solo justifica-se, especificamente na agricultura, naquelas situações em que o solo necessita de preparo para a produção de safras. Assim, de um modo geral, eliminar ervas daninhas; incorporar resíduos da colheita, melhorar a aeração ou aumentar a água

no solo, em algum momento do cultivo, faz parte das necessidades de manejo das terras agricultáveis.

Ao estudar as implicações do manejo sobre a estrutura do solo, vale dizer que, por um lado demonstram apresentar efeitos positivos, na medida em que permitem produção aceitável de massa vegetal, por meio da maximização na manutenção de resíduos na superfície do solo; correção de deficiência química; aumento da atividade biológica; maior estabilidade dos agregados e aumento na taxa de infiltração.

Por outro lado, os resultados podem mostrar-se negativos quando associados ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas, pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, rompimento de agregados do solo, estruturas importantes na proteção física de matéria orgânica, por dificultar o acesso de microrganismos ao material ocluso em seu interior (CARPENEDO, 1994; SIQUEIRA, 2001; TAVARES FILHO et al., 2001; COLOMBANO, 2004; SALTON, 2005).

Nas revisões de literatura sobre o assunto (KAY, 1990) a compactação do solo constitui tema de preocupação em meio às questões relacionadas ao tipo de preparo do solo. É oportuno lembrar que valores críticos de densidade do solo, que conforme registrados por Colombano (2004), são acima de $1,44 \text{Mg m}^{-3}$ para solos argilosos e $1,65 \text{Mg m}^{-3}$ para arenosos, podem apresentar como causas sistema de cultivo e pisoteio de animais pela aplicação de força mecânica (BAVER et al., 1973; SIDIRAS et al., 1984; KAY, 1990; HORTON et al., 1994; HILLEL, 1998); tamanho e capacidade das máquinas (FOTH, 1978; KAY, 1990; COLOMBANO, 2004); condições climáticas extremas durante operações mecanizadas (BAVER et al., 1973; KAY, 1990; DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996;); itinerário técnico das culturas (COLOMBANO, 2004); tração, transporte e máquinas (HORTON, 1994; COLOMBANO, 2004) e histórico de pré-compressão da área (CARPENEDO, 1994; HILLEL, 1998; COLOMBANO, 2004).

Como resultado do grande gradiente de densidade, Hillel (1998) destaca restrição da aeração, resistência à penetração da raiz, impedimento à infiltração e à drenagem. Nesse contexto é importante ressaltar que, na interpretação desse autor, os solos também podem apresentar-se compactados, naturalmente, como consequência de sua composição textural, e/ou sua formação.

Nos solos sem porosidade adequada sobrevivem apenas animais que cavam: formigas, cupins, centopéias e percevejos. As minhocas, por sua vez, encontram na falta de oxigênio, ou melhor, na acumulação de gás carbônico uma limitação de sua existência. Em solos compactos pode haver, em lugar de 0,2% a 0,3% de gás carbônico, concentrações de até 9,4% de gás carbônico mortíferos para a maioria dos seres vivos. Dessa forma, a presença de cupins sempre é sinal de solos adensados (PRIMAVESI, 1985).

As conseqüências da compactação podem ser verificadas na germinação das sementes, no crescimento das raízes com diminuição da produtividade agrícola e no adensamento do solo abaixo da profundidade trabalhada pelo órgão ativo dos implementos de preparo do solo (TORMENA & ROLOFF, 1996; LETEY, 1985).

Sobre o decréscimo da porosidade em conseqüência dos processos de compactação, Yágodin et al. (1986) aponta que condições ótimas de aeração, temperatura e ar do solo, exercem considerável efeito no aumento e disponibilidade de elementos de nutrição mineral para a planta.

Para Dexter (1988) essas conseqüências estão associadas às estruturas do solo que influenciam, diretamente, o comportamento das raízes, ou seja, volumes de solo compactados podem impedir a penetração da raiz.

Nesse processo, Tavares Filho et al. (2001) entendem que independente do grau de resistência apresentada pelo solo, quer dizer, sua densidade, somente pode-se definir uma condição de compactação na medida em que a proporção do volume total de poros for inadequada ao bom desenvolvimento das culturas.

Concordando com esses autores, estudos referentes ao efeito do peso das máquinas e da pressão dos pneus, sobre a compactação do solo em sistema plantio direto desenvolvidos por Colombano (2004), mostraram que altos valores de resistência à penetração do solo nem sempre comprometem o desenvolvimento das culturas; uma vez que nele a porosidade pode apresentar-se diferente tanto no tamanho como na disposição espacial; todavia, Lal (2004) entende que solos com resistência variando de 1MPa a 3,5MPa poderão restringir, ou mesmo, impedir o crescimento das raízes.

De um modo geral, outros estudos parecem concordar com as proposições daqueles pesquisadores. Para Dexter (1988), uma vez considerado aspectos como existência de continuidade, tortuosidade, bem como, tamanho dos poros, certamente,

mesmo sob condições de alta densidade do solo tanto a aeração como a transmissão da água para a superfície das raízes estarão garantidas.

Sob esta perspectiva demonstra ser oportuno confrontar conceitos de resistência à penetração do solo e efeito de manejo. Uma das referências tratando especificamente de parâmetros na avaliação das alterações da estrutura do solo foi proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Nessa referência as classes de resistência do solo assumem diferentes graus. Dentre as estimativas e classificações da compactação do solo as classes de resistência do solo podem apresentar limites extremamente baixos como aqueles menores que 0,01MPa; como também limites extremamente altos como os maiores que >8,0MPa (TABELA 1).

Tabela 1 - Classes de resistência do solo

Classes	Resistência à penetração (MPa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

Fonte: *Soil Survey Manual* – USDA

Solos compactados e/ou adensados apresentam macroporos afetados; com isso a infiltração da água pluvial é menor e as perdas por erosão são significativas. Para Primavesi (1985) a infiltração depende dos macroporos na superfície do solo e a perda de terra está relacionada com a estabilidade do agregado. Assim, quanto menor a estabilidade maior a probabilidade da formação de crosta superficial e adensamento sub-superficial, em consequência da argila carregada para dentro do solo, obstruindo seus poros.

De um modo geral, observa-se que sistemas de manejo apresentam diferentes relações com a estabilidade estrutural do solo, entretanto Kay (1990) registra que as estruturas também podem alterar-se à partir das raízes dos vegetais pela pressão radial e axial que exercem.

Ainda sobre a estabilidade Tisdall & Oades (1982) acrescentam que para pequenas escalas (microagregado) a estabilidade apresenta-se maior se comparado às de escala maior (macroagregados).

3.2 GERENCIAMENTO DO SOLO AGRÍCOLA

3.2.1 Sistemas de manejo

O potencial agrícola dos solos, além de ter relação com o processo de sua formação, composição mineralógica (minerais e matéria orgânica), condições climáticas e relevo; também apresenta relação com os sistemas de cultivo e manejo. Assim, construção de terraços, plantação em curvas de nível, a construção de barreiras para impedir o transporte de sedimentos, a rotação e sucessão de culturas, constituem exemplos de práticas agrícolas que interferem nos resultados agrários.

Nesse contexto, torna-se relevante o questionamento a respeito dessas práticas, pois, por um lado, podem influenciar na promoção e/ou controle de erosões, por outro, permitir a recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Sobre o preparo do solo tem-se que as plantas, de um modo geral, são exigentes no que se refere ao solo. Algumas, por exemplo, preferem solos com textura média, profundos, ricos em matéria orgânica, permeáveis, bem drenados e de boa fertilidade. Por essa razão, a fim de que o solo possa apresentar condições para atender às necessidades das plantas, faz-se necessário sistematizar diferentes ações corretivas (FIGURA 4).

É, sobretudo, a partir dessa prerrogativa que os solos, de um modo geral, precisam ser manejados. Esse preparo constitui-se de práticas simples, compreendendo um conjunto de formas de preparo que podem colaborar na melhoria da produtividade agrícola. De um modo geral, existem técnicas que prevêm mobilização do solo, como os preparos do tipo convencional; e manejos onde não há revolvimento da terra, como o sistema plantio direto (FOTH, 1978).

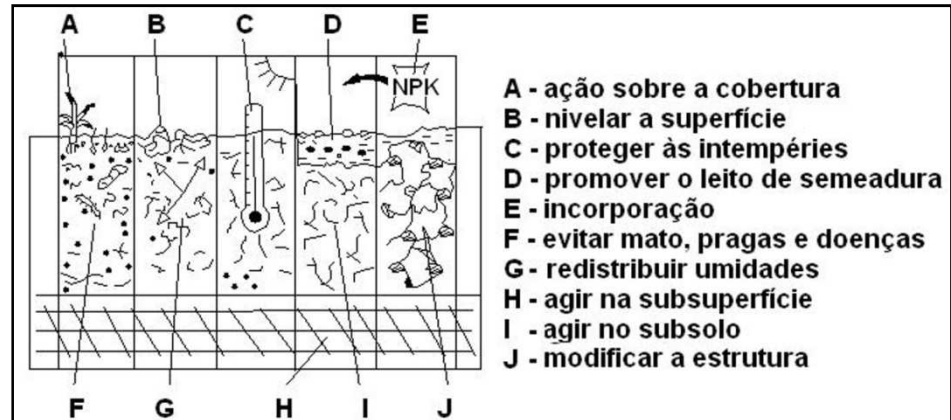


Figura 4 - Necessidades edafológicas e o manejo físico do solo
 Fonte: Ralisch (1997)

Nos sistemas convencionais de cultivo ocorrem inversões da camada arável do solo mediante o uso de arados. Nessa modalidade de manejo 100% da superfície do solo são removidos pelos implementos. Por outro lado, nos sistemas conservacionistas, como o plantio direto, existe a preocupação de se revolver o mínimo necessário, ou seja, apenas o sulco de deposição das sementes (PHILLIPS & YOUNG, 1973).

Além desses preparos do solo há, ainda, sistema de cultivo mínimo, o qual prioriza uso da técnica do sistema plantio direto, ou seja, faz-se uso de escarificadores a 15cm da superfície para rompimento de camadas compactadas.

O plantio direto consiste numa prática agrícola recente relacionada a não aração do solo. Utilizam-se herbicidas associados a equipamentos para abertura de sulcos somente onde são depositadas sementes e fertilizantes. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2005) a semeadura direta compreende a mais nova técnica em sistema de preparo do solo.

Inicialmente esse sistema foi introduzido nos Estados Unidos; atualmente, é largamente encontrado em países da América do Sul, Austrália e em menores extensões na Europa (TABELA 2).

Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2007) a tecnologia do plantio direto foi otimizada no Brasil, no final dos anos 1960, a partir de pesquisas realizadas pelo Instituto de Pesquisa Agropecuária Meridional (IPEAME/M.A), em Londrina, norte do Paraná e pela Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP), no Rio Grande do Sul, em 1971.

Contudo, à nível de produtores, foi implementado a partir de 1972 por meio do produtor pioneiro, Herbert A. Bartz, em Rolândia – Paraná.

Tabela 2 - Área sob plantio direto no mundo (2004/2005)

País	Área sob Plantio Direto (ha)
Estados Unidos	25.304.000
Brasil	23.600.000
Argentina	18.269.000
Canadá	12.522.000
Austrália	9.000.000
Indo Gangetic-Plains	1.900.000
Paraguai	1.700.000
Bolívia	550.000
África do Sul	377.000
Espanha	300.000
Venezuela	300.000
Uruguai	263.000
Nova Zelândia	200.000
França	150.000
Chile	120.000
Colômbia	102.000
China	100.000
Outros	1.000.000
Total	95.757.000

Fonte: FEBRAPDP (2007)

A área cultivada em sistema de plantio direto na palha, no Brasil, ocupava em 1972, cerca de 100 hectares. Cresceu de forma acelerada e, em 2007 foi estimada em 25 milhões de hectares. Nesse enfoque, pesquisas da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2007) apontam o cerrado brasileiro como grande usuário e beneficiário dessa tecnologia, apresentando constante aumento nas áreas sob plantio direto.

Conforme dados da instituição supracitada o Brasil aparece em segundo lugar, entre os países do mundo, em áreas cultivadas no sistema plantio direto. Por outro lado, o estado do Paraná, com área territorial de 199.362Km², possui atualmente a maior área de sistema plantio direto – 4.961 milhões de hectares (TABELA 3).

Bertoni & Lombardi Neto (2005) apontam que os efeitos da semeadura direta são notáveis na redução das perdas do solo por erosão. A quase eliminação das operações de preparo diminui a quebra mecânica dos agregados decorrente do impacto da gota de chuva na superfície do solo. Assim, esse sistema demonstra ser alternativa eficiente no sistema de cultivo, pois implica em menores taxas nas perdas

do solo, aumento de rendimento das culturas, maior controle da erosão, redução no emprego de máquinas e, conseqüentemente, economia de combustível e mão-de-obra.

Tabela 3 - Expansão da área cultivada em plantio direto no Brasil

Ano	RS	PR	MS	SC	SP	Cerrados
97/98	3.817.000	3.851.000	525.000	302.000	45.000	2.475.000
98/99	3.664.853	4.384.544	853.030	623.000	348.041	3.300.000
99/00	3.593.094	4.725.000	887.000	863.140	601.412	4.100.000
00/01	3.593.094	4.961.000	1.699.000	986.000	1.017.000	4.900.000

Fonte: FEBRAPDP (2007)

Para Luchese et al. (2001, p. 122) o plantio direto promove um “melhor condicionamento do solo, principalmente no que se refere às suas condições físicas, muito embora também atue nas condições químicas”. O caráter benéfico desse manejo subordina-se a diferentes variáveis como o uso das plantas de cobertura que intercalam ciclos de culturas. A vegetação de cobertura demonstra utilidade na medida em que, colabora diretamente no controle da erosão e indiretamente na redução do custo das operações, proporcionando maior renda para o agricultor.

Dentre os tipos de cobertura vegetal arrolados no sistema de cultivo têm-se, por um lado, as gramíneas com raiz fasciculada e folhas simples como: cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), milho (*Zea mays* L.), aveia preta (*Avena strigosa*), aveia branca (*Avena sativa* L), azevém (*Lolium multiflorum*), milheto (*Penisetum tiphoides*), sorgo (*Sorghum vulgare*), grama estrela africana (*Cynodon plectostachyius*), brachiaria (*Brachiaria decumbens*), e outros capins. Por outro, as leguminosas com raiz pivotante e folhas compostas de folíolos como amendoim (*Arachis hypogaea*), alfafa (*Medicago sativa*), ervilhaca (*Vicia sativa*), soja (*Glycine max*), feijão (*Phaseolus vulgaris* L), guandu (*Cajanus cajan*), entre outras.

Primavesi (1985) observa que o sistema radicular influencia a estrutura do solo tanto positiva como negativamente. As gramíneas forrageiras e parte das leguminosas como o guandu, por exemplo, possuem caráter benéfico; enquanto o algodão e a cana-de-açúcar, por serem mais exigentes, não contribuem para a manutenção da estrutura grumosa do solo. Assim, culturas como trigo, cevada, algodão, feijão, ervilha e batatinha; são apontadas como exigentes e culturas como

guandu, pangola e batata doce, são classificadas como recuperadoras da estrutura do solo.

O sistema plantio direto está fundamentado em três requisitos mínimos: revolvimento do solo restrito ao sulco de plantio ou à cova, aumento da biodiversidade pela rotação de culturas, e a cobertura permanente do solo com culturas específicas para formação de palhada (PHILLIPS & YOUNG JUNIOR, 1973).

Bertol et al. (2004) desenvolveu pesquisas que buscavam identificar as propriedades físicas do solo tanto sob preparo convencional – rotação das culturas de feijão, milho e soja; sucessão da cultura de milho; como sob preparo de semeadura direta – rotação das culturas de feijão, aveia, milho, nabo, soja, ervilhaca; sucessão das culturas de milho, ervilhaca, milho ervilhaca, milho, ervilhaca. Os resultados de seus estudos mostraram que ambos os sistemas de cultivo (rotação e sucessão) produziram efeitos esperados nas propriedades físicas do solo, porém, as rotações de culturas apresentaram melhores resultados sobre os atributos físicos do solo, do que as sucessões.

Tecnologias conservacionistas, como aquelas que prevêm a cobertura permanente do solo, não revolvimento da terra e rotação de culturas são destacadas por Hellin (2006) como positivas, principalmente, do ponto de vista da qualidade física do solo.

Em estudo de caso realizado no Brasil e no Paraguai, esse pesquisador percebeu benefícios em diferentes escalas, ou seja, para aqueles que ocorrem nos limites da propriedade rural, pode-se citar o aumento nos níveis de matéria orgânica na camada superior do solo e da diversidade biótica (minhocas, fungos, bactérias, etc); melhoria tanto da estrutura como da estabilidade dos agregados do solo, viabilizando maior taxa de infiltração da água; redução da erosão (acima de 80%), do escoamento superficial (acima de 50%); aumento dos níveis de nutrientes implicando em menor quantidade de fertilizantes; economia entre 10% a 20% no uso de água para irrigação e redução nos custos de produção (mão-de-obra, combustível, horas-máquina).

Por outro lado, entre os benefícios de ordem global tem-se a conservação da biodiversidade terrestre e aquática; a redução nos riscos de inundação em função da maior infiltração da água da chuva e a economia (mais de 50%) nos custos de manutenção da infra-estrutura a fim de evitar erosão nas estradas rurais. Além disso,

esse pesquisador também destaca a redução nas emissões de carbono (aproximadamente 1 tonelada de carbono fixada por hectare) (HELLIN, 2006).

3.2.2 Perfil Cultural na avaliação qualitativa do solo

O perfil cultural, segundo Tavares Filho et al. (1999) constitui importante instrumento na avaliação das condições do solo a partir do manejo; além disso, permite analisar o sistema radicular das culturas. Esse método, sob o ponto de vista da análise qualitativa do solo, tem seus fundamentos na proposta didático-pedagógica lançada por Hénin na década de 1960 (MANICHON, 1982).

Na interpretação de Ralish et al. (2001) o perfil cultural avalia as características das camadas superficiais e subsuperficiais do solo por meio de um plano de ocorrência de estruturas e raízes. Esses pesquisadores chamam atenção para o fato de que nem sempre análises laboratoriais respeitam a variabilidade espacial na ocorrência das estruturas. Segundo eles, as alterações nas propriedades do solo ocorrem tanto em profundidade como na lateralidade.

O ponto forte dessa proposta metodológica é observado nos trabalhos desenvolvidos em campo, onde para cada unidade estrutural (volume) descreve-se umidade, porosidade, morfologia dos poros, estado de coesão e de dureza, raízes e sua distribuição e atividade biológica. Além disso, na interpretação desses perfis privilegia-se, sobretudo, tanto as práticas culturais adotadas ao longo do tempo como a relação entre organização estrutural apresentada pelo solo e o desenvolvimento das raízes das culturas.

Tavares Filho et al. (1999), adaptadores desta metodologia para as condições tropicais, sugerem que sua utilização permite identificar os principais problemas agrônômicos, como por exemplo, quais os horizontes em que as raízes têm dificuldade para atravessar, devido a compactação; a presença de fissuras, a densidade e profundidade das raízes e, sobretudo, dialogar com os agricultores no campo, no sentido de alertá-lo sobre as conseqüências na produtividade quando as raízes não se desenvolvem o suficiente.

Neves et al. (2003) estudando densidade e porosidade de unidades morfológicas homogêneas por meio do método perfil cultural em Latossolo Vermelho distroférico, observaram que esse método permite identificação de fissuras no perfil

de solo, que por sua vez, viabilizam a interpretação de certos dados obtidos em laboratório. Além disso, sua eficiência também é verificada quando da possibilidade que oferece em caracterizar a heterogeneidade do perfil do solo, pois, além de possibilitar a detecção de diferenças estruturais, também contribui para ver os efeitos de manejo.

A eficácia desse método pode ser constatada quando da possibilidade que oferece de se correlacionar crescimento e o desenvolvimento das raízes com a estrutura do solo. Além disso, os efeitos da compactação do solo no desenvolvimento das raízes podem ser avaliados com mais clareza (TAVARES FILHO et al., 1999).

Em linhas gerais, o perfil cultural como ferramenta no gerenciamento nas relações solo – manejo é utilizado no Brasil desde os anos 1990 e sua importância está no reconhecimento de diferenciações na estrutura do solo decorrentes da ação antrópica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado através de análise exploratória de dados amostrais, a partir de observações da morfologia dos agregados do solo, realizada durante a descrição do perfil cultural. Após isso, foram coletadas amostras de solo, transportando-as para laboratórios da Universidade Estadual de Maringá e IAPAR, onde, realizaram-se análises diversas.

A escolha do solo para desenvolver esta pesquisa justifica-se pelo fato de que os nitossolos apresentam maior atividade da argila e são importantes do ponto de vista da agricultura; porém, muitas vezes tem suas condições físicas prejudicadas, pelo uso contínuo e inadequado de máquinas pesadas, provocando a formação de camadas compactadas, o que dificulta a penetração da água e das raízes, favorecendo a erosão (EMBRAPA, 1986).

4.1 Localização da área de estudo

Para avaliar as possíveis influências nas condições físicas do solo a partir do tipo de manejo proposto no objetivo dessa pesquisa, pesquisou-se áreas agrícolas do norte do estado do Paraná - Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2002), localizadas na zona rural do município de Maringá, em propriedades rurais da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano, coordenadas 23°30'S – 52°00'W; altitudes entre 450m a 490m, onde ocorre o solo classificado como Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico (SKRABA & NAKASHIMA, 2007).

O conhecimento dos sistemas de manejo, bem como do histórico das áreas, foram considerados pré-requisitos a fim de se contemplar uma análise temporal das práticas agrícolas. As seguintes propriedades foram selecionadas: com sistema de manejo em plantio direto (20ha) do Sr. Moacir Ferro, praticado há 20 anos; com sistema de manejo em plantio convencional do Sr. Gumercindo Gobbi (10ha) durante 20 anos; e áreas manejadas com cana-de-açúcar (1.500m²) e pastagem (3.000m²) durante 5 e 15 anos, respectivamente, pertencentes a Paulo Luiz Pereira e Carlos Augusto Pereira. Utilizou-se solo sob floresta, da Cooperativa Agroindustrial

de Maringá (COCAMAR), como testemunho; localizado próximo às áreas de análise. Nesse setor o solo encontra-se coberto com espécies nativas da região (FIGURA 5).

Os solos sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem não recebem nenhum tipo de tratamento. O cultivo da cana-de-açúcar ocorre com colheita manual e ausência de queima; com produção destinada à alimentação do gado. A pastagem, composta por gramínea estrela africana (*Cynodon plectostachyus*), é utilizada para 5 cabeças de gado. Ambas as áreas destinavam-se ao cultivo de grãos antes do estabelecimento desses manejos.

As peculiaridades referentes aos sistemas de manejo plantio convencional e plantio direto são as seguintes:

- PC – Lavoura em preparo convencional, com monocultivo de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays L.*) e preparo do colo utilizando escarificador, em uma área de 10ha;
- PD – Lavoura em plantio direto, numa área de 22ha, com rotação de culturas, tendo como gramíneas milho (*Zea mays L.*), aveia preta (*Avena Strigosa*) e trigo (*Triticum spp.*) e como leguminosas – feijão (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*);
- M – Vegetação natural: área próxima não perturbada, com vegetação original (floresta caducifólia).

O tipo de cultivo presente nas áreas de plantio convencional e direto, no momento da amostragem, era constituído pela soja com, aproximadamente, 30 a 45 dias de seu ciclo fenológico.

A localização das trincheiras, abertas no sentido transversal à linha de cultivo, utilizadas para a descrição dos perfis de solo nas áreas agrícolas da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano possuem as seguintes coordenadas geográficas: floresta 52°00'13"W, 23°29'9"S; cana-de-açúcar 51°59'33.9' W, 23°29'59.1"S; pastagem 51°59'30.3"W, 23°29'57.3"S; plantio convencional 51°59'27.6"W, 23°30'4.5"S e plantio direto 51°59'44.7"W, 23°30'33.3"S (FIGURA 5, 6).

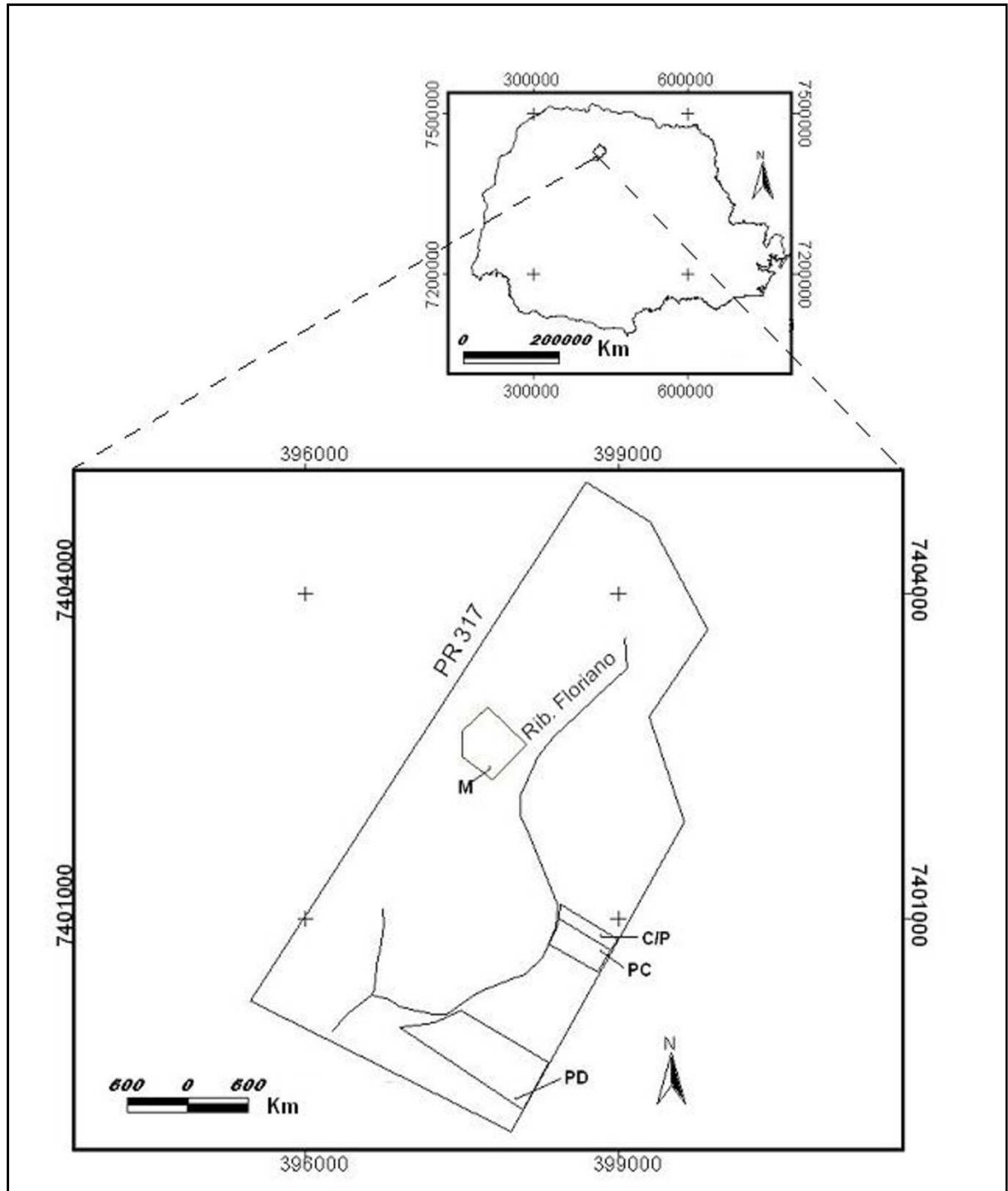


Figura 5 - Localização da área de estudo na Gleba Pingüim-ribeirão Floriano. C/P = cana-de-açúcar/pastagem, PC = plantio convencional, PD = plantio direto, M = floresta

Os resultados analíticos das amostras de solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem não foram comparados aos apresentados pelo solo sob floresta, decorrente do fato das coletas não terem ocorrido na ocasião da descrição do perfil cultural desses solos.

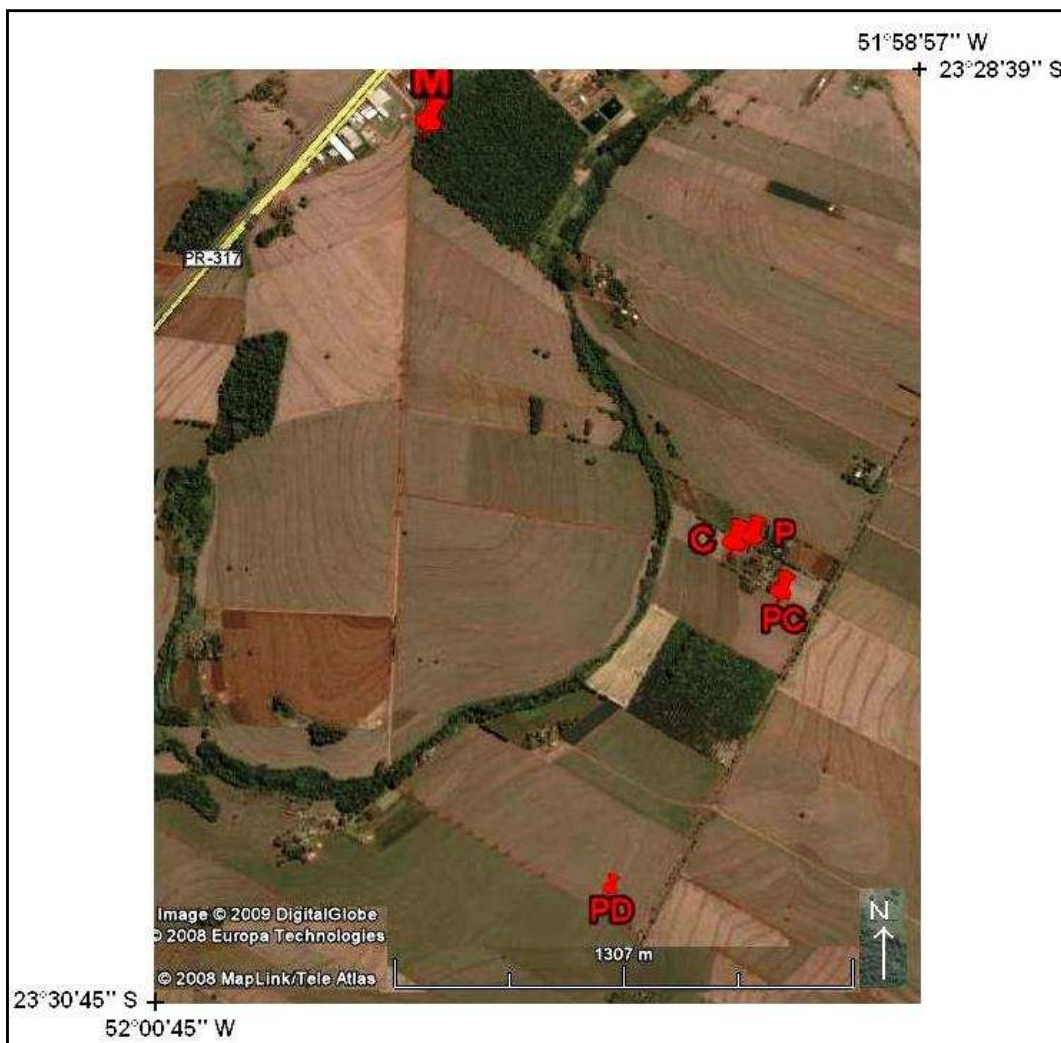


Figura 6 – Imagem da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano na zona rural do município de Maringá. Localização dos perfis de solo sob floresta (M), cana-de-açúcar (C), pastagem (P), plantio convencional (PC) e plantio direto (PD)

4.1.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1.1 Aspectos físicos da área

O município de Maringá situa-se geograficamente na região sul do Brasil, ao norte do estado do Paraná no Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2002), entre as coordenadas 23°15'15 e 23°33'27 de latitude sul e 51°50'05 e 52°05'59 de longitude oeste, sendo cortada pelo Trópico de Capricórnio, ocupando uma área de 488Km² com uma população estimada de 325.968 habitantes (IBGE, 2007).

O relevo é caracterizado pela sucessão de baixas colinas com formas suavizadas. Estende-se sobre o espigão divisor de águas entre as bacias do rio

Paranapanema ao norte, e rio Ivaí ao sul; com altitudes entre 360m nos vales mais dissecados, no extremo noroeste e sudeste do município, até 599m, cota mais elevada, a qual se encontra no interior da área urbana.

A Gleba Pingüim-ribeirão Floriano encontra-se localizada na zona rural desse município entre as coordenadas 52°01'W – 23°30'S e 51°59'W – 23°28'S com fracas declividades, até 3% (plano), 3% a 8% (suave ondulado) e 8% a 20% (ondulado) nos setores de alta, média e baixa vertente (SKRABA & NAKASHIMA, 2007).

Na bacia sedimentar do Paraná predomina tipos litológicos pertencentes à Formação Serra Geral, que segundo White (1908), tem origem em evento vulcânico global que recobriu de lavas 75% de toda a superfície dessa bacia. As rochas vulcânicas do Terceiro Planalto Paranaense descrito por Maack (2002) compreendem os basaltos e andesitos toleíticos; riolitos e riolitos e quartzo latitos e riolitos do tipo Chapecó (PINESE & NARDY, 2003).

Segundo a carta de solo da região de Maringá (IAPAR, 1971) predominam os seguintes tipos: Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho distroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico (Figura 7). Os latossolos possuem profundidade superior a 3m, textura muito argilosa (teor de argila > 60%), altos teores de ferro ($Fe_2O_3 \geq 18\%$) e características morfológicas uniformes ao longo do perfil e os nitossolos possuem espessura em torno de 2m, textura muito argilosa (60% ou mais de argila), presença de cerosidade e estrutura prismática composta de blocos bem definidos (EMBRAPA, 1986).

A vegetação natural primária que cobria os solos de Maringá era floresta, classificada por Maack (2002) como Floresta Tropical, latifoliada perenefólia. Esse autor aponta que essa cobertura vegetal era rica em palmeiras do tipo *Euterpe edulis*, conhecida como palmito, cedro (*Cedrus*) e canela (*Cinnamomum*). Atualmente a área de floresta nativa do município de Maringá ocupa 14,05Km², representando, apenas, 2,87% da cobertura vegetal original (BARROS, et al., 2004).

O clima na região de Maringá é mesotérmico úmido com verão quente, *Cfa* conforme a classificação de Köppen (1948) empregada por Maack (2002); com precipitação média anual entre 1.500mm e 1.600mm e temperaturas médias anuais entre 20°C e 21°C, com médias máximas de 27°C a 28° C e mínimas entre 16°C e 17°C (SILVEIRA, 2003).

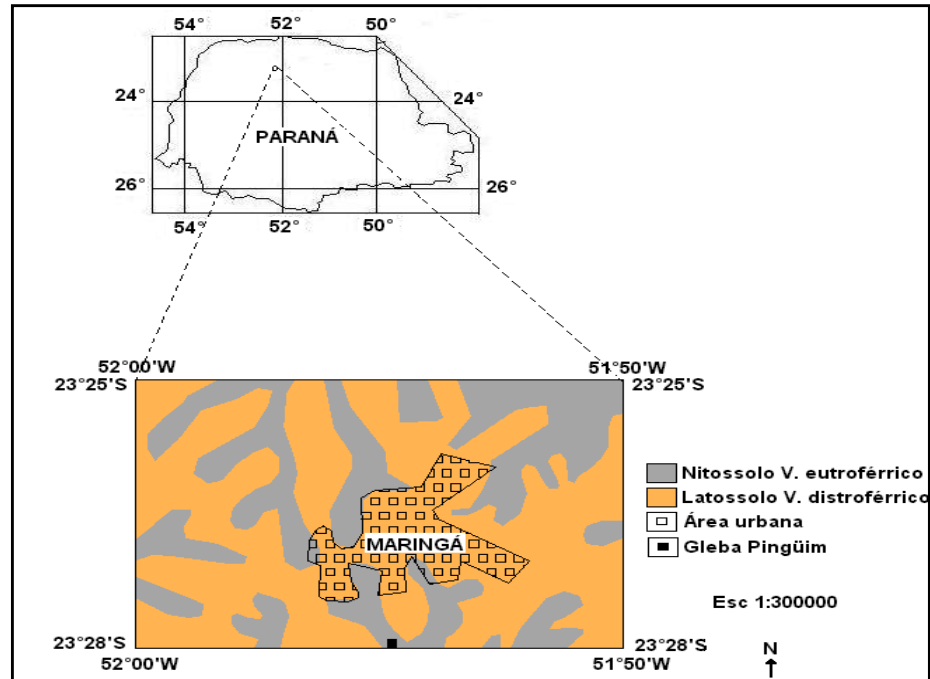


Figura 7 - Carta de solo da região de Maringá
Fonte: IAPAR (1971)

A variação do tempo atmosférico tanto anual, sazonal, como mensal e diária, especialmente do ponto de vista térmico e pluviométrico é destacado por Silveira (2003). Seus estudos mostram que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de dezembro e janeiro; e os períodos de chuvas escassas ocorrem em julho e agosto (FIGURA 8).

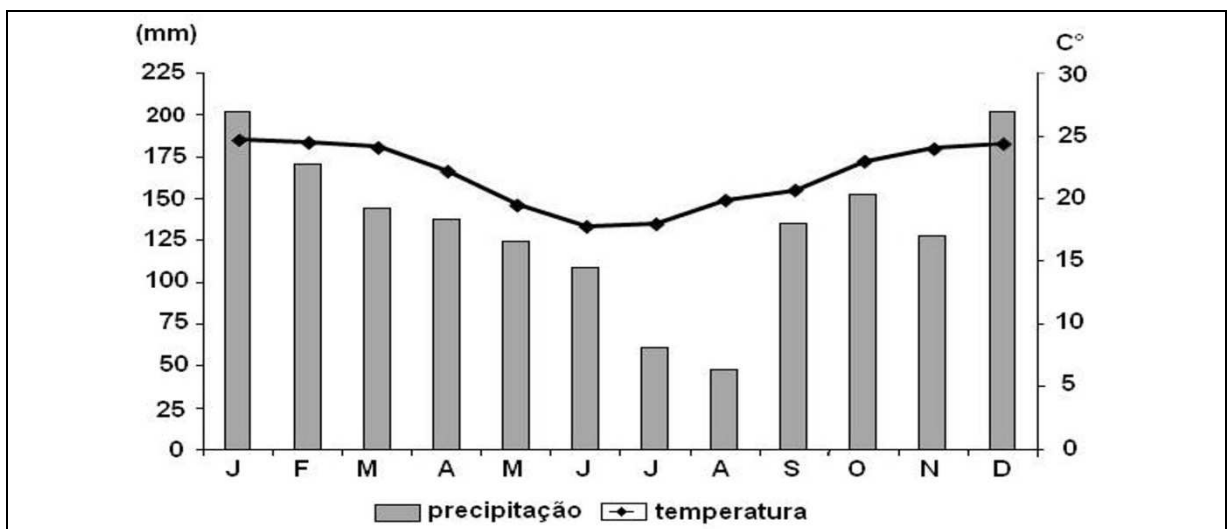


Figura 8 - Média mensal da série de dados de precipitação e temperatura no período de 1976 a 2000 da Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá.
Fonte: Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR

4.1.1.2 Aspectos geográficos e históricos

O povoamento do município de Maringá iniciou-se por volta de 1938, mas, sua fundação pela empresa Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP) ocorreu em 10 de maio de 1947. A colonização proposta por essa empresa priorizou a construção de um eixo rodo-ferroviário de penetração, assentamento de núcleos básicos na rota deste eixo. Assim, pode-se inferir que o surgimento de Maringá está relacionado à atividade agrícola, uma vez que, foi definida pelas diretrizes dessa Companhia como centro urbano maior para atendimento das pequenas propriedades produtoras de café (CMNP, 1997).

A partir da década de 1940, período da implantação da cidade, a atividade rural subsidiou tanto seu crescimento, como seu desenvolvimento. Com traçado urbanístico, inicialmente planejado e modernista; seguiu o princípio de Ebenezer Howard de Cidade-Jardim e sofreu um crescimento acelerado nas décadas seguintes, dando origem a núcleos periféricos como Sarandi, Paiçandu e Mandaguaçu (DE ANGELIS & DE ANGELIS NETO, 2001).

O êxodo rural-urbano decorrente das fortes geadas e das políticas governamentais marcou a década de 1960, determinando um novo desenho para Maringá. Segundo Luz (1997) nessa década 45,7% da população residia na área urbana e 54,3% na área rural. Segundo dados divulgados do Censo do IBGE de 2000, atualmente, cerca de 98,4% da população maringaense é urbana (IBGE, 2007).

Estudos da Associação Comercial e Industrial de Maringá (ACIM) destacam importantes elementos sócio-econômicos do município de Maringá, como a esperança de vida ao nascer (72,2), taxa de alfabetização de adultos (94,61), taxa bruta de frequência escolar (92,26) e renda bruta per capita (R\$ 465,37). Além disso, o PIB – valor adicionado na agropecuária compreende R\$ 32.208,00 e os adicionados na indústria e no serviço R\$ 859.246,00 e R\$ 3.024.418,00, respectivamente (IBGE-cidades, 2007).

Atualmente, dados governamentais do IBGE apontam que a agricultura, o setor de comércio e prestação de serviços apresentam importante papel na economia do município. Nesse contexto, Barros et al. (2004) verificaram que na década de 1990 a ocupação do solo, em Maringá, era compreendida por culturas

(38,95%), pastagem (13,94%), floresta nativa (2,87%), cana-de-açúcar (1,67%), capoeira (0,67%), área urbanizada (26,05%) e outros (15,85%).

Por outro lado, Moro (1980) observou a importância do setor agrícola para o desenvolvimento das cidades do Paraná. Sob esta perspectiva tem-se que as terras agricultáveis do município de Maringá também foram significativas para o seu desenvolvimento. Em um primeiro momento, as lavouras de café constituíram-se na principal cultura plantada, porém a partir da década de 1960 foram substituídas por lavouras mecanizadas de cereais. Geadas fortes associadas às políticas governamentais promoveram a substituição do café pela produção das culturas associadas de soja e trigo.

Atualmente, informações do IBGE-cidades (2007) indicam que dentre os produtos da lavoura permanente o município de Maringá apresenta o abacate, banana, café (em côco), caqui, goiaba, laranja, limão, manga, maracujá, pêssego, tangerina e uva. Os maiores rendimentos são apresentados pela laranja (38.000Kg/ha), limão (25.000Kg/ha) e tangerina (25.000Kg/ha). Dentre os cultivos temporários praticados em Maringá, os mais significativos, do ponto de vista da área plantada, são compreendidos pelos grãos de soja (23.200ha), milho (12.200ha) e trigo (4.000ha). Além disso, outras culturas como arroz, aveia, cana-de-açúcar, feijão, girassol e mandioca fazem parte da lavoura temporária do município.

4.2 Método

O método utilizado para analisar as alterações das propriedades do solo em razão do manejo prevê a comparação da influência do uso e manejo atual, a saber: cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto com o solo sob floresta.

4.2.1 Perfil cultural

Seguindo a proposta metodológica preconizada por Tavares Filho et al. (1999) providenciou-se a abertura de trincheiras no sentido transversal à linha de plantio, com 1m de comprimento; 0,80m de largura e 0,60m de profundidade (QUADROS 3 e 4).

As trincheiras, localizadas na área de topo das vertentes, foram abertas no sentido transversal à linha de plantio e a morfologia dos agregados do solo foi analisada até a profundidade de 40cm. Consistiu na descrição dos modos de organização e do estado interno dos volumes de solo encontrados no perfil (TAVARES FILHO et al.,1999).

Por ser o Perfil Cultural um método que viabiliza diagnosticar, qualitativamente, o estado estrutural do solo no campo, com auxílio de faca, delimitou-se volumes de solo alterados pelo manejo comparando-os àqueles encontrados no solo sob floresta. Analisou-se porosidade a olho nu, consistência, textura, atividade biológica, direção e formato das raízes e umidade. A largura da trincheira objetivou verificar as diferentes estruturas decorrentes do tipo de manejo; e a profundidade, avaliar camadas antropizadas que raramente superam 0,50m.

Quadro 3 - Modos de organização do perfil de solo

Nível de análise	Simbologia	Definição
I	AM	Volume de solo visualmente alterado pelo manejo
	NAM	Volume de solo visualmente não alterado pelo manejo
II	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanhos variados de 0 a 10cm sem nenhuma coesão. Comum na superfície dos solos trabalhados. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume de solo são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas
	F	Volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo estes de tamanhos variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspecto achatado. A porosidade é essencialmente fissural
	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes, quando presentes nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente, não são ramificadas e, além da tortuosidade, apresentam aspecto bem achatado
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo "impossível a individualização de torrões a olho nu". Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções, quando o volume não for compacto, e, ou, não ramificada, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e, ou, poros tubulares

Fonte: TAVARES FILHO et al. (1999)

Primeiramente, priorizou-se a delimitação de volumes antropizados distintos, tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregados e torrões, dentre outros fatores.

O estado interno dos torrões, verificado nos diferentes modos de organização do volume de solo, foi avaliado segundo o grau de resistência por eles apresentados (QUADRO 5).

Quadro 4 - Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado

Nível de análise	Simbologia	Definição
III	μ (agregado não compacto)	Estado interno dos torrões caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros tipo amontoado de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são rugosas e a coesão a seco é pequena
	Δ (Agregado compacto)	Estado interno de torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosas (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu muito pouco desenvolvida, com predominância, quando existir, de poros tubulares e, ou, cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muito elevada
	$\mu\Delta/\Delta\mu$ (Agregado \pm compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades: (1) Estado ($\mu\Delta$): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto μ sobre as características do estado compacto Δ e (2) estado ($\Delta\mu$): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto

Fonte: TAVARES FILHO et al. (1999)

4.2.1.1 Amostragem do solo e determinações

As amostragens do solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto ocorreram no período entre setembro e dezembro de 2007 a partir dos volumes homogêneos de solo identificados na descrição do perfil

cultural, a saber: duas amostras para o solo sob plantio direto e três amostras para o solo sob manejos da cana-de-açúcar, pastagem e plantio convencional. A profundidade de amostragem foi de 0 a 20cm e 20cm a 40cm para o solo sob cana-de-açúcar, pastagem e plantio convencional; e, 5cm a 15cm e 15cm a 40cm para o solo sob plantio direto. A coleta das amostras do solo sob floresta, realizada entre 0a 20cm e 20cm a 40cm de profundidade, objetivou compará-las às amostras de solo referentes aos manejos estudados. As coletas seguiram as orientações de Lemos & Santos (1996):

- amostras deformadas com pá de corte, para determinações de estabilidade de agregados, granulometria, teor de carbono e óxidos;
- amostras indeformadas com anel metálico, para determinação da densidade do solo. Foram acondicionadas em cápsulas de metal com as respectivas identificações.

4.2.1.1.1 Granulometria

A análise granulométrica seguiu procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1984) segundo a NBR 7181/84 (análise granulométrica com defloculante de hexametáfosfato de sódio), o qual utiliza densímetro e fundamenta-se na sedimentação das partículas do solo. Os valores obtidos foram aplicados nas seguintes fórmulas:

$$M_s = [(M_t - M_g) / (1 + W)] + M_g$$

$$(M_s - M_g) = (M_t - M_g) / (1 + W)$$

$$N = 100 \cdot M < 2,0 \text{ mm} / M_s (\%)$$

$$M_3 = M_h / (1 + W)$$

4.2.1.1.2 Estabilidade dos agregados do solo via úmida

Para análise da estabilidade de agregados coletou-se amostras de solo com estrutura deformada de cada volume estrutural homogêneo identificado na descrição do perfil cultural, seguindo a metodologia proposta por Yoder (1936), adaptada por Castro Filho (2001). No laboratório as amostras passaram por peneira com 19mm de malha. Para cada amostra determinou-se a distribuição das classes de agregados

por meio do tamisamento a úmido. As amostras foram analisadas num conjunto de peneiras constituído por malhas de 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm e 0,25mm de diâmetro.

Em cada jogo de peneiras, a amostra de agregados com 100g foi colocada sobre a peneira de maior malha (8mm), contendo um papel filtro para retenção da terra até sua saturação por capilaridade, durante 10 minutos, e em seguida agitou-se no tamisador por 15 minutos, com movimento vertical de 30 oscilações por minuto. O solo retido em cada peneira foi transferido para estufa (105°C) durante 24 horas.

Após a obtenção do peso de solo seco de cada classe de agregados, calculou-se a média das classes. Os valores obtidos foram usados para cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) e do índice de estabilidade (IEA) da seguinte maneira:

$DMP = \sum (X_i * f_i)$ onde:

X_i = diâmetro médio de cada fração retida na peneira (mm);

F_i = proporção de cada classe em relação ao total (não é em grama e nem %)

$IEA\% = \left\{ \frac{\text{peso dos agregados} - \text{fração} < 0,25\text{mm}}{\text{Peso total da amostra}} \right\} * 100$

4.2.1.1.3 Resistência do solo à penetração

A fim de avaliar a influência dos manejos ao longo do perfil de solo à penetração vertical do solo, amostrou-se aleatoriamente cinco pontos em cada área pesquisada. Em cada ponto foi determinada a resistência do solo à penetração, com penetrômetro de impacto (STOLF, 1991). Avaliou-se o número de impactos a cada 0,10m na camada de 0 – 0,40m de profundidade. Essa profundidade tem relação com a metodologia do perfil cultural que prevê análise para profundidades que, geralmente, são alteradas pelos órgãos ativos dos implementos agrícolas. A determinação foi realizada no terceiro dia, após um período de chuva e a condição de umidade do solo avaliada pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997) era de 27,52Kg Kg⁻¹ a 29,60Kg Kg⁻¹ para a profundidade entre 0 a 20cm e 27,16Kg Kg⁻¹ a 30,89Kg Kg⁻¹ para a o solo entre 20cm a 40cm de profundidade. Os dados obtidos em número de impactos por dm⁻¹ foram transformados para resistência do solo à

penetração (MPa). Para esta transformação utilizou-se a equação apresentada por Stolf (1991) – $5,6\text{Kg f (m}^2\text{)}$ somado a 6,89 e multiplicado pelo número de impactos.

4.2.1.1.4 Densidade do solo

A densidade do solo foi avaliada segundo a metodologia da EMBRAPA (1997). Para a análise da densidade do solo coletou-se amostras de solo com estrutura indeformada por meio de anéis de aço com volume interno conhecido (V_a), nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm para cada volume de solo descrito durante a descrição do perfil cultural. As amostras foram retiradas com anéis de aço. Transferiu-se a amostra para cápsulas de alumínio e levou-as para estufa a 105°C por 24 horas. Após transferiu-se para dessecador à fim de aguardar seu resfriamento. Em seguida, por meio de pesagem obteve-se a massa seca da amostra (MS). Para o cálculo da densidade utilizou-se a seguinte fórmula:

$$D_s(\text{Mg m}^{-3}) = \text{MS} / V_a$$

4.2.1.1.5 Densidade de partícula

A análise da densidade de partícula (massa específica dos grãos de solo) seguiu procedimentos propostos pela NBR 6508/84 (método do picnômetro), o qual utiliza picnômetros e bomba à vácuo. O procedimento iniciou com a determinação do teor de umidade das amostras de solo, previamente secas ao ar. Para tal, colocou-se 3 quantidades de solo em cápsulas de massa previamente conhecida, em estufa (105°C) durante 12 horas. Em seguida, pesou-se em 2 copos 50g de solo (quantidade indicada para solos com textura fina); cobriu-se com água destilada e aguardou-se repouso por 12 horas. Transferiu-se o conteúdo de solo dos 2 copos para o agitador, agitando-se durante 15 minutos. Transferiu-se o solo para picnômetros ocupando, aproximadamente, a metade de seu volume e aplicou-se pressão negativa com bomba de vácuo (88KPa) durante 15 minutos, para a remoção do ar aderente às partículas do solo. Aguardou-se 2 horas, completou-se com água destilada até o nível de referência do picnômetro e procedeu-se a verificação de seu peso e de sua temperatura com termômetro graduado. Para

obtenção do peso específico observou-se, portanto, massa do solo úmido (M_1), massa de solo seco (M_s), massa do picnômetro + solo + água (M_2) e massa do picnômetro + água (M_3). Além disso, foi necessário considerar a massa específica da água conforme a temperatura do ensaio (ρ_w) conforme Tabela da norma 6508/84. Os valores obtidos nesse processo foram transferidos para a fórmula:

$$\rho_s (\text{g/cm}_3) = \frac{M_s}{M_s + M_3 - M_2} \times \rho_w$$

4.2.1.1.6 Matéria orgânica

Para melhor interpretação da distribuição e estabilidade dos agregados em água, determinou-se os teores de carbono orgânico no laboratório de física do solo do IAPAR. Para determinação do carbono orgânico (constituente maior da matéria orgânica) realizou-se a análise segundo o método Walkley-Black descritos segundo a EMBRAPA (1997), o qual prevê ataque químico com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

4.2.1.1.7 Óxidos de ferro, óxidos de alumínio e minerais de argila

A quantificação dos óxidos de ferro e alumínio, bem como a determinação da natureza da argila objetivou relacionar suas influências na estabilidade dos agregados. Realizou-se a análise no laboratório de Química e Mineralogia do Solo do DAG/UEM. Para determinação dos teores de óxidos de ferro livres (Fed) procedeu-se segundo Mehra & Jackson (1960), trabalhando-se com argila desferrificada. Colocou-se 0,500g de argila em tubos de ensaio de 75mL, em seguida, adicionou-se 50mL do coquetel citrato-bicarbonato, mantendo os tubos em banho-maria até atingir a temperatura de 70°C-75°C. Adicionou-se 1g de ditionito de sódio com consecutiva agitação periódica. Após resfriamento, separou-se o sobrenadante por centrifugação para posterior determinação das concentrações de Fe e Al, a partir de leitura por absorção atômica.

A determinação das formas de Fe e Al com baixa cristalinidade (Fe_o e Al_o) seguiu metodologia descrita por Camargo et al. (1986). Colocou-se 250mg de argila em tubos de centrífuga, envoltos por papel alumínio. Adicionou-se 20mL de oxalato

ácido de amônio e agitou-se em mesa giratória por 4 horas a 160 oscilações por minuto. Após esse período centrifugou-se a suspensão.

A semiquantificação por difratometria se deu de acordo com a área relativa dos reflexos d_{012} da hematita (X 3,5); d_{110} da goethita e d_{220} da maghemita (X 3,5). Os difratogramas foram obtidos em equipamento Shimadzu XRD-6000, utilizando-se radiação de $\text{CuK}\alpha$, filtro de níquel, operando a 30mA e 40kV, numa varredura escalonada de $0,02 \text{ } 2\theta$ por 0,6 segundos numa amplitude de 5 a $80 \text{ } 2\theta$. As quantidades de caulinita e gibbsita foram determinadas por meio de análise termogravimétrica. Os termogramas foram obtidos no analisador termogravimétrico Shimadzu TA-50, operando em atmosfera de N_2 num fluxo de 20mL min^{-1} e taxa de aquecimento de 20°C , até a temperatura de 1.000°C . As quantidades de caulinita e gibbsita foram determinadas com base na perda de massa que ocorre nas temperaturas de 250°C para gibbsita e 500°C para caulinita. Os argilominerais do tipo 2:1 foram obtidos pela subtração da quantidade total de caulinita e gibbsita na amostra, após constatação desses minerais pela difratometria. Os termogramas foram obtidos no mesmo equipamento:

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = L . f . 2,5 . 1,42$$

Onde

L = leitura

F = concentração do padrão/leitura

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fins de comparação dos resultados analíticos, a partir do tipo de manejo, a apresentação é feita correlacionando-se cana-de-açúcar e pastagem; floresta, plantio convencional e plantio direto. Esta organização busca garantir condições semelhantes de umidade do solo, já que tanto a descrição do perfil cultural como a coleta das amostras ocorreram em épocas distintas, a saber: cana-de-açúcar e pastagem no mês de setembro; floresta, plantio convencional e plantio direto no mês de dezembro.

5.1 Ocupação e atividades rurais: Gleba Pingüim-ribeirão Floriano

A Gleba Pingüim-ribeirão Floriano, com área total de aproximadamente 1.165ha, mostra uma ocupação do solo de forma distinta. Por um lado, verifica-se atividades agrícolas caracterizadas pela produção de grãos, especialmente soja e milho; por outro, atividades industriais e comerciais.

O cultivo do solo iniciou na década de 1940. Os lotes apresentavam e ainda apresentam, em média, 20ha de área plantada. Nas primeiras décadas do século XX a colonização, os loteamentos, a construção de estradas e a fundação de núcleos urbanos eram de responsabilidade da empresa colonizadora do Norte do Paraná (Companhia de Terras Norte do Paraná – CTNP). Inicialmente, as terras agricultáveis dessa bacia eram destinadas às lavouras de café e a partir de 1968 ocupadas, paulatinamente, pela cultura associada da soja e do trigo (MORO, 1980).

A substituição da cultura do café pelas lavouras mecanizadas de cereais, ocorrida na década de 1960, foi acompanhada pelos moradores dessa gleba. Na década de 1970, culturas como as do café tinham importância significativa; concordando com dados que apontam a soja numa posição menos importante da evidenciada nos dias atuais.

A Gleba Pingüim-ribeirão Floriano compreende, aproximadamente, 18 propriedades rurais. Do ponto de vista da produção agrícola, destacam-se as lavouras de grãos; principalmente a soja. Essa situação demonstra serem satisfatórias as condições climáticas locais para o cultivo dessa leguminosa, que

exige disponibilidade anual de água entre 700mm a 1.200mm e temperatura do ar entre 20°C e 35°C (IAPAR, 2007).

O potencial de produção da soja nas áreas investigadas, em torno de 3.099Kg/ha (plantio convencional) a 3.967Kg/ha (plantio direto) colhidos no ano de 2007, contempla dados apontados pelo IAPAR (2007) para o estado do Paraná, ou seja, 2.000Kg/ha a 4.000Kg por hectare. Por outro lado, esses números ultrapassam a produtividade média brasileira que, segundo a EMBRAPA, é de 2.823Kg por hectare.

5.2 Manejos empregados na Gleba Pingüim-ribeirão Floriano

Dentre as práticas agrícolas adotadas na Gleba Pingüim-ribeirão Floriano, tanto pelos agricultores que cultivam suas terras revolvendo-as como aqueles que fazem semeadura direta, verifica-se constante uso de máquinas e implementos agrícolas. Esses equipamentos são necessários, do ponto de vista da agricultura, tanto para a distribuição de corretivos e herbicidas como para o plantio.

A forma de manejo do solo, em sua maior parte, é representada pelo plantio direto. Entretanto, variáveis como tempo em que o manejo é praticado, bem como, sistema de cultivo (rotação, sucessão) mostraram-se diferentes para cada produtor. A grande maioria faz sucessões entre as culturas de soja e trigo ou soja e milho, revolvendo o solo a cada 2 ou 3 anos com arado de disco ou escarificador, para o preparo primário e grade niveladora para o secundário.

Verifica-se que os agricultores, em sua maioria, utilizam somente a técnica do plantio direto, pois segundo a literatura esse sistema além de contemplar o não revolvimento total do solo, com exceção das covas, também sugere rotacionar as culturas (PHILLIPS & YOUNG, 1973).

Sistemas de cultivo como rotação com manejo de plantas com sistema radicular, ora fasciculado como milho, trigo e aveia, ora pivotante como soja e feijão; também foram verificados em algumas propriedades. Sobre essa prática Bertol et al. (2004) constatou efeitos positivos nos atributos do solo quando do uso de sistema de rotação de culturas.

Segundo a FEBRAPDP (2007) esse sistema e/ou técnica de plantio direto foi introduzido pelos agricultores a partir do início da década de 1980, ou seja, 10 anos

após esta tecnologia ter sido otimizada no Brasil. Até então, o tratamento do solo era por meio do sistema convencional.

Os produtores apontaram o plantio direto (sistema e/ou técnica) como manejo satisfatório tanto do ponto de vista das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; como da produtividade. Além disso, contribuições de agricultores da gleba relacionadas à semeadura direta, sem revolvimento do solo, são descritas em literatura especializada (CALEGARI et al., 1992).

Em linhas gerais, o tipo de manejo empregado nessa gleba confirma dados de pesquisa os quais evidenciam que grande parte dos agricultores brasileiros cultiva o solo a partir do sistema/técnica plantio direto e/ou cultivo mínimo (BASTOS et al., 2007).

5.3 Caracterização do solo

Na fração argila do horizonte B nítico, a partir de amostra de solo coletada no manejo plantio direto, nas profundidades entre 20cm a 40cm, verifica-se minerais silicatados (caulinita: 790g Kg⁻¹, vermiculita: 150g Kg⁻¹), óxidos de ferro (hematita: 660g Kg⁻¹, maghemita: 210g Kg⁻¹, goethita: 130g Kg⁻¹) e óxidos de alumínio (gibbsita: 60g Kg⁻¹). Sobre essa mineralogia Gasparetto & Santos (2005) estudando solo em substrato sedimentar, interpretam como sendo típica de solos tropicais, ou seja, a partir do intemperismo de rochas básicas constituídas por minerais ferromagnesianos e feldspatos originam-se solos argilosos com elevado conteúdo em óxi-hidróxidos (TABELA 4).

Tabela 4 - Constituintes da fração argila do horizonte B nítico do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano

Óxidos livres			Argilominerais		
Hematita	Maghemita	Goethita	Gibbsita	Caulinita	Vermiculita
.....g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹
660	210	130	60	790	150

Sobre o componente principal da fração argila do solo verifica-se, a partir de análise termogravimétrica com base na perda de massa associada aos picos endotérmicos, predomínio de caulinita. Resultados do difratograma de raios-X da

fração argila de amostras desferrificadas evidenciam picos bem pronunciados desse argilomineral, indicando que apresentam-se em quantidades significativas (FIGURA 9).

O clima é apontado como fator preponderante para os altos teores de caulinita encontrados, pois esse argilomineral é produto da recombinação da sílica com o alumínio após processo de lixiviação dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos (MELFI, 1997).

Além da caulinita, a presença de vermiculita, com elevada capacidade de expansão, aderência e adsorção; bem como grande superfície específica pode ser positiva do ponto de vista edafológico em razão do diferencial na capacidade de troca de cátions (CTC) (BRADY & WEIL, 2002).

Os resultados obtidos para a composição mineralógica da fração argila concordam com resultados semelhantes encontrados por Costa (2002).

Na mineralogia dos óxidos de ferro e alumínio constata-se presença de hematita, maghemita, goethita e gibbsita, os quais são comuns nos solos tropicais originados do basalto (COSTA, 2002). Os maiores picos foram verificados para a hematita, maghemita e goethita; respectivamente (FIGURA 10).

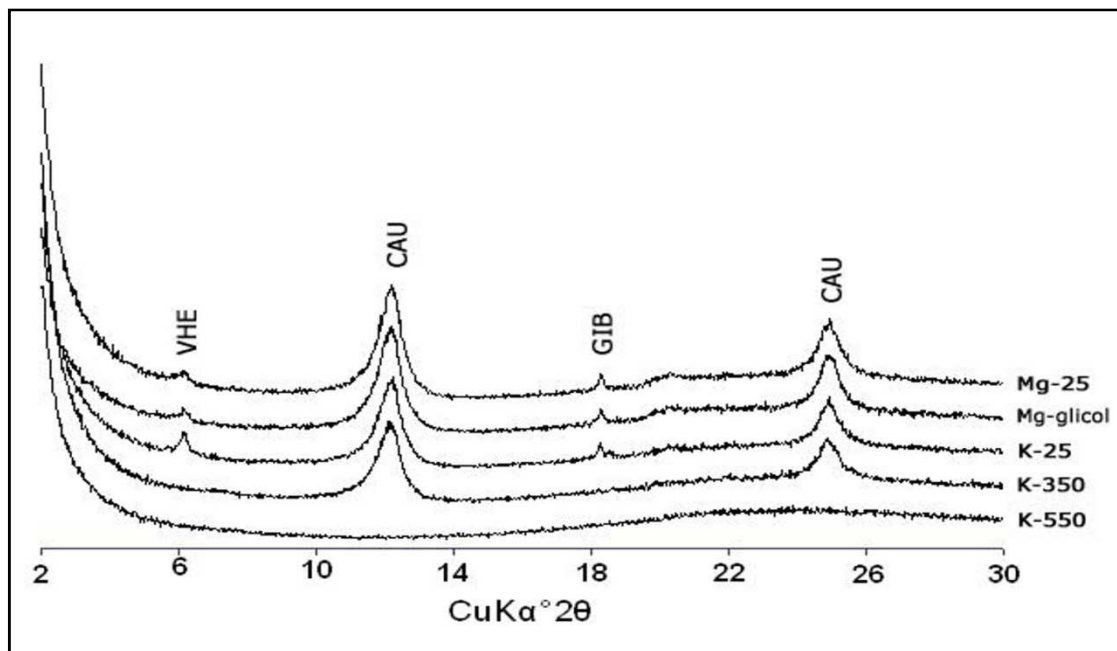


Figura 9 - Difratoograma de raios-X da fração argila de horizonte B do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pinguim-ribeirão (C: caulinita; Gb: gibbsita; VHE: vermiculita)

A hematita e a maghemita são semelhantes quimicamente; ocorrem em grandes concentrações nos solos tropicais, principalmente naqueles desenvolvidos de rochas vulcânicas; são responsáveis pela coloração vermelha dos solos (CORNELL & SCHWERTMANN, 2003).

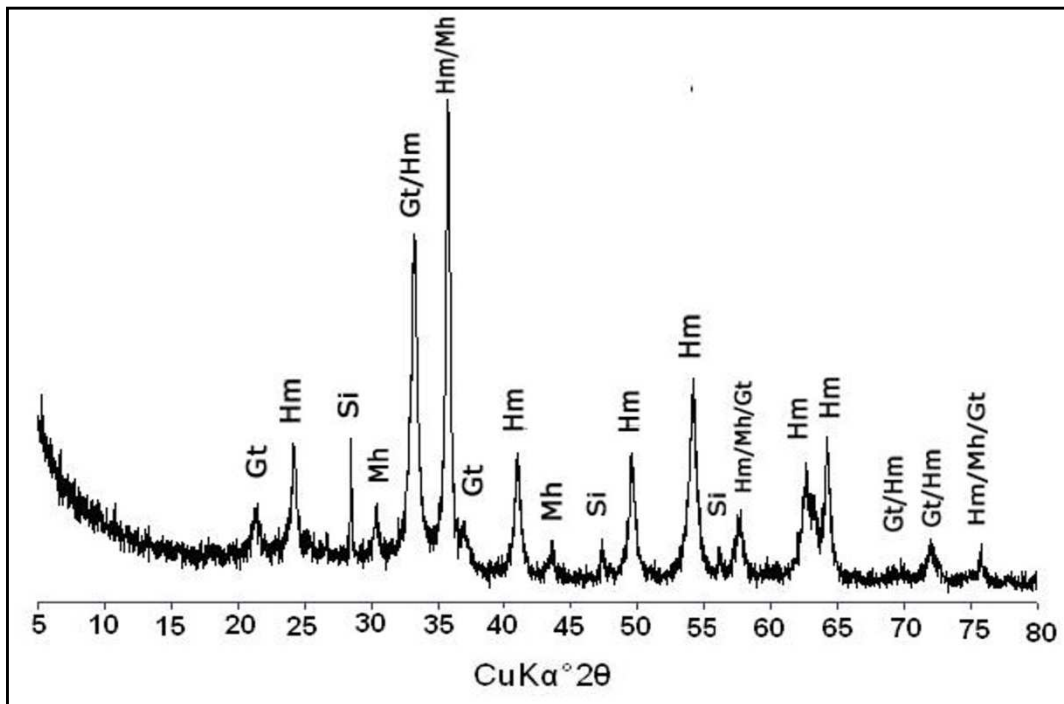


Figura 10 - Difratograma de raios-X da fração argila de horizonte B do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano (Gt:goethita; Hm: gematita; Mh: maghemita; Si: quartzo)

Os óxidos e hidróxidos ocorrem ora, sob a forma de materiais amorfos, ora até altamente cristalizados (SILVA et al., 2000; COSTA, 2002; FERREIRA et al., 2007). Sobre essa questão verifica-se na Tabela 5 que as formas do ferro obtidos a partir da extração dos óxidos de ferro com reagentes específicos (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato ácido de amônio) apresentam graus distintos de cristalinidade, a saber: ferro e alumínio cristalinos com 127g Kg^{-1} e $8,7\text{g Kg}^{-1}$, respectivamente; e ferro e alumínio amorfos com $6,6\text{g Kg}^{-1}$ e $8,3\text{g Kg}^{-1}$.

Os resultados da mineralogia parecem indicar que, tanto os argilominerais (caulinita, vermiculita) como os óxidos (hematita, maghemita, goethita, gibbsita) podem apresentar comportamentos diferenciados decorrente do fato de possuírem propriedades distintas resultantes, ora de sua composição química, ora de sua estrutura cristalina. Sobre tal afirmação, Skinner (1985) registra que, quimicamente,

óxidos de ferro como hematita e goethita, por exemplo, são diferentes quanto ao teor de ferro, apresentando 70,0% e 62,9%, respectivamente.

Tabela 5 – Teores de ferro e alumínio cristalino e amorfo do horizonte Bni do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico da Gleba Pingüim-ribeirão Florianópolis. Solo sob manejo plantio direto

Fed	Feo	Ald	Alo
.....g Kg ⁻¹			
127	6,6	8,7	8,3

Fed: ferro extraível com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio; Ald: Alumínio extraível com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio. Feo: Ferro extraível com oxalato ácido de amônio; Alo: Alumínio extraível com oxalato ácido de amônio. Elementos determinados por espectroscopia de absorção atômica.

Encontra-se na Tabela 6 a caracterização do solo (densidade de partículas, granulometria, óxidos de ferro e alumínio) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm. Utilizando-se a proposta de classificação de textura do solo proposta pela EMBRAPA (1999); verifica-se no solo sob floresta que na camada de 0 – 20cm e 20cm a 40cm de profundidade a textura é argilosa a muito argilosa, com 65,0%, 30,5% e 4,5% e 64,0%, 31,5% e 4,5% de argila, silte e areia, respectivamente.

No solo sob manejo da cana-de-açúcar, na profundidade entre 0 e 20cm e 20cm a 40cm as porcentagens de 67,0%, 28,0% e 5,0% e 77,0%, 19,0%, 4,0% de argila, silte e areia, respectivamente, caracteriza solo muito argiloso.

A textura do solo sob o manejo da pastagem mostra-se argilosa na profundidade entre 0 a 20cm e muito argilosa na profundidade entre 20cm a 40cm. Nessas camadas as quantidades de argila, silte e areia são de 58,5%, 37,5%, 4,0%; e 76,0%, 20,0% e 4,0%, respectivamente.

O solo sob manejo plantio convencional apresenta na profundidade entre 0 a 20cm 59,0%, 31,0% e 10,0% de argila, silte e areia, respectivamente. Essas porcentagens apontam para textura argilosa. Já na camada entre 20cm a 40cm as porcentagens de 71,0%, 23,5% e 5,5% conferem condição textural muito argilosa.

No solo sob sistema de manejo plantio direto a composição da granulometria constitui-se de 59,0%, 31,0% e 10,0% de argila, silte e areia na camada 0 – 20cm de profundidade, caracterizando textura argilosa e 68,0%, 24,0% e 8,0% na camada de 20cm – 40cm, confirmando textura muito argilosa.

Tabela 6 - Caracterização do solo (densidade de partícula-Dp, densidade do solo-Ds, porosidade total-Pt, argila, silte, areia e óxidos livres) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto na Gleba Pinguim-ribeirão Floriano

Prof. cm	DpMg m ⁻³	Ds	Pt %	Argila	Silte	Areia	Óxidos livres	
							Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
.....g Kg ⁻¹								
Floresta								
0-20	2,98	1,05	64,76	650	305	45	112,96	5,3
20-40	3,02	1,15	61,92	640	315	45	127,62	5,83
Cana-de-açúcar								
0-20	3,04	1,1	63,81	670	280	50	130,77	8,08
20-40	3,06	1,1	64,05	770	190	40	117,21	7,12
Pastagem								
0-20	2,86	1,17	59,09	585	375	40	133,15	8,62
20-40	3,04	1,17	61,51	760	200	40	132,79	8,76
Plantio convencional								
0-20	3,1	1,32	57,42	590	310	100	139,19	7,95
20-40	3,02	1,6	47,02	710	235	55	122,06	5,3
Plantio direto								
0-20	3,11	1,6	48,55	590	310	100	128,59	7,93
20-40	3,04	1,16	61,84	680	240	80	118,14	7,43

Independente do tipo de manejo os solos apresentam textura muito argilosa na profundidade de 20cm a 40cm, enquanto que para os níveis de 0 a 20cm apresentam variações entre argilosa e muito argilosa (FIGURA 11).

A densidade das partículas (Dp) tem relação com a composição química e a massa atômica dos minerais. Assim, verifica-se que as densidades entre 2,86Mg m⁻³ e 3,06Mg m⁻³, refletem mineralogia específica a solos oriundos de rocha que apresenta em sua composição original minerais ferromagnesianos como o basalto. Sobre essa questão a EMBRAPA (1984) registra que, além das concreções de óxido de ferro encontradas nas partículas de solo com tamanho do grão de areia pode ter, também, minerais como magnetita (5,5), que por sua vez, faz parte do rol de minerais com densidades mais elevadas.

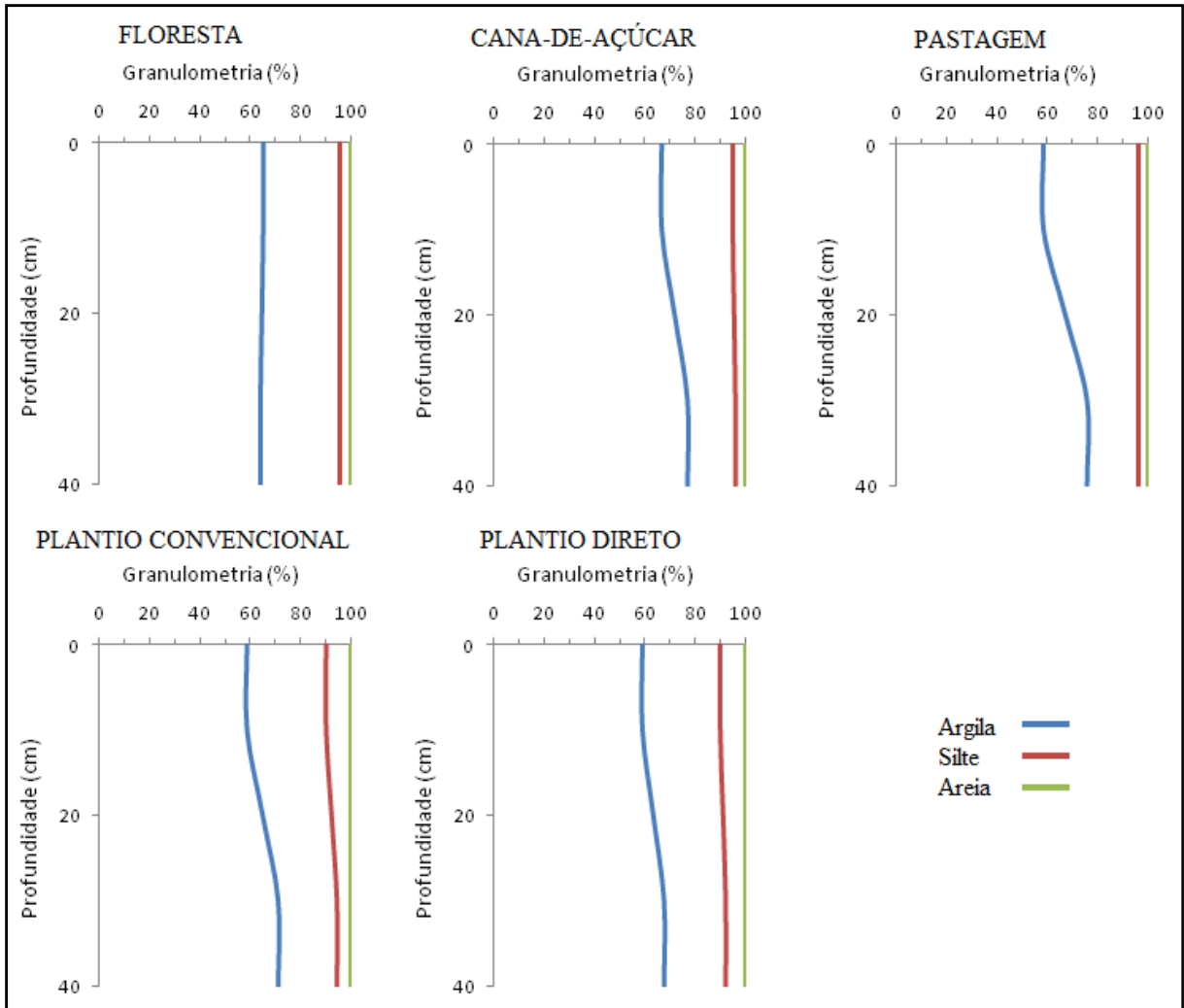


Figura 11 – Distribuição das frações granulométricas no solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto

A partir dessa análise constata-se que nesses solos os valores de densidades de partícula independem do uso, manejo e/ou profundidade do perfil; confirmando, assim, existência de forte relação com um dos fatores de sua formação: o basalto.

5.4 Perfil cultural e os volumes estruturais homogêneos

A ocorrência de chuvas para o mês em que se realizou a descrição do perfil cultural no solo sob manejo da cana-de-açúcar e pastagem (setembro/2007), foi inferior à média mensal da série de dados de precipitação, apresentada pela Estação Climatológica Principal de Maringá, entre os anos de 1976 e 2000 (FIGURA 12).

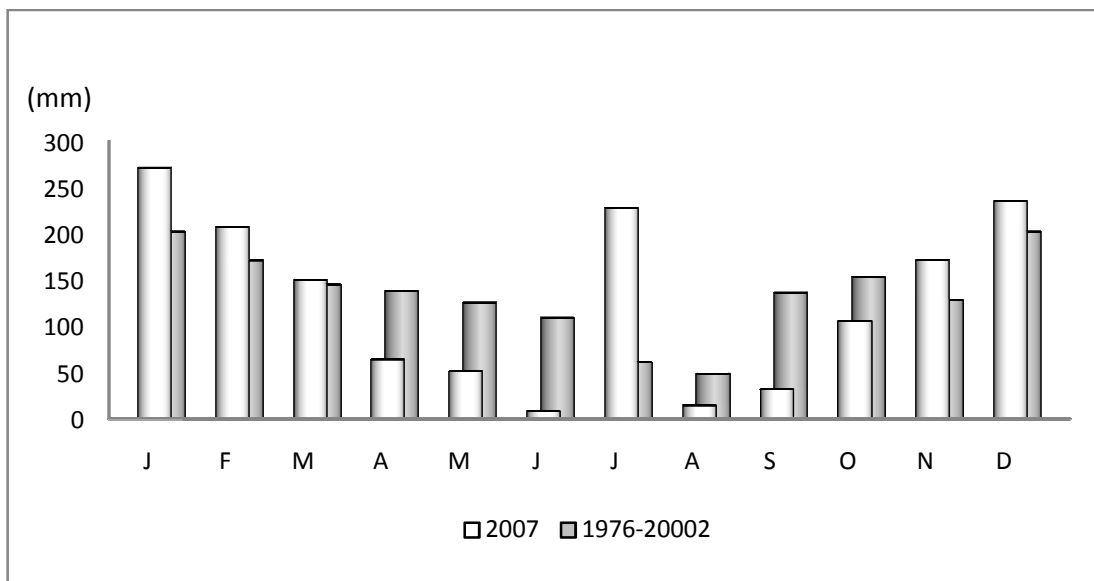


Figura 12 - Distribuição da precipitação pluvial durante o ano de 2007 e a série de dados para o período de 1976 - 2000

Fonte: Estação Climatológica Principal de Maringá

Nesse particular, constata-se *déficit* significativo de precipitação para o mês de setembro do ano de 2007. Essa mesma condição atmosférica não se observou para o mês de dezembro, no qual realizou-se a descrição dos perfis para o solo sob cultivo de grãos sob manejos plantio convencional e direto.

O conteúdo de água no solo constitui-se em importante componente das análises físicas por influenciar os valores de consistência. Dessa forma, pode interferir, por exemplo, nos resultados relacionados a estabilidade dos agregados e resistência mecânica à penetração da raiz, que serão discutidos ao longo do desenvolvimento da discussão dos resultados.

5.4.1 Floresta

O perfil cultural, segundo Tavares Filho et al. (1999), constitui importante instrumento na avaliação das condições físicas do solo a partir do manejo; por isso não é indicado para analisar a estrutura do solo sob floresta, pois na interpretação de Ralish et al. (2001) o perfil cultural avalia as características das camadas superficiais e subsuperficiais antropizadas.

Alves (2007), estudando as alterações das propriedades físicas dos solos em decorrência do uso e manejo no alto curso da bacia do ribeirão Floriano, constatou por meio de descrição pedológica que no solo sob floresta tanto a drenagem como a permeabilidade eram satisfatórias; além disso, verificou que a camada de serrapilheira apresentava 15cm de espessura (FIGURA 13).

Os resultados da pesquisa de Alves mostram, ainda, serrapilheira composta por restos de vegetais, galhos e cascas de árvores semi-alteradas e impregnadas de fungos amarelados e esbranquiçados, além de grande quantidade de folhas.

Até 20cm de profundidade o perfil apresentou estrutura granular média-grande, fraco a moderado; porosidade abundante, com macroporos do tipo tubular; atividade biológica abundante e grande quantidade de raízes finas e médias, pivotantes com até 1,5cm de diâmetro. A partir de 20cm a estrutura apresentou tendência a microagregado; porosidade macro tubular e estrutural; atividade biológica comum e poucas raízes finas e pivotantes.

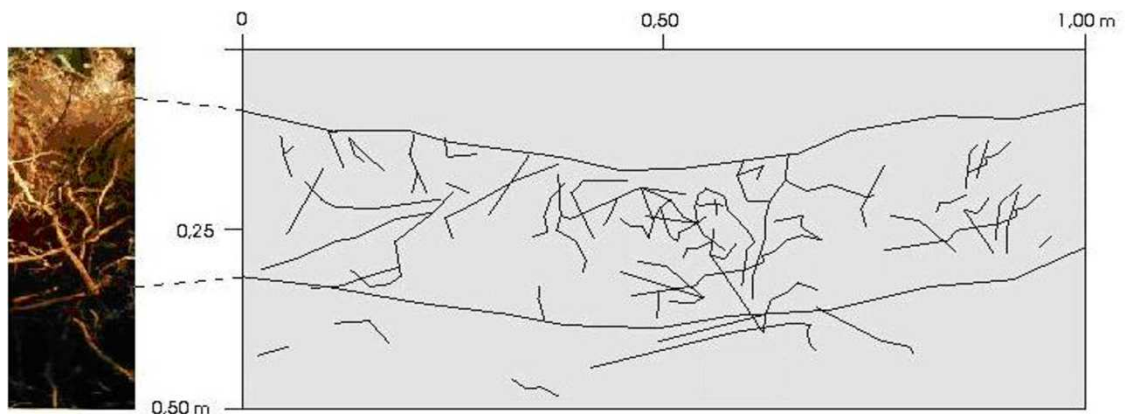


Figura 13 - Perfil pedológico do solo sob floresta da Gleba Pingüim-ribeirão Floriano. Adaptado de Alves (2007)

5.4.2 Cana-de-açúcar

A área submetida a produção da cana-de-açúcar foi utilizada, anteriormente, ao cultivo de grãos. O perfil cultural realizado no manejo do solo sob cana-de-açúcar, conforme consta na Figura 14, refletiu diferentes planos de ocorrência das estruturas e raízes, pois os volumes de solo delimitados por meio dessa metodologia mostraram especificidades distintas.

Verificou-se, nos primeiros 5cm de profundidade, presença de solo solto. Essa condição confere a esse volume estrutural homogêneo a classificação como L (livre), que por um lado, mostra existência de dinâmica eficiente nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera; por outro lado, boa infiltração da água no solo.

Os horizontes de solo identificados na seqüência, bem como as diferenças estruturais $C\Delta\mu/F\mu\Delta$ (processo de compactação, contínuo/com fissuras) demonstram ter relações com antigas operações de cultivo, sobretudo, pelo fato de que os volumes aparecem tanto em lateralidade como em profundidade. Outras literaturas confirmam a relação da alteração das propriedades do solo com históricos de pré-compressão a que o solo foi submetido.

Assim, no horizonte de solo entre 5cm e 20cm de profundidade alternaram-se ora volume estrutural contínuo (C), ora com fissuras (F); enquanto que entre 20cm a 40cm encontrou-se, apenas, o volume de solo organizado de forma C (contínuo). Nesse volume os agregados e a terra fina mostravam-se fortemente unidos, não sendo possível individualização dos torrões. Por outro lado, na estrutura $F\mu\Delta$ (processo de compactação, com fissuras) as raízes encontravam-se desenvolvidas na porosidade existente em meio aos torrões. Situações semelhantes são próprias de solos cultivados (DEXTER, 1988).

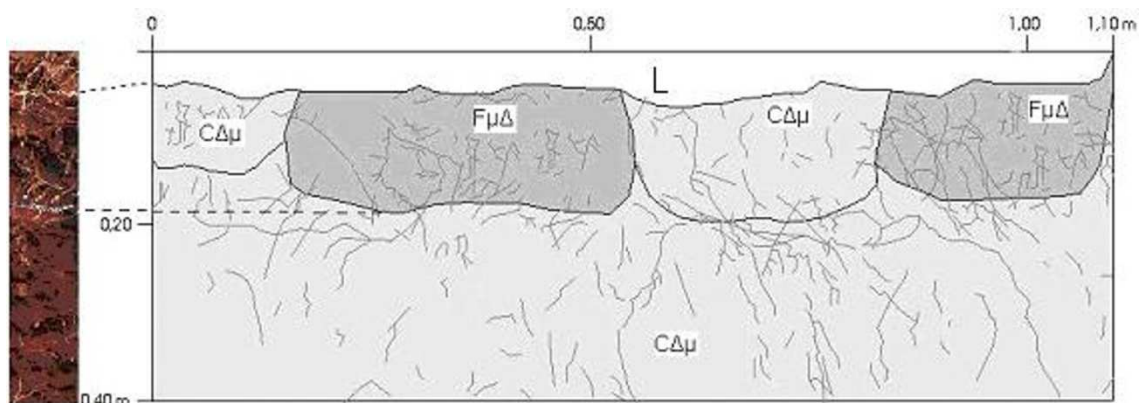


Figura 14 - Perfil cultural do solo sob manejo cana-de-açúcar. L = livre; $C\mu\Delta$ = em processo de compactação, contínuo; $F\mu\Delta$ = em processo de compactação, com fissuras

Sob esse tipo de uso agrícola o perfil cultural mostra que predominou estados estruturais com evidências de processos de compactação ($\Delta\mu$ - estado interno dos torrões compactos); contudo, na unidade morfológica $F\mu\Delta$ (processo de compactação, com fissuras) foi possível observar existência de uma possível

tentativa de auto-recuperação do solo, pois nesse volume ($F\mu\Delta$) os microagregados ($\mu\Delta$) refletem a recuperação da estrutura como função da atividade do sistema radicular.

Em ambas as unidades estruturais homogêneas ($C\mu\Delta$, $F\Delta$) na profundidade de, aproximadamente 20cm, dominaram estruturas com diferentes graus de desenvolvimento, forma e tamanho (FIGURA 15).

De um modo geral, a visibilidade dos poros a olho nu, mostrou-se dificultada, com exceção dos volumes caracterizados pela presença de fissuras ($F\mu\Delta$). Nesses, os pequenos torrões encontravam-se envoltos a grande quantidade de terra fina, conferindo-lhes aspecto de friável. A presença de raízes, em maior quantidade, nesses volumes estruturais além de demonstrar contribuir na recuperação desse solo, pareceu chamar atenção no sentido de entender que os efeitos da compactação no desenvolvimento das raízes são minimizados.

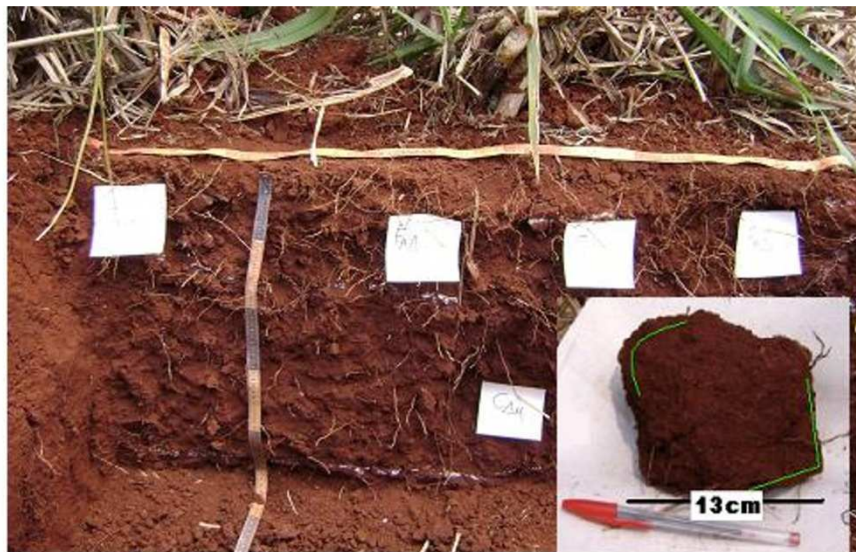


Figura 15 - Manejo do solo sob cana-de-açúcar e estrutura angular a subangular: produto de destorroamento mecânico de adensamento/compactação a 20cm de profundidade

O sistema radicular da cana-de-açúcar é indicado como recuperador de estruturas compactadas (PRIMAVESI, 1985); contudo, a descrição do perfil cultural aponta predomínio de estruturas com evidências de processos de compactação ($\Delta\mu$) decorrente de ação mecânica. Vale ressaltar sobre essa questão o histórico de pré-compressão a que esse solo foi submetido.

5.4.3 Pastagem

No manejo do solo sob pastagem o perfil cultural permitiu verificar diferenças na organização estrutural do solo. O primeiro volume homogêneo compreendeu 1cm de espessura com estrutura do tipo Z, a qual reflete situação de compactação relacionada ao pastoreio. Estruturas laminares são indesejáveis do ponto de vista da condição física do solo, uma vez que, impedem a infiltração da água da chuva e promovem carreamentos das partículas do solo para redes de drenagem decorrentes do escoamento superficial (FIGURA 16).

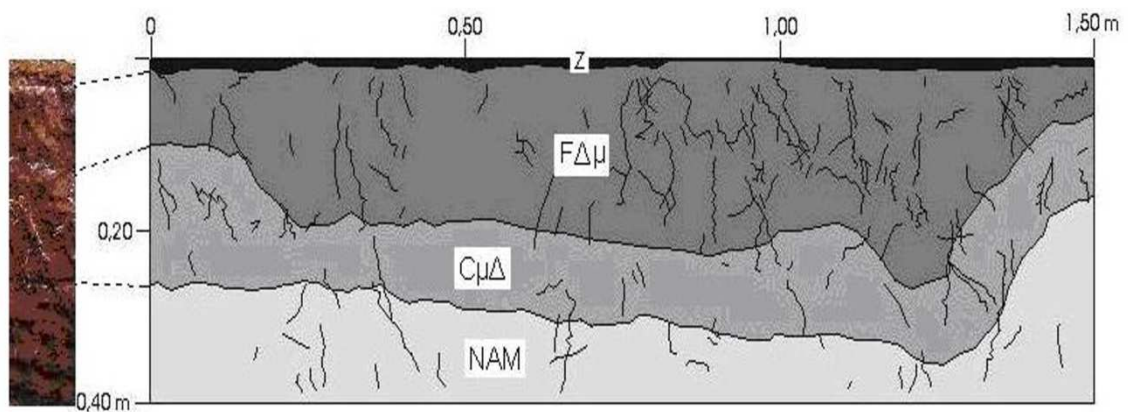


Figura 16 - Perfil cultural do solo sob manejo de pastagem. $C\mu\Delta$ = em processo de compactação, contínuo; $F\Delta\mu$ = em processo de compactação, com fissuras; NAM = não alterado pelo manejo.

A presença desse tipo de estrutura pode ter relação com o pisoteio dos animais em condições hídricas desfavoráveis, associado a ausência de gramíneas de cobertura. Nesse contexto, no que diz respeito à proteção química e física do solo a vegetação de cobertura exerce importante papel (PRIMAVESI, 1985).

A evolução das estruturas mostradas na representação esquemática deste perfil ocorreu ao longo de 2 horizontes de solo. O primeiro, do tipo $F\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras) e, abaixo deste $C\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo). Estas alterações são encontradas até 30cm de profundidade, aproximadamente.

De um modo geral, no estado interno dos torrões verifica-se forte coesão, implicando por sua vez no predomínio de estrutura do tipo prismática e blocos angulares. Além disso, na profundidade entre 15cm e 20cm ($C\mu\Delta$), constata-se efeito

do pé de grade, comumente denominada camada de aradura. Tal situação pode ser reflexo do uso dessa área para o cultivo de grãos antes da implantação da pastagem (FIGURA 17).

Aspectos morfológicos observados a partir de 30cm de profundidade na unidade homogênea não alterada pelo manejo(NAM), como estruturas do tipo angular e subangular associada à presença de cerosidade confirmaram os trabalhos de Skraba & Nakashima (2007) quanto ao tipo de solo nessa gleba.



Figura 17 - Estruturas do solo sob manejo da pastagem. A: prismática, B: blocos angulares a subangulares

Importante destacar que estruturas com fissuras descritas na primeira unidade morfológica ($F\Delta\mu$), demonstram exercer sobre as raízes uma condição satisfatória do ponto de vista de seu crescimento e desenvolvimento. Além disso, constata-se atividade biológica, uma vez que, foi encontrado oligoqueta como representante da macrofauna. De forma geral, a fauna do solo contribui por um lado para a agregação das partículas; por outro, na formação e estabilização da estrutura do solo.

5.4.4 Plantio convencional

No campo a variabilidade espacial na ocorrência das estruturas do solo sob manejos plantio convencional é mostrada na Figura 18. Nos volumes de solo

descritos naquele manejo não se encontrou agregados livres e terra fina. Esta condição do perfil demonstra implicar, por um lado na menor capacidade de infiltração da água, por outro na maior exposição do solo á erosão.

Na avaliação do modo de organização dos volumes de solo constata-se na profundidade entre 0 a 20cm estruturas fragmentadas ($F\Delta mt$ - em processo de compactação, com fissuras – médios torrões/grandes torrões) e entre 20cm a 40cm volumes com aspecto contínuo e torrões compactados em seu estado interno. Nas primeiras profundidades, além da ausência de terra solta, o estado de compactação dos torrões demonstravam impedir que as raízes o atravessassem. Além disso, nesses torrões verifica-se ausência de poros visíveis a olho nu. Já, no volume contínuo ($C\Delta\mu$) entre 20cm a 40cm as raízes cruzam os torrões.

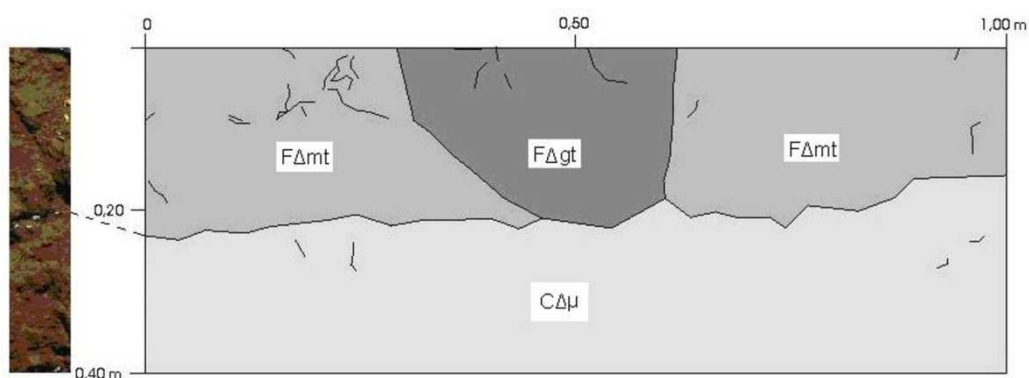


Figura 18 - Perfil cultural do solo sob plantio convencional. $F\Delta mt$ = em processo de compactação, com fissuras – médios torrões; $F\Delta gt$ = em processo de compactação, com fissuras – grandes torrões; $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo)

Os diferentes tamanhos de agregados (mt/gt) observados nesse manejo, são resultado, principalmente, do tráfego de máquinas e implementos agrícolas que promovem fracionamento dos agregados maiores em unidades menores.

Em todos os volumes, porém, de forma mais acentuada no volume $F\Delta gt$ (em processo de compactação, com fissuras), verifica-se situação de restrição na penetração das raízes. Sobre esse impedimento, estruturas compactadas são indesejáveis do ponto de vista da produtividade.

O uso de escarificadores no sistema de manejo sob plantio convencional demonstrou influenciar, negativamente, as estruturas do solo; sobretudo, pela inexistência de tempo suficiente para sua recuperação; quer dizer, o uso excessivo ou continuado do mesmo implemento promovem redução da porosidade,

compactação e fracionamento dos agregados de maior diâmetro em agregados menores (FIGURA 19).

Assim, esse sistema de manejo, ao conferir maiores quantidades de estruturas do tipo pinacoidais que, conseqüentemente, interferem na porosidade do solo, demonstra confirmar estabelecimento de processos de compactação. Contudo, independente da causa, se pedogenética e/ou manejo, de um modo geral, as estruturas do solo sob manejo plantio convencional pareceram implicar em uma memorização de forma mais acentuada, dos efeitos da mecanização ora pretérita, ora atual.



Figura 19 - Estruturas angulares – produto de destorroamento mecânico de adensamento/compactação ao longo do perfil do solo sob plantio convencional

Sobre a ausência de estruturas $\mu\Delta$ (resultado de ação biológica) pode-se inferir aspectos que permitam questionar os objetivos da escarificação, uma vez que, esse tipo de ação sobre o solo não parece demonstrar resultado positivo do ponto de vista das condições de porosidade.

5.4.5 Plantio direto

Na descrição do perfil cultural sob manejo plantio direto verifica-se, dentre os volumes de solo antropizados, os seguintes modos de organização: L (volume de solo livre), FZ (volume de solo fissurado associado à estrutura laminar), $F\Delta\mu mt$ (processo de compactação, com fissuras – médios torrões) e NAM (volume de solo

não alterado pelo manejo) nas profundidades de 2,5cm, 2,5cm, 10cm e 25cm; respectivamente (FIGURA 20).

No primeiro volume de solo (L), além da camada pulverizada em meio à serrapilheira e sem nenhuma coesão, encontra-se em maior quantidade restos de plantas de cobertura que intercalaram os ciclos de cultura da rotação praticada nesse sistema. Além disso, na camada contígua a essa (FZ) a presença de estrutura laminar com pequenos torrões, demonstram sinais de auto-recuperação desse solo (FIGURA 21a).

Essa condição reflete, por um lado, o não revolvimento total do solo associado ao tráfego de máquinas e implementos que promovem estrutura do tipo laminar (Z); por outro, a ação de raízes superficiais que influenciam, positivamente, em sua estrutura (PRIMAVESI, 1985).

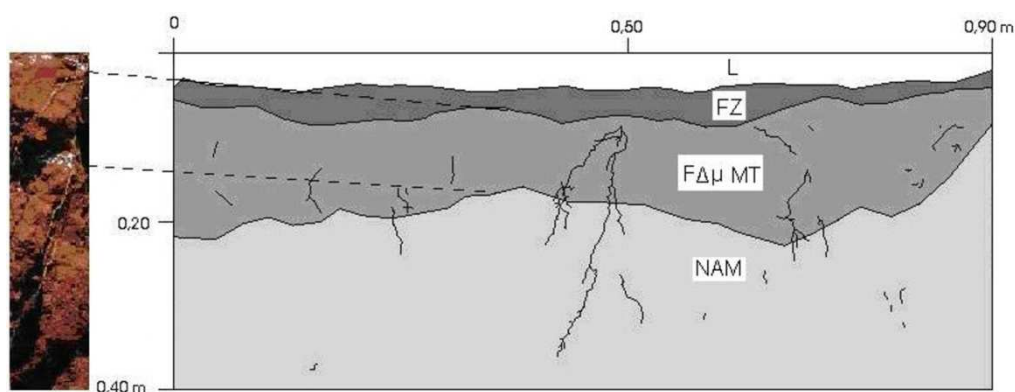


Figura 20 - Perfil cultural do solo sob manejo plantio direto. L = livre; FZ = estrutura laminar, com fissuras; F $\Delta\mu$ mt = em processo de compactação, com fissuras – médios torrões; NAM = não alterado pelo manejo

Na descrição desse perfil, além da visibilidade dos poros a olho nu, observa-se que o horizonte antropizado mais expressivo foi encontrado no volume estrutural homogêneo F $\Delta\mu$ mt (processo de compactação, com fissuras – médios torrões) entre 5cm a 15cm de profundidade. Nesse, havia quantidade significativa de radicelas, bem como raízes cruzando os agregados.

Sobre isso, Skraba & Nakashima (2007) analisando detalhadamente a cobertura pedológica dessa vertente, constataram porosidade tubular fissural e fissural para profundidades entre 0 a 30cm e 30cm a 62cm, respectivamente. Além disso, observaram atividade biológica ao longo de todo o perfil. Essa condição

parece demonstrar, do ponto de vista agrônomo, estrutura interessante, pois a capacidade de troca de água e penetração das raízes parece estar sendo privilegiada (FIGURA 21c).

A avaliação da estrutura do solo por meio do método do perfil cultural permitiu, também, observação de estruturas com ausência de angulosidades na profundidade de, aproximadamente, 15cm; concordando com a descrição pedológica desses pesquisadores (FIGURA 21b).

Apesar de haver revolvimento desse solo nos sulcos de plantio, não foi observado efeito dos órgãos ativos dos implementos (botinha), o que por sua vez demonstra que esse solo apresenta boa capacidade de auto-recuperação. A ação do sistema radicular das culturas empregadas na rotação (milho, feijão aveia preta nabo e soja) demonstra estar influenciando, positivamente, nesse processo.

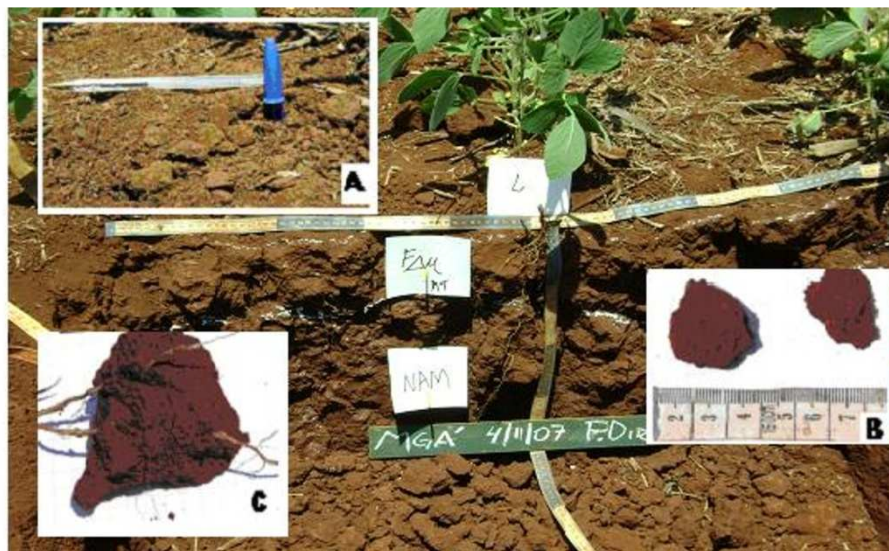


Figura 21 - Estruturas do solo sob plantio direto. A: laminar, B: grumosa, C: bloco angular a subangular

5.5 Densidade

5.5.1 Cana-de-açúcar e pastagem

Diferenças no gradiente de densidade do solo para volumes e profundidades específicas, tal qual se pode ver na Figura 22, puderam ser observadas no solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem.

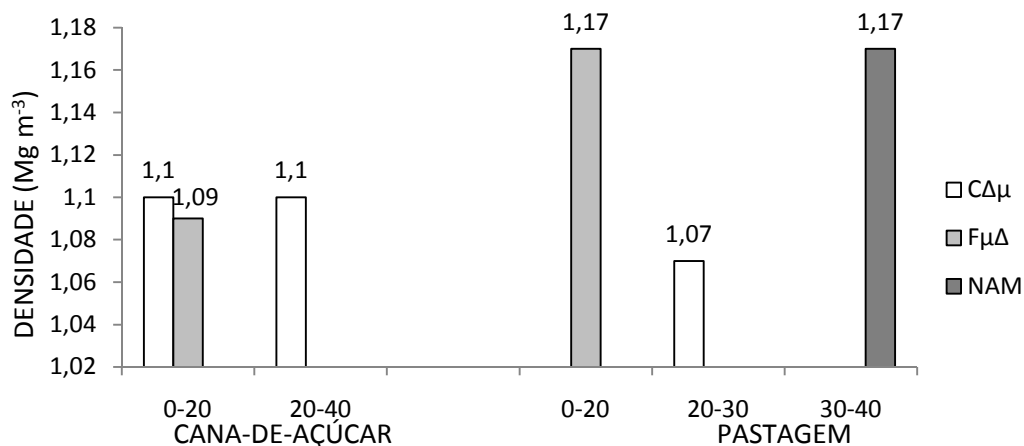


Figura 22 - Densidade do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: CΔμ (em processo de compactação, contínuo), FμΔ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

Para o solo sob manejo da cana-de-açúcar o volume estrutural homogêneo CΔμ (processo de compactação, contínuo) encontrado na profundidade entre 0 a 20cm apresentou densidade de $1,1\text{Mg m}^{-3}$, enquanto que no volume FμΔ (processo de compactação, com fissura), encontrado na mesma profundidade, a densidade mostrou-se menor ($1,09\text{Mg m}^{-3}$). Essas diferenças podem ter relação com histórico de pré-compressão a que o solo foi submetido.

Apesar de não serem densidades críticas, essas diferenças na densidade do solo, tanto em lateralidade como em profundidade, permitem inferir que tanto processos de aeração como infiltração e drenagem ocorrem de forma específica às densidades de cada volume.

A densidade do solo pode ter relações com históricos de pré-compressão associado a usos que incidam sobre o solo excesso de esforços mecânicos. Neves et al. (2003), trabalhando a metodologia do perfil cultural em solo argiloso sob uso da cana-de-açúcar, encontraram maiores densidades para unidades morfológicas homogêneas fissuradas e com estado interno dos torrões compactados (FΔ). Nesses volumes esses pesquisadores encontravam valores de até $1,42\text{Mg m}^{-3}$ de densidade.

Essas diferenças de densidade em profundidade e lateralidade do perfil, verificadas para o solo sob manejo da cana-de-açúcar também foram encontradas na pastagem, ou seja, os volumes FΔμ visto entre 0 a 20cm de profundidade e NAM observado entre 30cm e 40cm, apresentaram maior densidade: ($1,17\text{Mg m}^{-3}$) em

relação ao volume $C\Delta\mu$ (20cm – 30cm). Os valores de densidade podem variar em razão de carga animal e cobertura degradada do solo.

Sobre esses resultados de densidade o baixo índice de cobertura vegetal verificado *in loco*, pode promover alterações na estrutura do solo (deficiência $\Delta\mu$ física) que tanto podem refletir-se em volumes estruturais $F\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo) com $1,17\text{Mg m}^{-3}$, como em volumes $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo) com $1,07\text{Mg m}^{-3}$.

De um modo geral, esses valores de densidade do solo se explicam, provavelmente, pelo tipo de sistema poral, isto é, apesar dos valores de densidade serem próximos, o sistema poral pode ser diferente, decorrente de unidades estruturais também diferentes, ou seja, estruturas em blocos maiores podem gerar fissuras mais largas (abertas), enquanto que em blocos menores essas fissuras podem ser mais numerosas e mais final.

5.5.2 Floresta, Plantio convencional e plantio direto

Na Figura 23 são mostradas as densidades do solo cultivado com grãos nos manejos com e sem revolvimento da terra (plantio convencional, plantio direto). No sistema convencional os volumes estruturais homogêneos $F\Delta\mu\text{mt/gt}$ (em processo de compactação, com fissuras – médios torrões/grandes torrões), verificados na profundidade entre 0 a 20cm, apresentaram densidades entre $1,32\text{Mg m}^{-3}$ e $1,23\text{Mg m}^{-3}$, respectivamente; porém, na profundidade entre 20cm e 40cm constata-se menor densidade no manejo plantio direto ($1,16\text{Mg m}^{-3}$).

O aumento da densidade do solo, na profundidade entre 20cm a 40cm, parece demonstrar efeitos negativos da mecanização agrícola. No geral, os pesquisadores atribuem o aparecimento de camadas mais compactadas, pé-de-grade ou camada de aradura (aproximadamente 20cm de profundidade), ao constante trabalho do solo, tráfego de maquinário e tratos culturais (TORMENA & ROLOFF, 1996).

Outro aspecto relevante nesse manejo consiste na forma de ocorrência das estruturas compactadas, que além de diferirem em profundidade, também, apresentam-se distintas em sua lateralidade. Assim, constata-se que no volume

estrutural homogêneo $F\Delta gt$ maior densidade do solo ($1,32\text{Mg m}^{-3}$) em relação àquela encontrada na unidade $F\Delta mt$.

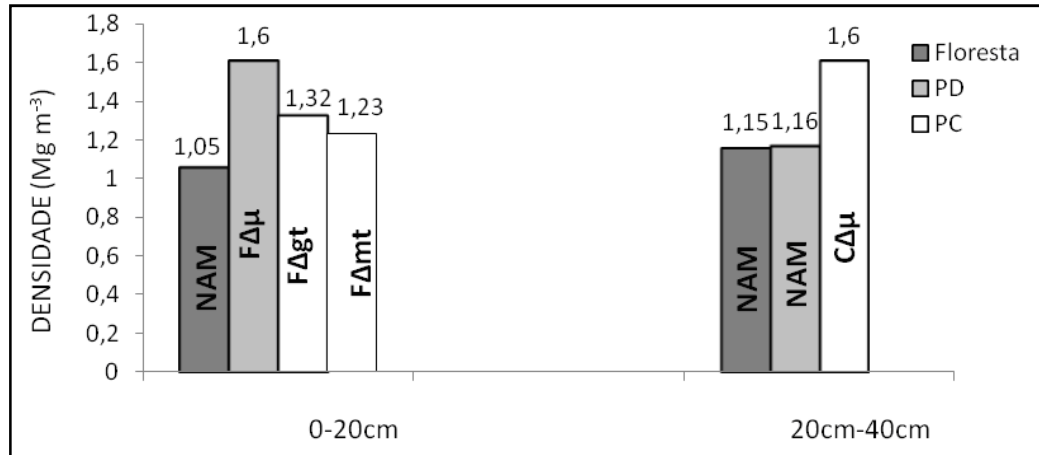


Figura 23 – Floresta, plantio convencional e plantio direto - densidade nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta gt/mt/\Delta\mu$ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), $C\Delta\mu$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo)

As diferentes densidades para os volumes de solo amostrados no manejo convencional, por um lado, demonstra refletir que as alterações nas propriedades do solo ocorrem lateral e verticalmente; por outro lado, a ação de implementos como escarificadores, arados de aiveca e/ou disco, se manifestam em geral, tanto na densidade do solo como no volume e distribuição de tamanho dos poros.

Para o solo sob manejo plantio direto verifica-se maior densidade em sua parte superior, que por sua vez, pode estar relacionado tanto com o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, os quais promovem modificações no tamanho dos agregados do solo, como com a intensidade de uso desse solo (ABRÃO et al., 1979).

A maior densidade ($1,6\text{Mg m}^{-3}$) verifica-se na profundidade entre 5cm a 15cm, para o volume homogêneo de solo com fissuras e estado interno dos torrões compactados ($F\Delta\mu$). Na camada de solo mais profunda, entre 15cm a 40cm, foi encontrado $1,16\text{Mg m}^{-3}$ de densidade, que por sua vez, corresponde aquela encontrada no solo sob floresta para a mesma profundidade ($1,15\text{Mg m}^{-3}$).

Sobre a menor densidade verificada a partir dos 15cm de profundidade, outros estudos mostram que o sistema semeadura direta ora mantém, ora melhora

as propriedades físicas do solo, perturbando o mínimo sua estrutura (SIDIRAS et al., 1984).

Os maiores valores de densidade do solo encontrados na presente pesquisa para a profundidade até 20cm, demonstram ter relação com o efeito cumulativo de tráfego de máquinas e da ausência de mobilização mecânica do solo. No que diz respeito ao tráfego, sua associação com a umidade, estão entre os principais fatores responsáveis pelas alterações das propriedades físicas do solo, em especial a densidade (COLOMBANO, 2004).

O aumento da densidade do solo, tanto para o solo cultivado como para o solo sob floresta (20cm a 40cm), pode apresentar relação com as pressões exercidas pelas camadas superiores podendo promover compactação pela redução da porosidade. Além disso, a movimentação de material fino dos horizontes superiores também pode contribuir nesse processo (HILLEL, 1998).

5.6 Carbono orgânico

Encontra-se na Tabela 7 a caracterização química do solo (carbono orgânico, potássio) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm e seus respectivos volumes estruturais homogêneos (NAM , $C_{\mu\Delta/\Delta\mu}$, $F_{\Delta\mu/\mu\Delta}$). A quantificação da distribuição deu-se segundo os volumes estruturais homogêneos delimitados através da metodologia do perfil cultural para cada manejo.

5.6.1 Cana-de-açúcar e pastagem

Verifica-se, de um modo geral, que o tipo de manejo influencia a produção de biomassa. No solo sob cana-de-açúcar os teores de carbono orgânico superaram àqueles apresentados pela pastagem, ou seja, o valor mais elevado de carbono orgânico constata-se na profundidade de 0 a 20cm do solo ($20,8g\ dm^{-3}$); decrescendo à medida que aumenta essa profundidade. A exceção desse comportamento ocorreu no volume estrutural $C_{\Delta\mu}$ (em processo de compactação, contínuo) o qual apresentou $14,02g\ dm^{-3}$ na profundidade entre 0 a 20cm (FIGURA 24).

Essa maior quantidade de carbono orgânico encontrado nas primeiras profundidades em relação ao conteúdo presente nas profundidades entre 20cm a 40cm decorre, principalmente, das substâncias mortas no solo, tanto de plantas como de microrganismos e excreções da fauna terrícola. Além disso, o tipo de gramínea também pode contribuir nesse processo, em razão da maior e/ou menor densidade do sistema radicular.

Tabela 7 - Caracterização do solo (C-carbono orgânico) sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto na Gleba Pinguim-ribeirão Floriano, a partir de amostras coletadas nos volumes estruturais homogêneos (VEH)

VEH	Profundidade cm	C g dm ⁻³
FLORESTA		
NAM	0-20	15,57
	20-40	16,2
CANA-DE-AÇÚCAR		
CΔμ	0-20	14,02
FμΔ		20,8
CΔμ	20-40	14,14
PASTAGEM		
FΔμ	0 – 20	18,86
CμΔ	20 – 30	11,61
NAM	30 - 40	9,39
PLANTIO CONVENCIONAL		
FΔmt	0-20	21,52
FΔgt		19,41
CΔμ	20-40	7,05
PLANTIO DIRETO		
FΔμ	5 - 15	14,14
NAM	15-40	8,44

CμΔ/Δμ = em processo de compactação, contínuo; FΔμ/μΔ = em processo de compactação, com fissuras; NAM = não alterado pelo manejo.

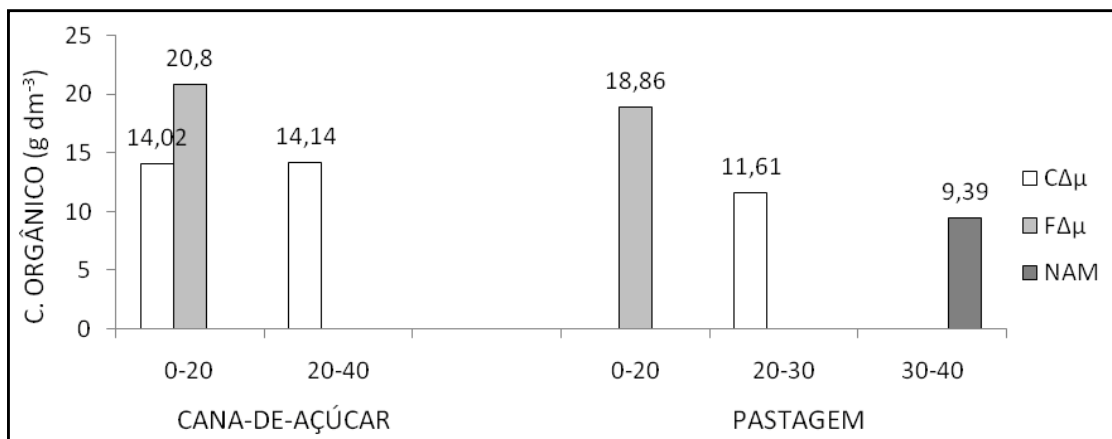


Figura 24 - Teor de carbono orgânico do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: CΔμ (em processo de compactação, contínuo), FΔμ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

GÓES et al. (2005), pesquisando efeitos do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados, mostrou diminuição do teor de carbono orgânico conforme o tempo de manejo.

Sobre a concentração do teor de carbono orgânico no solo sob pastagem constata-se ao longo do perfil valor mais elevado na profundidade entre 0 a 20cm (18,86g dm⁻³) com consecutivos decréscimos à medida que se tem aumento da profundidade desse perfil: 20cm a 30cm – 11,61g dm⁻³; 30cm a 40cm – 9,39g dm⁻³, respectivamente.

Essas diferenças no conteúdo de carbono orgânico podem, também, apresentarem relação com o tempo de implantação da pastagem e a espécie de gramínea de forração. Nesse estudo fica evidente que a maior quantidade (18,86g dm⁻³) encontrada na profundidade 0 a 20cm (FΔμ) parece indicar significativo efeito da ação das raízes (mais densa na superfície) sobre o conteúdo desse elemento no solo.

De um modo geral a quantidade de matéria orgânica pode receber influências, tanto da ação conjunta da energia solar e umidade atmosférica; como do sistema radicular das gramíneas forrageiras.

5.6.2 Floresta, plantio convencional e plantio direto

Na Figura 25 estão os dados referentes ao teor de carbono orgânico para os solos sob floresta, plantio convencional e plantio direto. Sobre a concentração desse

elemento observa-se, de um modo geral, maior quantidade nas primeiras profundidades dos perfis.

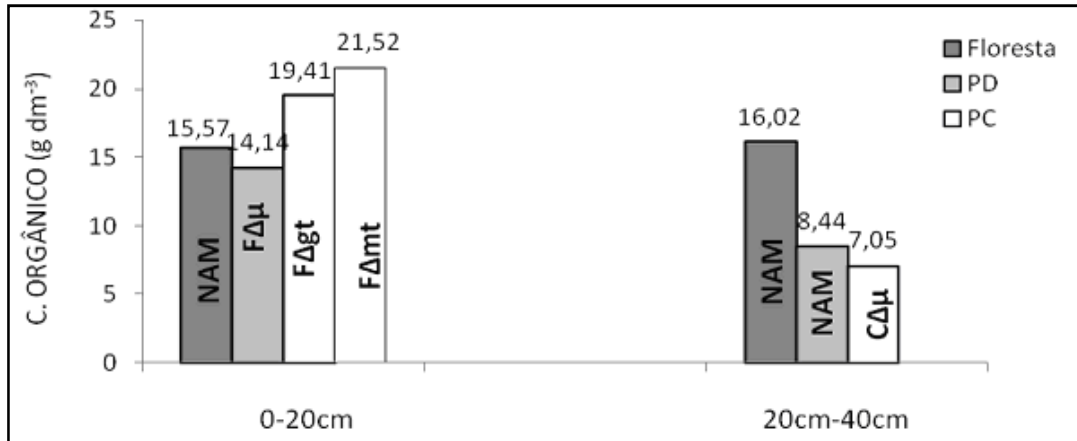


Figura 25 – Teor de carbono orgânico do solo sob floresta, plantio convencional e plantio direto nos volumes estruturais homogêneos: FΔgt/mt/Δμ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), CΔμ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo)

Na distribuição do teor de carbono orgânico para o manejo plantio convencional, em um mesmo volume de solo (F) nas profundidades entre 0 a 20cm verificou-se 19,41g dm⁻³ para grandes torrões (FΔgt) e 21,52g dm⁻³ para médios torrões (FΔmt). Apesar das diferenças serem pequenas, pode ter relação com a intensidade de revolvimento do solo, com os efeitos da erosão hídrica e com os fatores que afetam a atividade microbiana e exposição da matéria orgânica aos microrganismos (AITA & GIACOMINI, 2007; TISDALL & OADES, 1982).

Por outro lado, a disposição da palha seca sobre o solo de forma desigual, ou seja, ora excesso, ora ausência de restos culturais pode colaborar para justificar essas diferenças (FIGURA 26).

Na profundidade entre 20cm a 40cm para o volume de solo contínuo e torrões apresentando estado interno em processo de compactação (CΔμ) encontra-se 7,05g dm⁻³ de carbono orgânico. A distribuição desse elemento, além de não parecer homogênea em profundidades iguais, também difere conforme o tipo de volume estrutural do solo. Contudo, constata-se que sua concentração predomina na profundidade entre 0 a 20cm, o que por sua vez, deve-se ao fato desta existir em parte como folha, acúmulo de restos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas.



Figura 26 – Manejo convencional com sucessão das culturas de soja e milho. Ausência de homogeneidade na distribuição dos restos culturais

Sobre a distribuição do carbono orgânico nos volumes estruturais homogêneos do solo sob manejo do plantio direto ($F\Delta\mu$ - em processo de compactação, com fissuras; NAM - não alterado pelo manejo) verifica-se maior concentração na camada de 0 a 15cm ($F\Delta\mu$ - em processo de compactação, com fissuras) com $14,14g\ dm^{-3}$. A homogeneidade na distribuição dos restos culturais sobre o solo pode estar contribuindo (FIGURA 27).

Tal homogeneidade pode refletir tanto aspectos da cobertura permanente do solo viabilizado pela rotação de culturas, como ao fornecimento continuado de material orgânico, quer por secreções radiculares, quer por renovação do sistema radicular e da parte aérea, ou dos resíduos de colheita.

Analisando-se o teor de carbono orgânico encontrado no solo sob floresta constata-se que as quantidades não diferem em profundidade. Verificou-se entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm $15,57g\ dm^{-3}$ e $16,02g\ dm^{-3}$, respectivamente. Esta condição além de refletir a grande quantidade de raízes presentes nesse solo apresenta relação com as condições climáticas como temperatura e ocorrência de chuvas.

As maiores quantidades de carbono orgânico verificadas para o solo sob manejo plantio convencional, em relação ao plantio direto e à floresta, justificam-se em razão do revolvimento do solo que promove maior contato entre as partículas do solo (AITA & GIACOMINI, 2007). Além disso, a profundidade da coleta das amostras constitui-se variável a ser considerada, pois esse elemento se concentra nos primeiros 5cm de profundidade (SALTON, 2005).



Figura 27 - Homogeneidade na distribuição dos restos culturais (palhada) em sistema e manejo plantio direto com rotação das culturas trigo/triticale-milho-feijão/aveia-soja precoce-milho safrinha- soja ciclo normal)

5.7 Estabilidade dos agregados do solo via úmida

Na tabela 8 são exibidas diferentes dados da estabilidade estrutural dos agregados para o solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto. Observa-se, de um modo geral, situações distintas quanto à capacidade dos agregados desses solos em se manterem estáveis quando submetidos à presença da água.

A estabilidade dos agregados do solo encontra-se vinculada, por um lado aos componentes da fase sólida do solo como minerais primários (hematita, magnetita, rutilo) e secundários (goetita, gibbsita) reconhecidos como agentes persistentes; por outro lado, por agentes temporários representados pelas hifas de fungos e agentes transitórios como polissacarídeos produzidos a partir de microorganismos (TISDALL & OADES, 1982).

Pesquisas mais recentes mostram que o grau de cristalinidade dos minerais do solo não são semelhantes (SILVA et al., 2000; COSTA, 2002). Minerais amorfos e/ou cristalinos, identificados a partir de métodos distintos de extração dos elementos químicos (ditionito de sódio e oxalato de sódio), influenciam na estabilidade dos agregados (FERREIRA, 2007).

Tabela 8 - Distribuição da massa de solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto, quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos (VEH): C $\Delta\mu$ / $\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), F $\mu\Delta$ / $\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

Prof. cm	VEH	>8mm	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	<0,25mm
% (*)								
Floresta								
00 - 20	NAM	32,69	14,38	12,58	10,98	14,31	7,13	7,94
20 - 40		31,58	11,9	9,74	14,23	16,7	8,82	7,03
Cana-de-açúcar								
00 - 20	C $\Delta\mu$	30,08	12,43	9,2	12,58	16,95	10,08	8,7
00 - 20	F $\mu\Delta$	17,79	3,6	1,68	8,22	10,85	12,76	45,11
20 - 40	C $\Delta\mu$	2,28	11	12,53	17,47	16,46	10,01	30,25
Pastagem								
00 - 20	F $\Delta\mu$	60,39	7,93	5,05	4,63	2,94	2,28	16,78
20 - 30	C $\mu\Delta$	64,38	13,58	8,34	5,89	3,77	2,17	1,87
> 30	NAM	31,58	18,73	15,21	12,11	8,37	6,17	7,83
Plantio convencional								
00 - 20	F Δ gt	56,29	10,26	8,8	9,84	7,08	3,15	4,58
00 - 20	F Δ mt	54,3	10,77	9,19	11,72	7,94	2,47	3,62
20 - 40	C $\Delta\mu$	12,08	14,82	21,53	21,96	14,53	7,38	7,7
Plantio direto								
5 - 15	F $\Delta\mu$	62,04	10,04	7,58	9,06	5,9	3,24	2,14
15 - 40	NAM	12,2	13,14	15,14	23,55	17,82	9,33	8,82

(*)Solo seco: floresta - NAM 80,39; NAM 80,49; cana-de-açúcar - C $\Delta\mu$ 65,60; F $\mu\Delta$ 64,99; C $\Delta\mu$ 78,24; pastagem - F $\Delta\mu$ 67,10; C $\mu\Delta$ 64,15; NAM 63,23; plantio convencional - F Δ gt 82,82; F Δ mt 83,79; C $\Delta\mu$ 76,46; plantio direto - F $\Delta\mu$ 84,20; NAM 80,26;

5.7.1 Cana-de-açúcar e pastagem

Sobre a distribuição da massa de solo no manejo da cana-de-açúcar, quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água, no volume estrutural homogêneo (VEH) em processo de compactação, contínuo (C $\Delta\mu$), verifica-se homogeneidade tanto em ordem decrescente (>8mm para <0,25mm) na quantidade de massa retida nas peneiras; como homogeneidade em ordem crescente para o mesmo volume entre 20cm a 40 cm de profundidade (FIGURA 28).

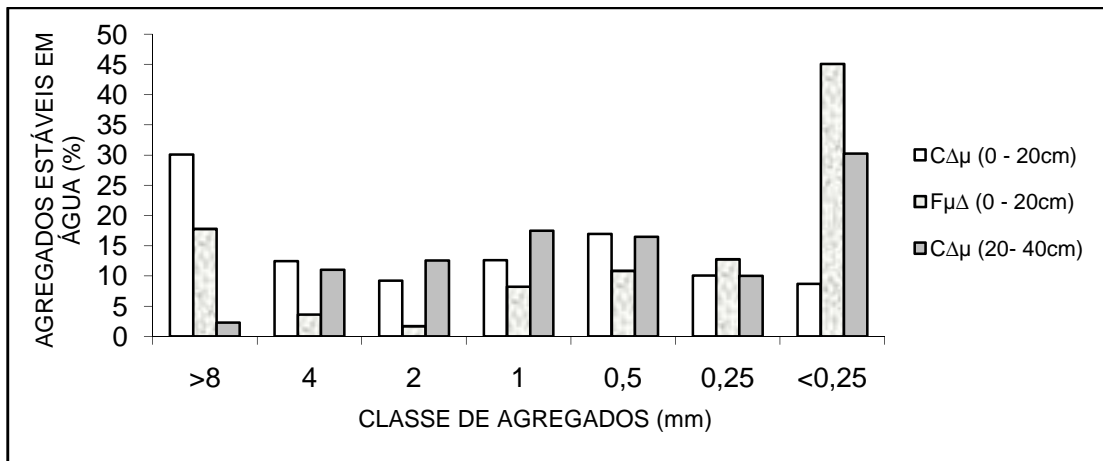


Figura 28 – Solo sob cana-de-açúcar e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos: CΔμ (em processo de compactação, contínuo) e FμΔ (em processo de compactação, com fissuras)

Nas peneiras referentes à profundidade entre 0 a 20cm do volume FμΔ (processo de compactação, com fissuras), verifica-se quantidades diferentes de solo retido em cada abertura de malha das peneiras (8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm e 0,25mm).

Considerando-se a quantidade de massa de solo retida referentes aos volumes FμΔ (0-20cm) e CΔμ (20cm-40cm) na peneira com malha menor que 0,25mm em relação à malha maior que 8mm, pode-se inferir que para esses volumes o solo demonstra ter sua estabilidade comprometida, pois na literatura é apontado que grande quantidade de agregados pequenos corresponde a menores graus de estabilidade dos mesmos (TISDALL & OADES, 1982).

Na pastagem os diferentes graus de organização da massa do solo indicam que, considerando apenas a massa de solo nas estruturas menores que 0,25mm, verifica-se que o volume estrutural homogêneo FΔμ (em processo de compactação, com fissuras), na profundidade de 0 a 20cm, apresentou 16,78% da massa de solo organizada nesta classe de microagregados; contrastando com os volumes de profundidades maiores (NAM, CμΔ), os quais apresentaram 7,83% e 1,87%, respectivamente. A melhor condição de estabilidade desses volumes deve-se, provavelmente, pela ausência de revolvimento do solo (FIGURA 29).

Por outro lado, a massa de solo organizada em macroagregados maiores que 8mm, atingem valores superiores a 30% no volume estrutural homogêneo NAM (não alterado pelo manejo). Sobre essa classe de agregados observa-se que nas profundidades entre 0 a 20cm (FΔμ) e 20cm a 30cm (CμΔ) estão as estabilidades

dos agregados que se aproximam a 60,40% e 64,38%, respectivamente. Dessa análise parece ficar evidente efeitos da atividade radicular na formação de macroagregados.

Para facilitar a análise dos resultados referentes à distribuição dos agregados, quando submetidos à presença da água, utilizou-se o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) que pode variar de acordo com o tipo de clima, solo, vegetação e manejo.

Na Figura 30 constam os resultados desses diâmetros em razão tanto dos diferentes volumes estruturais homogêneos, como das profundidades. Para o manejo da cana-de-açúcar, nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm foram encontrados agregados com 5,45mm, 2,97mm e 1,8mm de DMP, respectivamente.

Da mesma forma, no manejo da pastagem, os maiores diâmetros foram encontrados nos volumes de solo entre 0 a 30cm ($F\Delta\mu/C\mu\Delta$) com 8,9mm e 9,88 mm, respectivamente; mostrando-se superior ao encontrado no volume NAM (6,12mm).

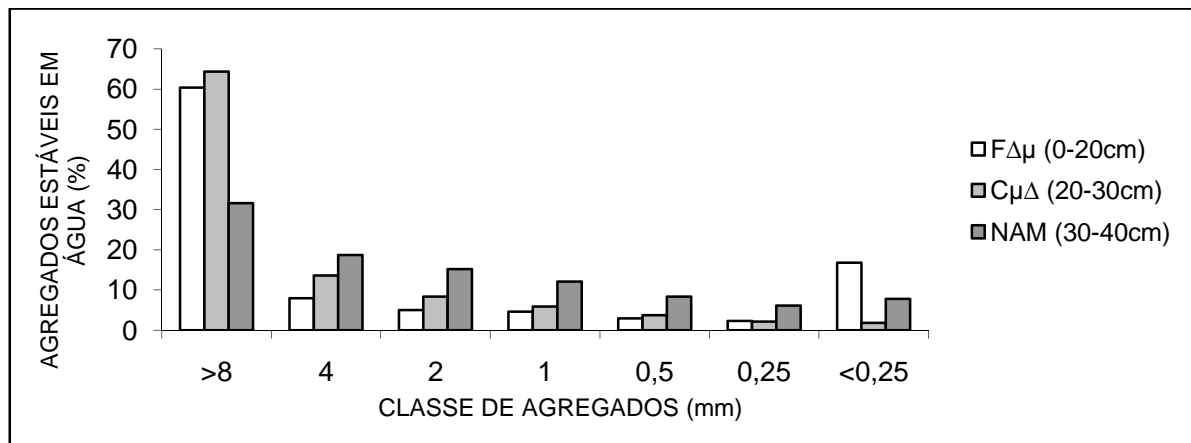


Figura 29 – Solo sob pastagem e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: $F\Delta\mu$ (em processo de compactação, com fissuras), $C\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo)

Os maiores DMPs (8,9mm, 9,88mm) foram observados entre 0 a 20cm de profundidade, onde o teor de carbono orgânico mostrou-se mais significativo (18,86g dm^{-3} , 11,61g dm^{-3}), quando comparados àqueles presentes na profundidade entre 30cm a 40cm (6,12mm) com teor de carbono de 9,39g dm^{-3} . Esses resultados demonstram refletir os teores de matéria orgânica e distribuição de raízes.

A capacidade do solo em manter sua estrutura sob a ação da água pode ser influenciada por diferentes agentes de agregação, a saber: matéria orgânica, óxidos de ferro e conteúdo de argila (MURTI et al., 1977).

Sobre a estabilidade estrutural, Tisdall & Oades (1982) sugerem que a matéria orgânica está entre as principais substâncias ligantes, mas, numa fase inicial, a formação de microagregados (< 0,25mm) está relacionada mais intensamente à interação da matéria mineral entre si. Posteriormente, a influência do crescimento das raízes, hifas de fungos juntamente com material vegetal, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas como macroagregados estáveis (> 0,25mm).

Dessa forma, na avaliação do índice de estabilidade estrutural do solo é importante considerar processos biológicos e físicos-químicos. Na profundidade entre 0 a 20cm o solo sob os manejos da cana-de-açúcar e pastagem apresentou estabilidade de 91% ($C\Delta\mu$) e 83% ($F\mu\Delta$), respectivamente. Contudo, nas profundidades seguintes verificou-se situação inversa, ou seja, 92% (NAM) para o solo sob o manejo da pastagem e 70% ($C\Delta\mu$) para o solo sob o manejo da cana-de-açúcar (FIGURA 31).

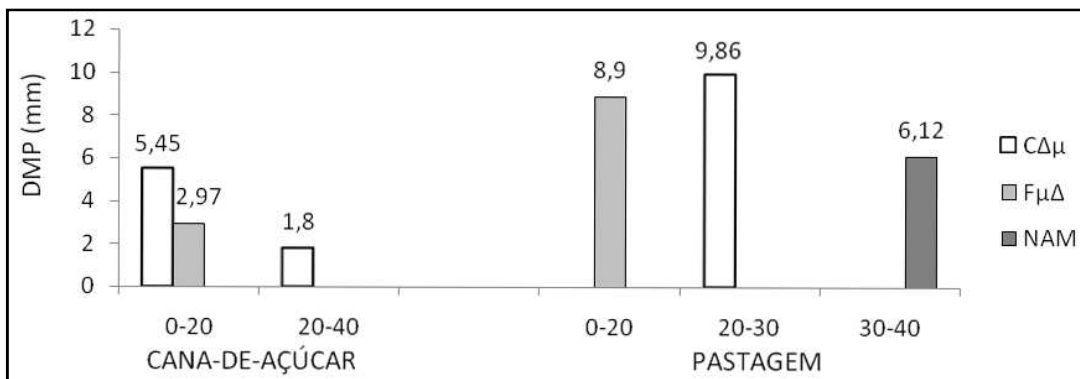


Figura 30 - Diâmetro Médio Ponderado (DMP) de agregados estáveis em água do solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes estruturais homogêneos: $C\Delta\mu/\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras e NAM (não alterado pelo manejo)

Portanto, considerando-se a variável manejo verifica-se que a cana-de-açúcar conferiu maiores índices de estabilidade aos agregados do solo para profundidades entre a 0 20cm, enquanto que para o solo sob pastagem essa mesma condição foi

verificada entre 30cm a 40cm de profundidade, especificamente, para o volume de solo não alterado pelo manejo (NAM).

Sobre as interferências na estabilidade dos agregados do solo em decorrência do manejo, índices baixos de estabilidade do agregado são atribuídos aos consecutivos preparos do solo com implementos agrícolas (SALTON, 2005; CASTRO FILHO, 2001).

Dentre os constituintes da fase sólida do solo a matéria orgânica, formada a partir de resíduos orgânicos, exerce função agregadora. Por isso, sua presença e/ou ausência implica em diferentes tipos de estruturas no solo; ora fraca, ora forte.

Sobre a influência desses elementos nos índices de estabilidade dos agregados do solo sob os manejos da cana-de-açúcar e pastagem, verifica-se que na profundidade entre 0 a 20cm há relação entre estabilidade e quantidade de carbono orgânico. Nessa profundidade, para os volumes de solo ($C\Delta\mu/F\Delta\mu$), o índice de estabilidade foi de 91% e 83% com $21g\ dm^{-3}$ e $19g\ dm^{-3}$ de carbono orgânico e (FIGURA 32).

A mesma situação não se verificou para a profundidade entre 20cm a 40cm. No solo sob os manejos da pastagem e cana-de-açúcar o índice de estabilidade nos volumes NAM/ $C\Delta\mu$ foi de 92% e 70% com $12g\ dm^{-3}$ e $14g\ dm^{-3}$ de carbono orgânico, respectivamente.

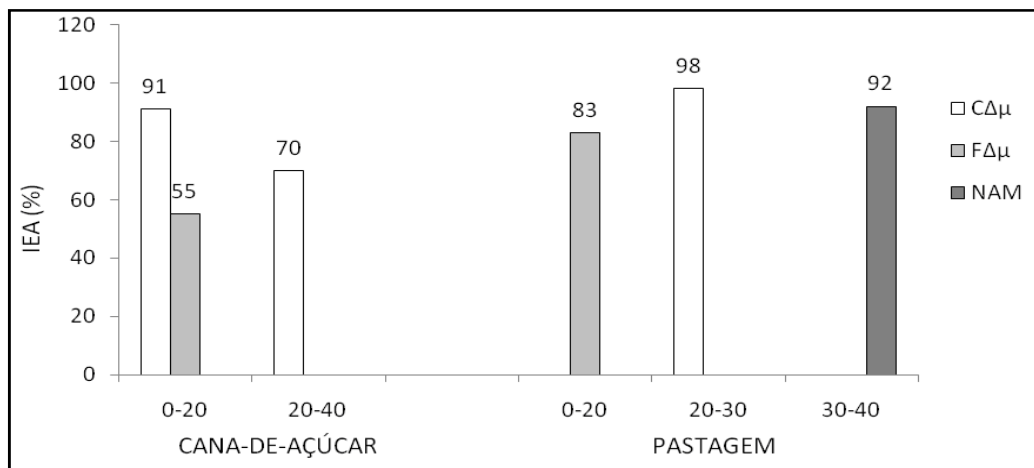


Figura 31 - Índices de estabilidade de agregados (IEA) no solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem em seus diferentes volumes estruturais: $C\Delta\mu/\mu\Delta$ (em processo de compactação, contínuo), $F\mu\Delta$ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo) nas profundidades de 0 a 20cm e 20 a 40 cm

Sobre a ausência de correlação positiva entre a matéria orgânica e a estabilidade dos agregados para as profundidades do solo analisadas nesses manejos, Tisdall & Oades (1982) registram que nem sempre são positivas, pois somente parte da matéria orgânica é responsável pela estabilidade dos agregados; além disso, a matéria orgânica não é o maior agente ligante.

Sobre esses resultados infere-se que além dos processos biológicos outros fatores contribuem para a estabilidade da estrutura do solo, ou seja, as influências de elementos químicos (minerais oxídicos) demonstraram contribuir para a estabilidade dos agregados na profundidade entre 20cm a 40 centímetros (FIGURA 33).

Nessa profundidade o solo sob manejos da pastagem e da cana-de-açúcar apresentou 92% e 70% de estabilidade com 133g Kg^{-1} e 117g Kg^{-1} de óxido de ferro; 9g Kg^{-1} e 7g Kg^{-1} de óxido de alumínio, respectivamente.

Nessa pesquisa a estabilidade dos agregados do solo para a profundidade de 20cm a 40cm pode estar sendo influenciada pelas formas em que se apresenta o ferro. Sobre essa questão, Murti et al. (1977) e Chesters (1957) desenvolvendo estudos sobre a estabilidade dos agregados constataram existência de influência dos óxidos na estabilidade dos agregados do solo.

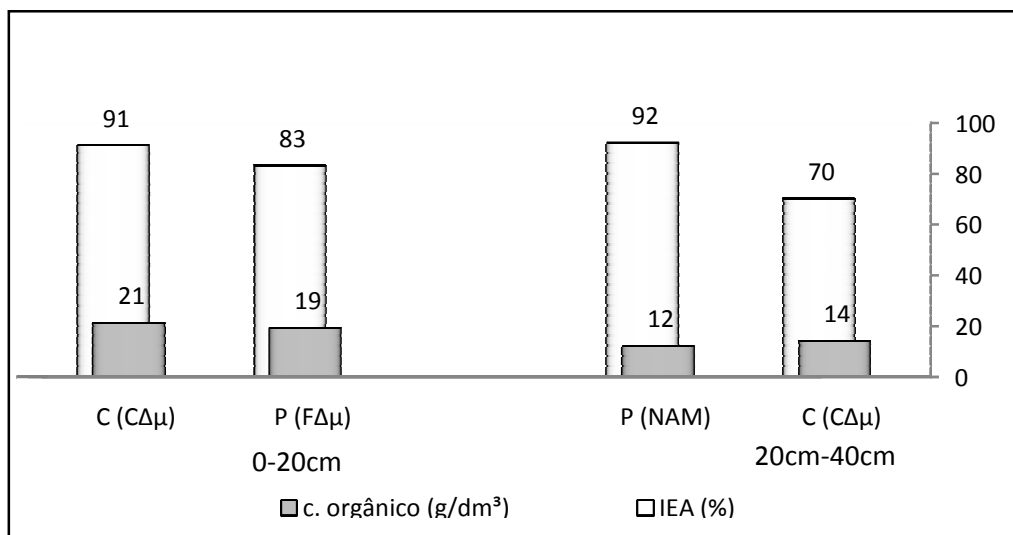


Figura 32 - Influência da matéria orgânica no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob manejos cana-de-açúcar (C) e pastagem (P) nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40 centímetros nos volumes: CμΔ/FΔμ (processo de compactação, contínuo/com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

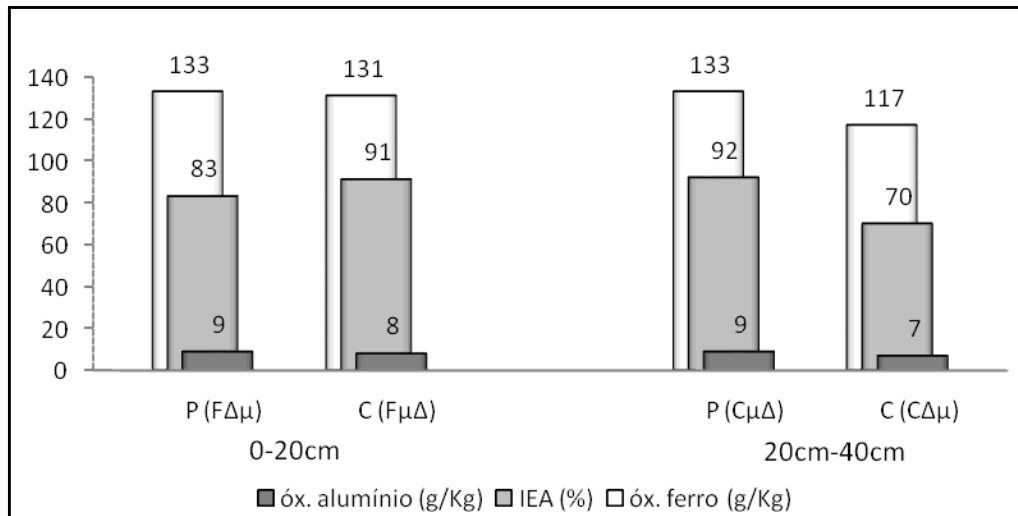


Figura 33 - Influência dos óxidos de ferro e alumínio no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob manejos cana-de-açúcar (C) e pastagem (P) nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40 centímetros nos volumes: CμΔ/FΔμ (processo de compactação, contínuo/com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

5.7.2 Floresta, plantio convencional e plantio direto

Na figura 34 encontra-se os resultados da estabilidade dos agregados no volume de solo visualmente não alterado pelo manejo (NAM) do solo sob floresta, encontrados na profundidade entre 0 a 40cm. Tanto na profundidade de 0 a 20cm como 20cm a 40cm, na peneira de malha maior (>8mm) observa-se maior quantidade de massa de solo retida, sê comparada àquela de malha menor (<0,25mm).

Nesse solo a capacidade de agregação demonstra ser igual ao longo do perfil, bem como eficiente, pois há presença de maior quantidade de agregados na peneira de maior malha.

As medidas de agregados do solo sob plantio convencional e direto que expressam seu grau de estabilidade em água são mostradas nas Figuras 35 e 36. De um modo geral, verifica-se que em ambos predominou maior estabilidade nos agregados localizados nas primeiras profundidades do perfil (0 a 20cm).

Esta condição parece apresentar relação com a adição de resíduos orgânicos após as colheitas, e da proteção superficial do solo pela palhada, ora mais no plantio direto, ora menos no convencional.

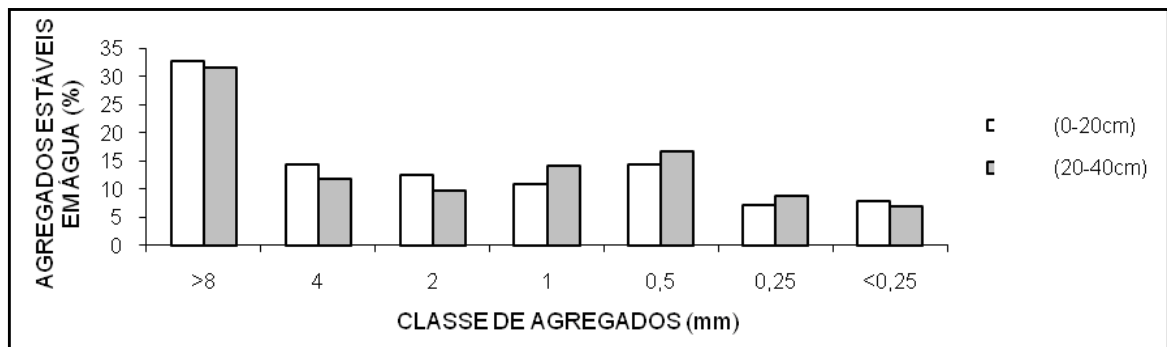


Figura 34 – Solo sob floresta e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, no volume estrutural homogêneo: NAM (não alterado pelo manejo)

No manejo convencional o volume estrutural homogêneo com fissuras e torrões com estado interno compactados ($F\Delta$) encontrado na profundidade entre 0 a 20cm, tanto os grandes torrões (gt) como médios torrões (mt), destacam-se por apresentarem 56,30% e 54,30%, respectivamente, de massa de solo retida na peneira com malha maior que 8mm.

Já na peneira com malha menor que 0,25mm, permaneceram, apenas, 4,5% e 3,6% da massa de solo. Por outro lado, no volume estrutural homogêneo contínuo ($C\Delta\mu$), entre 20cm a 40cm de profundidade, verifica-se menor quantidade de massa de solo para esta mesma classe (12,08%), e maior nas demais classes: 12,08% (classe 8mm), 14,82% (classe 4mm), 21,53% (classe 2mm), 21,96% (classe 1mm), 14,53% (classe 0,5mm), 7,38% (classe 0,25mm) e 7,7% (classe <0,25mm).

As maiores quantidades de massa de solo retida na peneira de maior malha para as primeiras profundidades parece demonstrar que a estabilidade desses agregados decorre, por um lado, da aproximação e cimentação das partículas do solo mediante atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, por outro, pela atuação de mecanismos físicos, químicos e biológicos (TISDALL & OADES, 1982).

O estado de agregação do solo sob manejo plantio direto mostra-se diferente quando considerado a variável profundidade. Até 15cm verifica-se que 62,04% da massa de solo permaneceu na peneira de maior malha (>8mm), enquanto que somente 2,14% permaneceu na peneira de malha menor (0,25mm) para a profundidade entre 15cm a 40cm.

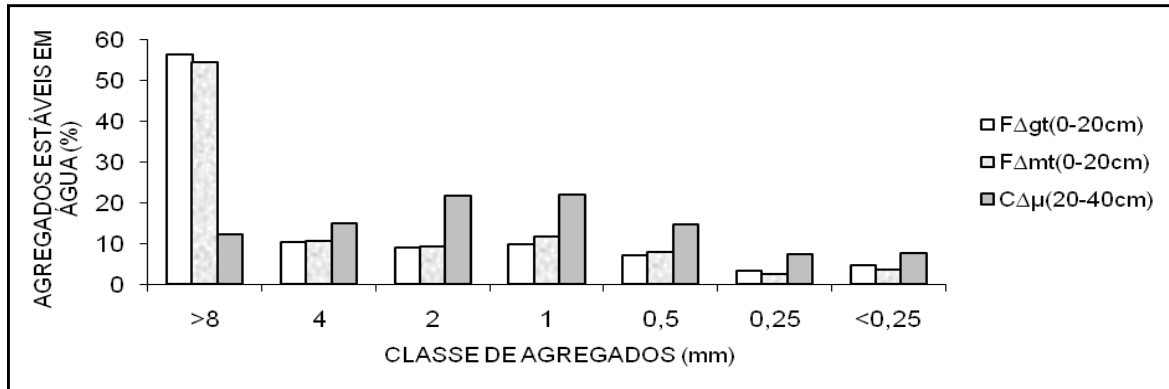


Figura 35 – Solo sob manejo plantio convencional e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água, nos volumes estruturais homogêneos: F Δ gt (compactado, com fissuras-grandes torrões); F Δ mt (compactado, com fissuras-médios torrões) e C Δ μ (em processo de compactação, contínuo)

Situação contrária ocorreu para a profundidade entre 15cm a 40cm, onde nas peneiras de 8mm e 0,25mm permaneceram 12,20% e 8,82% da massa de solo, respectivamente. Nesta profundidade, verificam-se, de maneira geral, quantidades proporcionais em todas as classes.

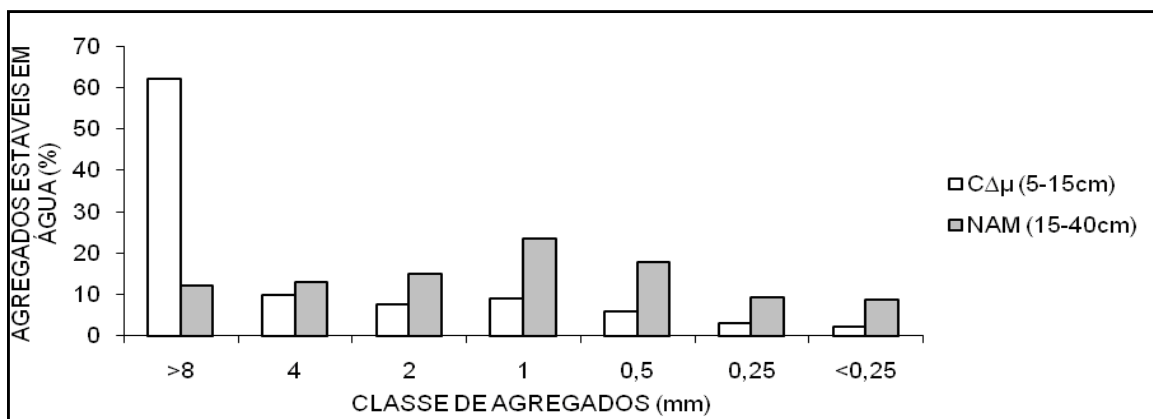


Figura 36 – Solo sob manejo plantio direto e a distribuição de sua massa, segundo a classe de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: F Δ μ (em processo de compactação, com fissuras) e NAM (não alterado pelo manejo)

Contemplando outra forma de observar o comportamento dos agregados estáveis em água verifica-se no manejo convencional que os Diâmetros Médios Ponderados (DMP) mostraram-se maiores na profundidade ente 0 a 20cm (8,7mm e 8,5mm) e menor para a profundidade entre 20cm a 40cm (3,33mm) (FIGURA 37).

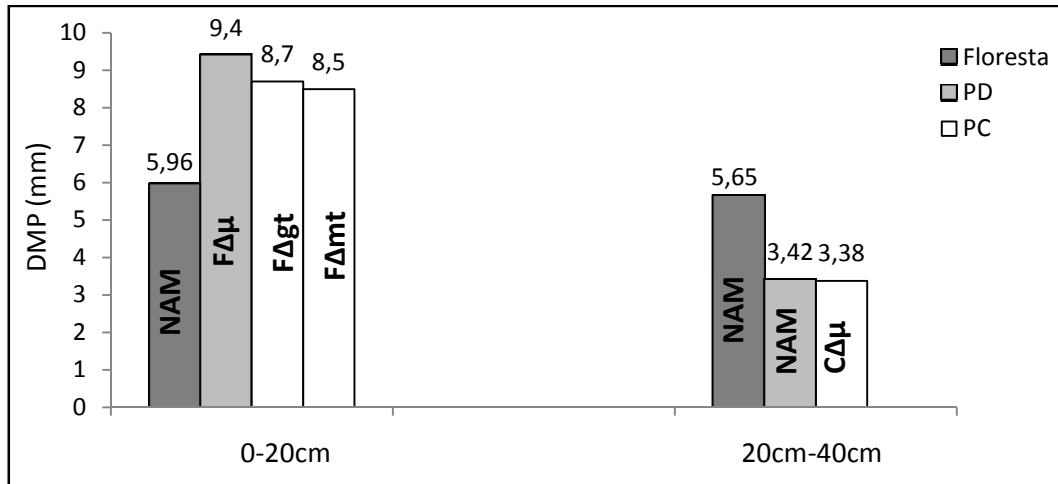


Figura 37 – Floresta, plantio convencional, plantio direto e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) de agregados estáveis em água nos volumes estruturais homogêneos: FΔgt/mt/Δμ (com fissuras, compactado-grandes torrões/médios torrões; processo compactação), CΔμ (em processo de compactação, contínuo) e NAM (não alterado pelo manejo)

Da mesma forma ocorreu na semeadura direta onde os maiores Diâmetros Médios Ponderados (9,4mm) predominam na profundidade entre 5cm a 15cm (FΔμ); já para profundidades maiores (15cm – 40cm) ocorreram agregados com 3,42mm de diâmetro médio.

Confrontando os DMPs do solo sob a floresta verifica-se que no manejo plantio convencional e direto os diâmetros mostraram-se maiores para as primeiras profundidades. Exceção desse comportamento ocorreu, apenas, para a profundidade entre 20cm a 40cm, onde no plantio convencional o diâmetro médio ponderado foi de 3,33mm (CΔμ), no plantio direto (NAM) 3,42mm, e no solo sob floresta 5,65mm.

Outras pesquisas verificaram que os agregados, quando submetidos a tamisamento por via úmida, apresentam grandes variações entre os tratamentos e profundidades analisados, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos submetidos à mecanização, decorrente do uso de implementos como arados de disco e/ou aivecas que promovem aparecimento de maiores quantidades de agregados com diâmetros menores (SILVA & MIELNICZUK, 1998).

O tipo de manejo, bem como as peculiaridades intrínsecas ao solo argiloso, determina diferentes graus na estabilidade estrutural do solo. Sobre essa variação verifica-se nos primeiros 20cm de profundidade maior estabilidade nos agregados do solo sob manejo plantio direto, com 98% no volume de solo FΔμ (processo de compactação, com fissuras), sendo seguida pelo solo sob plantio convencional (FΔgt

– compactado, com fissuras/grandes torrões) e floresta (NAM – não alterado pelo manejo) com 95% e 92%, respectivamente.

Por outro lado, os agregados do solo na profundidade seguinte (20cm a 40cm) a maior estabilidade foi verificada no solo sob floresta (NAM – não alterado pelo manejo) com 93%. Nessa profundidade o solo sob manejos plantio direto e convencional apresentou 91% (NAM – não alterado pelo manejo) e 84% (CΔμ - processo compactação, contínuo), sucessivamente.

Assim, examinando o grau de estabilidade a partir da variável tipo de manejo verifica-se que o plantio direto conferiu aos agregados do solo índices de estabilidade maior tanto para 0 a 20cm como 20cm a 40cm de profundidade.

Práticas de manejo bem como sistemas de cultivo afetam, consideravelmente, a taxa de decomposição dos resíduos culturais; em vista disso, são apontados como fatores relacionados à variação da quantidade de matéria orgânica do solo, que por sua vez apresentam relação com o grau de estabilidades dos agregados do solo (SALTON, 2005).

Sobre os resultados de estabilidade e a influência de agentes temporários e transitórios no processo de agregação, verifica-se que a homogeneidade nas quantidades de matéria orgânica no solo sob floresta para as profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm, pareceu refletir índices de estabilidade semelhantes dos agregados com 92% e 93% de estabilidade, respectivamente (FIGURA 38).

Nos solos cultivados os teores de carbono orgânico refletiram relação com o índice de estabilidade; porém foi verificado quantidades distintas desse elemento quando considerado o fator profundidade do solo. Assim, de 0 a 20cm o solo sob manejos plantio direto e convencional apresentou 14g dm^{-3} e 19g dm^{-3} com 98% e 95% de estabilidade dos agregados do solo, respectivamente. Para 20cm a 40cm de profundidade os teores de carbono orgânico de 8g dm^{-3} e 7g dm^{-3} conferiram 91% e 84% de estabilidade dos agregados, sucessivamente.

Sobre o resultado dessas correlações pesquisas mostram que existe um certo conteúdo de carbono orgânico, sobre o qual não há nenhum aumento na estabilidade dos agregados; e, além disso, o fator mais importante na relação quantidade de carbono orgânico e estabilidade de agregados não é, exatamente, o tipo e a quantidade de matéria orgânica, mas sim sua disposição no perfil do solo (CASTRO FILHO, 2001; TISDALL & OADES, 1982).

Sobre as diferenças na quantidade de matéria orgânica desses manejos, comparados à floresta, tem-se que sistemas de preparo do solo, por si só não respondem por essa variável, pois as formas de preparo podem ou não, estar associadas à prática de rotação de culturas. Nesse particular, elevados teores de matéria orgânica são relacionados à prática da rotação de culturas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Além disso, o contato entre resíduos culturais e o solo podem exercer papel importante no processo de decomposição permitindo, algumas vezes, que solos revolvidos em manejos convencionais possam apresentar maiores valores no teor de carbono orgânico, por facilitar a colonização dos restos culturais pelos microorganismos (AITA & GIACOMINI, 2007).

Sobre a influência dos óxidos de ferro e alumínio na maior e/ou menor estabilidade dos agregados, verifica-se que o solo na profundidade entre 0 a 20cm, sob o manejo plantio convencional, apresentou 95% de estabilidade para quantidades de 139g Kg^{-1} e 8g Kg^{-1} de óxido de ferro e alumínio, respectivamente. No solo sob manejo plantio direto, na profundidade entre 5cm a 15cm, os montantes de 129g Kg^{-1} de óxido de ferro e 8g Kg^{-1} de óxido de alumínio conferiram 98% de estabilidade aos agregados (FIGURA 39).

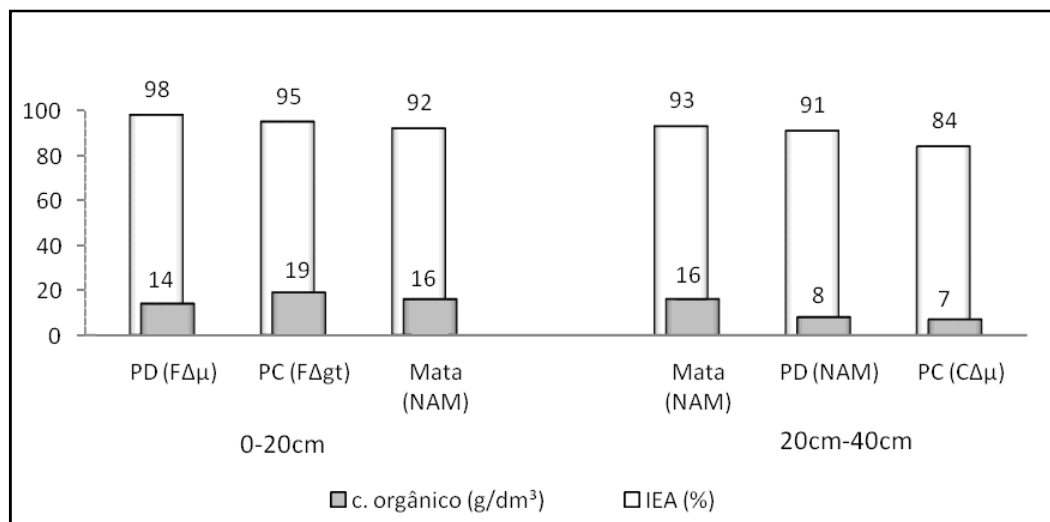


Figura 38 - Influência da matéria orgânica no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob floresta, convencional e plantio direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm nos volumes FΔμ/CΔμ (processo compactação, com fissuras/contínuo), FΔgt (compactado, com fissuras e grandes torrões) e NAM (não alterado pelo manejo)

Por outro lado, nas profundidades seguintes (20cm a 40cm) o índice de estabilidade foi menor para ambos manejos, bem como, as respectivas quantidades de óxidos; ou seja, 84% de estabilidade e 122g Kg⁻¹ de óxido de ferro, 5g Kg⁻¹ de óxido de alumínio na profundidade entre 20cm a 40cm para o plantio convencional e 91% de estabilidade com 118g Kg⁻¹ de óxido de ferro e 7g Kg⁻¹ de óxido de alumínio para o plantio direto entre 15cm a 40cm de profundidade.

A proporção entre a quantidade dos óxidos de ferro e alumínio e o índice de estabilidade dos agregados dos solos cultivados pode estar refletindo envolvimento de processos químicos na agregação e estabilidade estrutural; contudo não se pode atribuir que a estabilidade tenha relação apenas às quantidades desses elementos, pois faz-se necessário conhecer as formas em que o ferro se apresenta.

Contudo, no solo sob floresta verifica-se agregados com índices de estabilidade de 92% e 93% para as profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm, respectivamente; porém para a primeira profundidade foi encontrado 113g Kg⁻¹ e 5g Kg⁻¹ de óxido de ferro e alumínio, respectivamente; e para a segunda profundidade 128g Kg⁻¹ e 6g Kg⁻¹, sucessivamente. Sobre esse resultado os diferentes graus de cristalinidade dos óxidos podem estar contribuindo para o processo (MURTI et al., 1977; DUFRANC et al., 2004; FERREIRA et al., 2007).

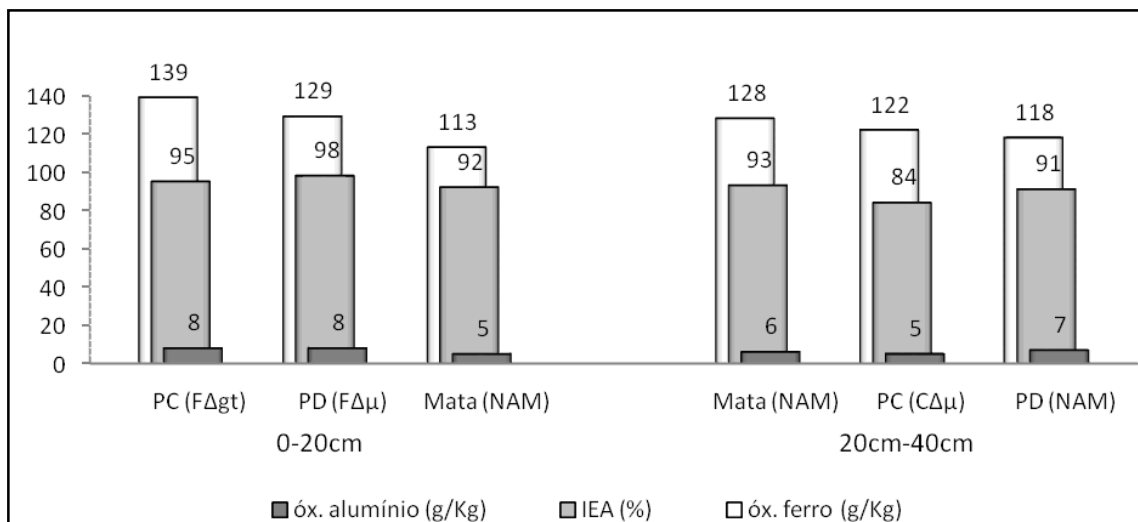


Figura 39 - Influência dos óxidos de ferro e alumínio no índice de estabilidade (IEA) de agregados do solo sob floresta, plantio convencional e plantio direto nas profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm nos volumes FΔμ/CΔμ (processo compactação, com fissuras/contínuo), FΔgt (compactado, com fissuras e grandes torrões) e NAM (não alterado pelo manejo)

5.8 Resistência do solo à penetração: Floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto

Os valores da resistência do solo à penetração da raiz foram estimados para umidades do solo entre $0,27\text{Kg Kg}^{-1}$ e $0,30\text{Kg Kg}^{-1}$ nas áreas sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto. O fator umidade constitui importante variável nas análises de resistência mecânica do solo, decorrente do fato de influenciar nas forças de coesão e adesão (QUADRO 5).

A Figura 40 apresenta, em forma de gráfico, os resultados da resistência mecânica do solo à penetração da raiz. Nesses dados pode-se verificar na estrutura do solo o reflexo da ação antrópica, como o tráfego de veículos associados ao cultivo mecanizado de grãos.

A resistência do solo à penetração para o solo sob floresta apresentou $1,22\text{MPa}$ na profundidade entre 0 a 10cm; $2,58\text{MPa}$ na profundidade entre 10cm a 30cm e $3,25\text{MPa}$ na última profundidade (30cm a 40cm). A umidade do solo para os primeiros 20cm foi de $0,28\text{Kg Kg}^{-1}$ e $0,30\text{Kg Kg}^{-1}$ para a profundidade entre 20cm a 40cm.

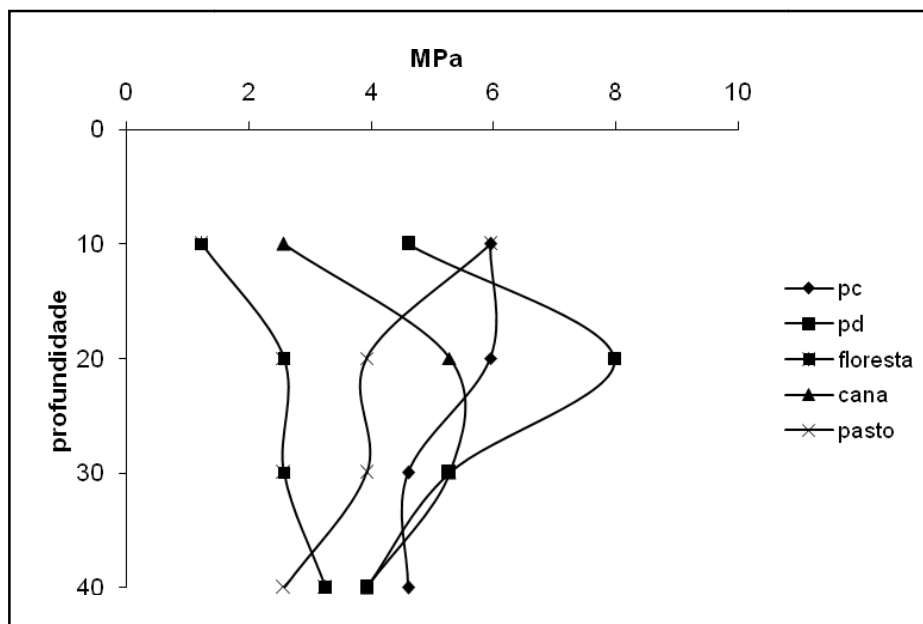


Figura 40 - Resistência do solo à penetração no solo sob floresta, cana-de-açúcar, pastagem, plantio convencional e plantio direto para as profundidades de 0-10cm, 10cm-20cm, 20cm-30cm e 30cm a 40cm

Quadro 5 - Umidade do Nitossolo Vermelho Latossólico eutroférico sob diferentes manejos, determinada no momento da realização da penetrometria de impacto e a resistência mecânica do solo à penetração da raiz (RP)

Manejos	Profundidade	Umidade	RP
	cm	Kg Kg ⁻¹	MPa
Floresta	0-10	0,28	1,22
	10-20		2,58
	20-30	0,30	2,58
	30-40		3,25
Cana-de-açúcar	0-10	0,28	2,58
	10-20		5,28
	20-30	0,27	5,28
	30-40		3,93
Pastagem	0-10	0,29	5,95
	10-20		3,93
	20-30	0,30	3,93
	30-40		2,58
Plantio Convencional	0-10	0,29	5,95
	10-20		5,95
	20-30	0,29	4,60
	30-40		4,60
Plantio Direto	0-10	0,27	4,60
	10-20		7,98
	20-30	0,28	5,28
	30-40		3,93

Nessa amostragem a umidade do solo para as primeiras profundidades (0 – 20cm) foi 0,28Kg Kg⁻¹ enquanto que para a profundidade entre 20cm a 40cm a umidade foi de 0,30Kg Kg⁻¹. Dentre as causas que podem justificar as diferenças de resistência mecânica do solo tem-se a umidade, a qual altera sua consistência e forma de uso e manejo. Para os resultados encontrados no solo sob floresta, possivelmente, a maior quantidade de raízes na profundidade entre 20cm a 40cm podem estar contribuindo nas resistências acima de 2MPa.

No solo sob manejo da cana-de-açúcar a primeira profundidade amostrada (0 – 10cm) apresentou 2,58MPa, aumentado significativamente para 5,28MPa nas profundidades de 10cm a 20cm e 20cm a 30cm. As umidades estimadas para as profundidades entre 0 a 20cm e 20cm a 40cm foram de 0,28Kg Kg⁻¹ e 0,27Kg Kg⁻¹, respectivamente. Essas diferenças no grau de resistência parecem ser justificadas pelos esforços cortantes e, ou de pressão; decorrentes dos processos de preparo do solo para a produção de grãos, anteriores à implantação da cana-de-açúcar. Dessa

forma o histórico de pré-compressão a que esse solo foi submetido pode estar influenciando nos resultados de resistência para profundidades a partir de 10cm.

No solo sob manejo da pastagem os resultados da resistência mecânica do solo à penetração do penetrômetro de impacto, parecem mostrar que existem camadas mais compactadas nas primeiras profundidades (0-10cm), já que nessa camada a resistência foi maior (5,95MPa) em relação a última profundidade amostrada (2,58MPa). Esses resultados podem ter relação com as pressões exercidas no solo decorrente de carga animal.

As resistências quantificadas para o solo sob manejo da cana-de-açúcar e da pastagem mostram estabelecimento de processo de compactação, uma vez que, valores maiores que 2,0MPa são apontados na literatura como solos que apresentam indício de porosidade afetada; e, portanto, estrutura alterada pela compactação e/ou adensamento conforme descrito no *Soil Survey Manual* (USDA).

Os valores da resistência do solo à penetração, verificados para os solos sob cultivo de grãos (plantio convencional, plantio direto) refletiram influências da aplicação de força mecânica em razão das operações de cultivo. No sistema convencional a resistência do solo para a profundidade entre 0 a 10cm foi maior (5,95MPa) em relação à apresentada na mesma profundidade para o solo sob semeadura direta (4,60MPa).

Para o solo sob plantio direto verifica-se que a maior resistência do solo (7,98MPa) encontra-se entre 10cm a 20cm de profundidade e a menor (3,93MPa) na profundidade entre 30cm a 40 cm. Na última profundidade amostrada (20cm a 40cm) os valores de resistência foram menores para esse sistema em relação ao plantio convencional. Os valores encontrados para o manejo plantio direto foram superiores aos encontrados por Tavares Filho et al. (2001), que ao avaliarem sistemas convencional e plantio direto (20 anos) em Latossolo argiloso, obtiveram 3,54MPa (0-15cm); 3,9MPa (15cm – 35cm) e 1,8MPa (35 – 40cm).

Sobre os diferentes valores de resistência mecânica do solo encontrados nessa pesquisa pode-se inferir que, além de refletirem diferentes variáveis como a umidade, densidade do solo e quantidade de argila; também estão condicionados a quantidade de repetições das amostras, as quais foram insuficientes (5 repetições) para quantificar, com exatidão, os efeitos desses sistemas de manejo na estrutura do solo e no crescimento radicular das culturas (TAVARES FILHO & RIBON, 2008).

6 DISCUSSÃO GERAL

Do ponto de vista da qualidade química, física e biológica do solo, sistemas de manejo intervêm, de forma negativa, na medida em que promovem alterações nas suas propriedades. O preparo do solo para o cultivo pode modificar sua estrutura, que de um modo geral, é percebida nas altas densidades; baixos índices de estabilidade dos agregados e aumento na resistência mecânica à penetração da raiz.

A umidade, temperatura, luz solar e aeração são elementos importantes do ponto de vista edafológico, pois condicionam a quantidade e a qualidade da matéria orgânica (PRIMAVESI, 1985). Verifica-se nos resultados dessa pesquisa maiores teores de carbono orgânico para solo sob os manejos da cana-de-açúcar e plantio convencional em relação à floresta, pastagem e plantio direto (FIGURAS 41, 42).

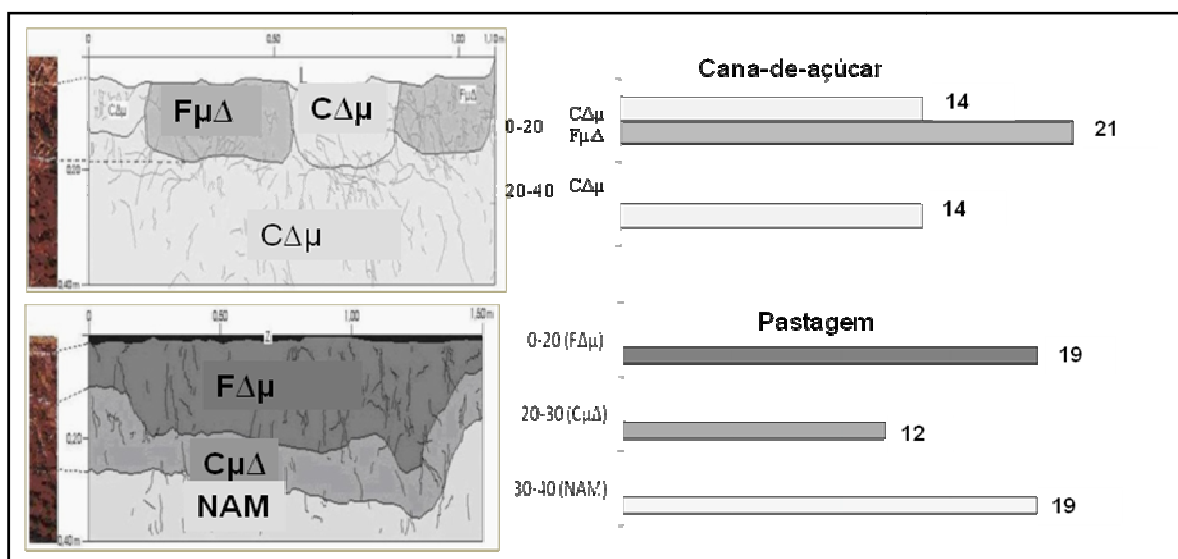


Figura 41 - Teores de carbono orgânico (g dm⁻³) para o solo sob manejos da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes homogêneos do solo

Muitos estudos têm mostrado maiores teores de carbono orgânico em solos sob manejo da semeadura direta, em relação ao plantio convencional (SALTON, 2005); contudo, sobre os maiores teores desse elemento encontrados no sistema convencional na presente pesquisa, há de considerar dois aspectos relevantes, a saber: profundidade da coleta das amostras (0 – 20cm, 20cm – 40cm) e maior

facilitação do contato entre os resíduos culturais e o solo, proporcionados pelo revolvimento que caracteriza esse tipo de sistema (AITA & GIACOMINI, 2007).

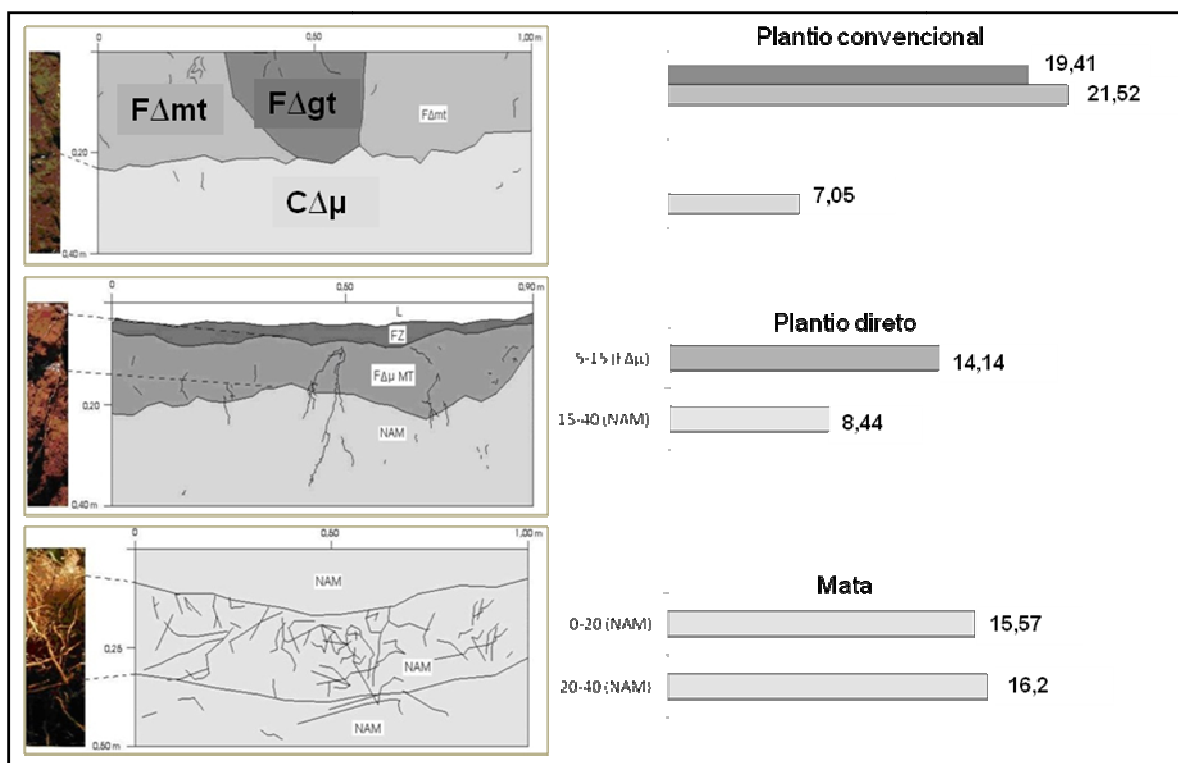


Figura 42 - Teores de carbono orgânico (g dm^{-3}) para o solo sob manejos plantio convencional, plantio direto e floresta nos volumes homogêneos do solo

Esse elemento tão importante para a vida existente no solo é co-responsável pela sua formação e estabilidade, pois a natureza química das gomas produzidas pela microfauna (bactérias, protozoários e fungos) também constitui agente cimentante de partículas minerais (TISDALL & OADES, 1982).

Sobre os resultados da estabilidade do solo verificados a partir do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, constatou-se predomínio de agregados maiores na profundidade entre 0 a 20cm em relação a profundidade de 20cm a 40cm para todos os sistemas de manejo; entretanto quando considerado a variável manejo os maiores diâmetros, em ordem crescente, são para o solo sob cana-de-açúcar, plantio convencional, pastagem e plantio direto.

Em conformidade com outros estudos (CASTRO FILHO, 2001) esse resultado vem confirmar que a ausência de mobilização do solo associado a rotação de culturas e histórico de pré-compressão a que o solo tenha sido submetido são

aspectos importantes na avaliação do índice de estabilidade dos agregados (FIGURAS 43,44).

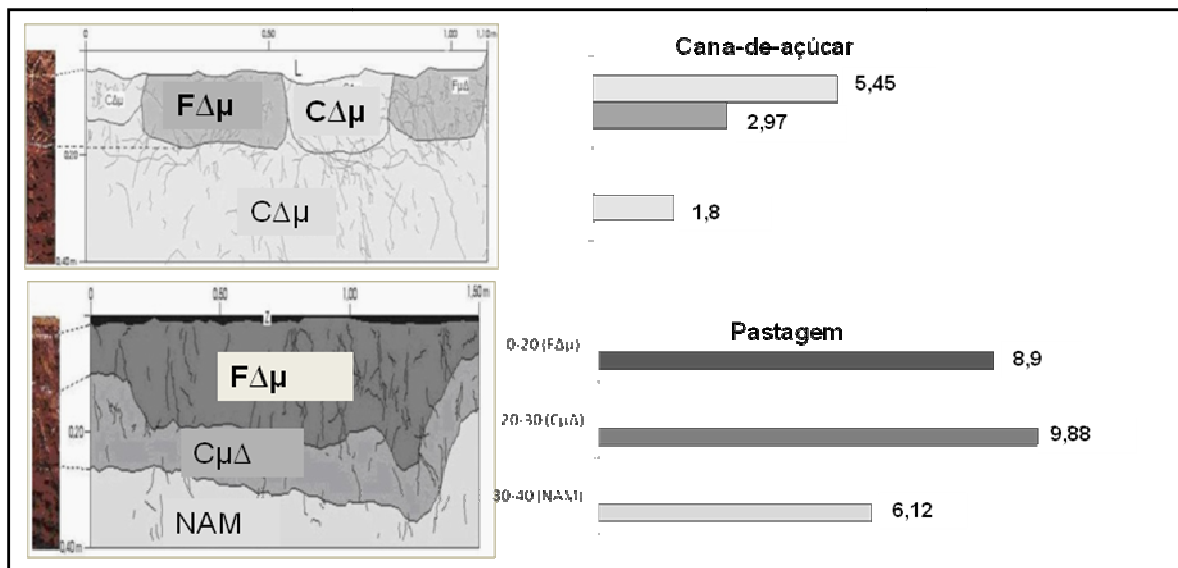


Figura 43 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob manejo da cana-de-açúcar e pastagem nos volumes homogêneos do solo

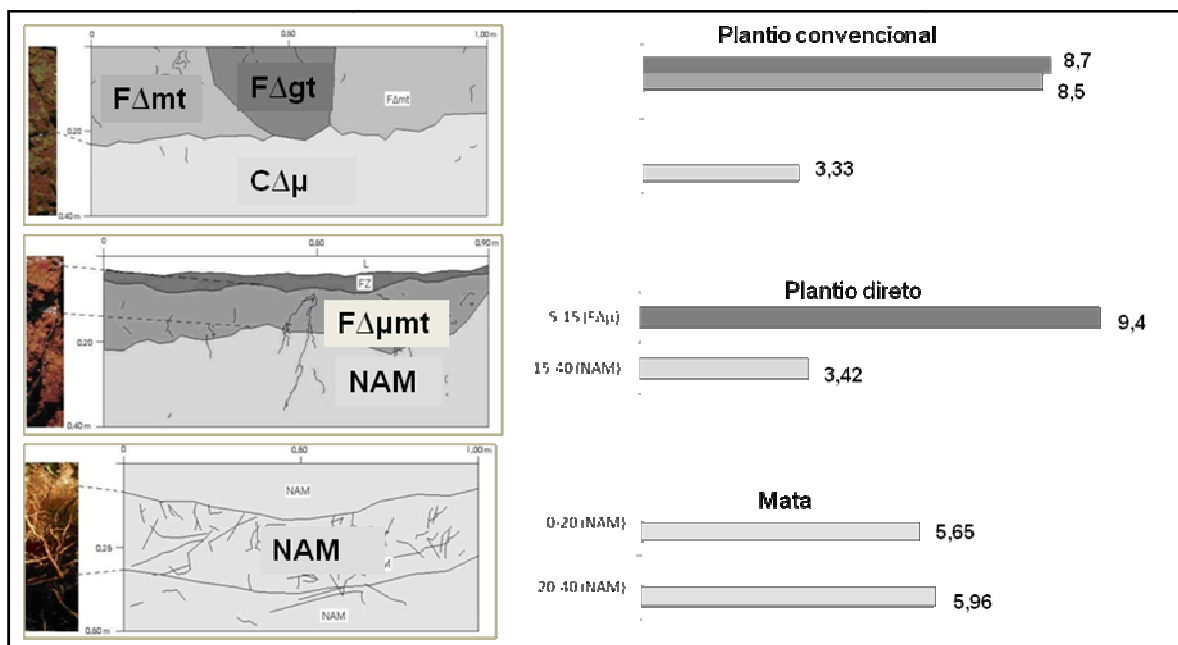


Figura 44 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob manejo plantio convencional, plantio direto e floresta nos volumes homogêneos do solo

Estruturas alteradas, como as apresentadas em solos compactados, podem condicionar formas de degradação ambiental na medida em que contribuem para o

surgimento de erosões pela perda da capacidade de absorção de água e, conseqüentemente, maiores escoamentos superficiais. Sobre a densidade do solo avaliada segundo os tipos de manejo, verifica-se maiores densidades para o solo sob pastagem em relação a cana-de-açúcar; decorrente da aplicação de força mecânica promovida pelo pisoteio dos animais naquele tipo de uso (FIGURA 45).

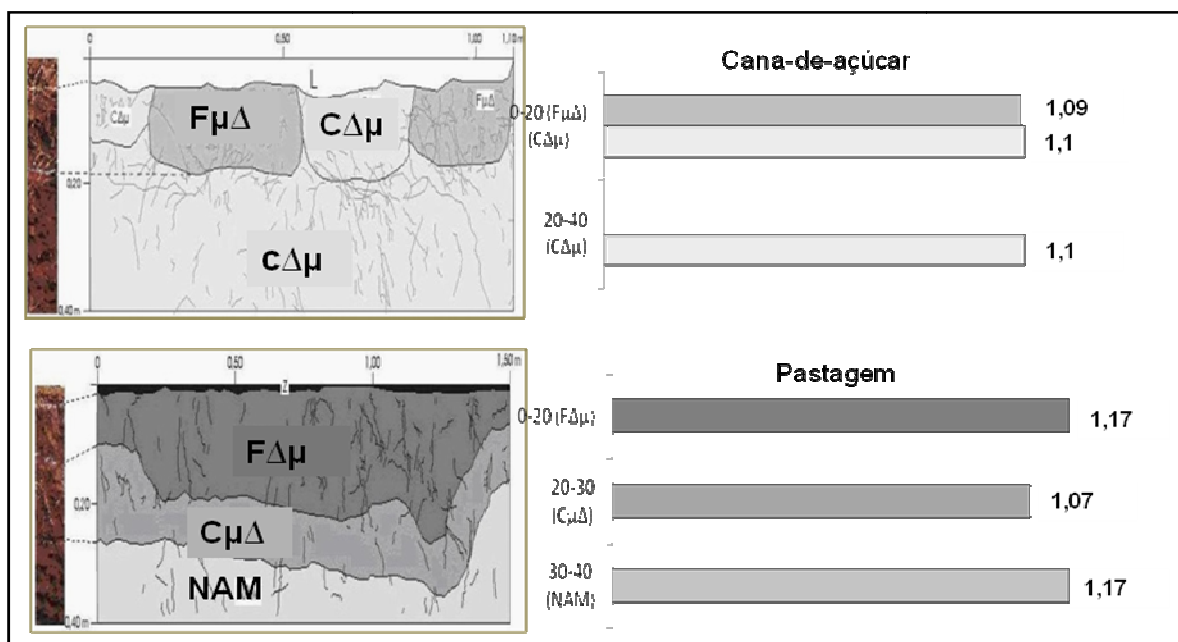


Figura 45 - Densidade do solo sob manejo da cana-de-açúcar e pastagem nos diferentes volumes homogêneos do solo

Por outro lado, no solo sob cultivo de grãos as densidades foram distintas, quando considerado o fator profundidade, a saber: o solo sob manejo plantio convencional apresentou maior densidade na profundidade entre 20cm a 60cm, a qual é esperada nesse tipo de sistema em decorrência dos preparos primário e secundário.

Na semeadura direta a maior densidade foi encontrada para as primeiras profundidades (0 – 20cm). Outros estudos indicam ser comum essa densidade, em razão da ausência de mobilização do solo e o intenso tráfego de máquinas e implementos. Além disso, estudos revelam que essa densidade não constitui fator limitante ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular quando da prática da rotação de culturas (FIGURA 46).

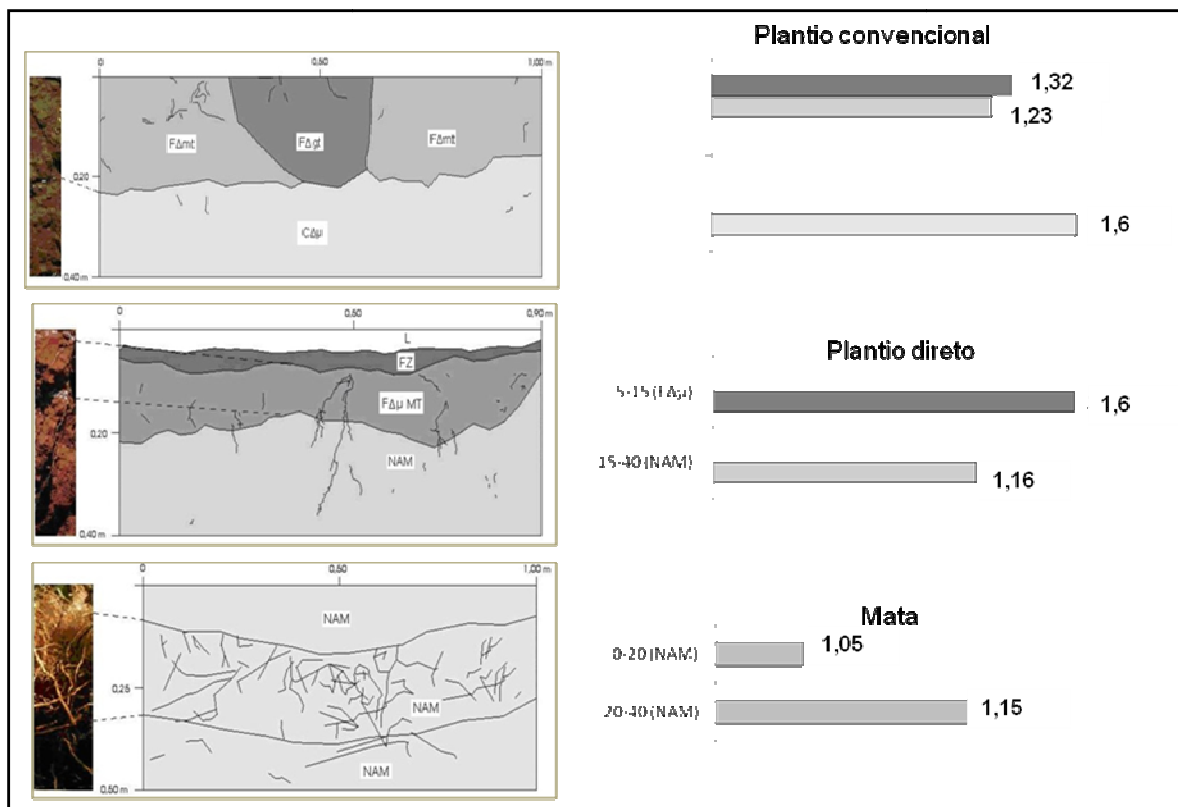


Figura 46 - Densidade do solo sob manejo plantio convencional e plantio direto nos diferentes volumes homogêneos do solo

Densidades altas e agregados com índices de estabilidade baixo, pode agredir o meio ambiente à medida que, em consequência dos processos de erosão, provocam assoreamento dos rios, lagos e represas; interferindo, de um modo geral, tanto na quantidade como na qualidade dos recursos hídricos.

Contudo, sobre estudos que tratam das alterações das propriedades do solo, a partir do tipo de manejo e as consecutivas influências na qualidade ambiental, faz-se necessário abordagens não somente das práticas agrícolas, que exercem influência na quantidade e qualidade da matéria orgânica, no fracionamento dos agregados do solo, entre outros; mas, sobretudo, das especificidades inerentes aos minerais, pois são as interações entre argilas (caulinita, vermiculita) e óxidos (hematita, maghemita, goethita, gibbsita), com cargas negativas e positivas, respectivamente, que promovem a floculação e a agregação do solo. Além desse conhecimento, a determinação do grau de cristalinidade dos minerais oxídicos, pela quantificação dos teores de ferro, também é igualmente necessária nesse processo.

7 CONCLUSÕES

O método do perfil cultural permite a observação qualitativa das estruturas do solo tanto em profundidade como em lateralidade. Os volumes de solo, bem como o estado interno dos agregados refletem condições físicas individualizadas para cada tipo de uso.

A auto-recuperação do solo pôde ser verificada, de forma mais efetiva, para os manejos da pastagem e do plantio direto. Naquele, a partir de 30cm de profundidade verifica-se solo não alterado pelo manejo (NAM) e nesse a mesma condição foi encontrada a partir de 20cm. Essa situação demonstra refletir a ação do sistema radicular ora da gramínea, ora dos vegetais envolvidos no sistema de cultivo.

Do ponto de vista da interação solo e atmosfera o manejo plantio convencional caracteriza-se por ser menos favorável para a estrutura do solo, pois, não se verifica terra solta na camada mais superficial do solo. Essa situação demonstra condicionar volumes com maiores dimensões de solo compactado.

As maiores densidades foram verificadas para os manejos do solo sob o cultivo de grãos. Contudo, o sistema plantio direto mostra-se mais favorável do ponto de vista da qualidade estrutural do solo, pois a partir de 20cm de profundidade verifica-se densidade semelhante àquela encontrada no solo sob floresta nativa.

Os maiores teores de carbono orgânico foram encontrados nas menores profundidades para todos os manejos analisados. Sobre seu comportamento, verifica-se determinada semelhança para os solos sob plantio direto e floresta nativa. Essa situação pode ser decorrente da menor interferência no ciclo de vida da fauna do solo, proporcionada pelas melhores condições de umidade, temperatura, luz solar direta e aeração.

A estabilidade dos agregados do solo sob manejo da cana-de-açúcar foi maior em relação ao solo sob pastagem, nas primeiras profundidades; enquanto que nos solos sob cultivo de grãos (plantio convencional e plantio direto) a maior estabilidade foi verificada para o solo sob manejo da semeadura direta. Desse resultado fica evidenciado a ação da matéria orgânica e da mineralogia do solo, em especial os óxidos de ferro; ora na forma cristalina, ora amorfa.

As maiores resistências do solo à penetração para os primeiros 10cm de profundidade foram encontradas para os solos sob manejo da pastagem e plantio convencional. Essas resistências mostram em parte o pisoteio do gado e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições de umidade, possivelmente, não favoráveis. Por outro lado, sobre os aumentos da resistência do solo para as profundidades entre 10cm a 20cm verificadas no solo sob floresta, cana-de-açúcar e plantio direto pode-se atribuir a ação do sistema radicular no momento da penetrometria para o solo sob floresta e cana-de-açúcar, e presença de camada mais compactada decorrente da ação das máquinas e implementos usados nas operações de cultivo para o solo sob manejo plantio direto.

De um modo geral, sobre as alterações das propriedades do solo em razão do tipo de manejo, verifica-se que entre manejo convencional e plantio direto a compactação é compensada pela presença de porosidade fissural verificada nos volumes de solo identificados no método do perfil cultural. Contudo, do ponto de vista edafológico os grandes torrões identificados no solo sob manejo convencional não são favoráveis ao desenvolvimento das raízes, por constituírem-se em obstáculos.

As análises, tanto qualitativas como quantitativas, parecem mostrar que a dimensão física do solo reflete os usos e manejos, sobretudo a variável densidade, a qual é fundamental decorrente de suas implicações edafológicas. Além disso, processos de compactação interferem na qualidade do meio ambiente à medida que provocam o assoreamento dos canais de drenagem em decorrência de impedimentos da infiltração da água da chuva e, consecutivamente, maior escoamento superficial associados ao desencadeamento de processos erosivos.

Por outro lado, a complexidade das propriedades físicas do solo mostrou-se evidente, sobretudo, pela ausência de interações entre os fatores analisados.

8 REFERÊNCIAS

ABRÃO, P. U. R. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, n. 3, p. 169-172, 1979.

AITA, Celso; GIACOMINI, Sandro J. Matéria Orgânica do Solo, Nitrogênio e Enxofre nos Diversos Sistemas de Exploração Agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA. 2007, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: IPNI. 2007. p. 1–35.

ANGELIS, B.L.D.; ANGELIS, G.N. Maringá e suas praças – tempo e história. Maringá: *Boletim de Geografia*, ano 19, v. 1, n. 1, p. 129-147, 2001.

ALVES, Grace B.; GONÇALVES JÚNIOR, Francisco A.; NAKASHIMA, Paulo. Alterações das propriedades físicas dos solos, em decorrência do uso e manejo, no alto curso da bacia do ribeirão Floriano, Maringá – PR. In: XV ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – EAIC (PIBIC/CNPq). 16., 2007, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa, 2007. 1 CD.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 13 p.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL E INDUSTRIAL DE MARINGÁ. Disponível em: <www.acim.com.br/arquivos/150949artigoregiaometropolitanademaringa.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2007.

BARROS, Zacarias X. et al. Estudo da adequação do uso do solo, no município de Maringá - PR, utilizando-se de geoprocessamento. *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 2, Jaboticabal, 2004.

BASTOS, Guilherme. et al. Resultado do Rally da Safra 2007: Uma Avaliação do Plantio Direto no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA – GESTÃO SUSTENTÁVEL DO AGRONEGÓCIO, n. 10., 2007, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2007.

BAVER, L. D; GARDNER, W. H; GARDNER, W. R. *Física de suelos*. México: Hispano-Americana, 1973. 529 p.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.
- BRADY, N.C.; WEIL R.R. *The nature and properties of soils*. 13.ed. New Jersey: Pearson Education, 2002. 960p.
- BRANDÃO, Viviane S. et al. *Infiltração da água no solo*. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.
- BRUSSAARD, H. G. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. *Soil Compaction in Crop Production*. Ed. B. D. Soane e C Van Ouwerkerk. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 215-231.
- CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZEZIUK, F. *Plantio direto e rotação de culturas (experiência em Latossolo Roxo/1985-1992)*. Paraná: COCAMAR/ZENECA Agrícola, 1992, 64p.
- CAMARGO, O. A. et al. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas, 1986, 94 p. (Boletim Técnico nº 106).
- CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Sui M.; NEVES, Maria C. *Microbiologia do solo*. São Paulo: SBCS, 1992. 360 p.
- CARPENEDO, Valcir. *Compressibilidade de solos em sistemas de manejo*. 1994. 106 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.
- CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: Morais, Maria H.; MULLER, Marcelo M. L.; FOLONI, José S. S. (Orgs.). *Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, 2001. cap. 2, p. 21-41.
- CHESTERS, G.; ATTOE, O. J.; ALLEN, O. N. Soil aggregation in relation to various soil constituents. *Soil Science Society Proceedings*, p. 273-276, 1957.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.
- COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL DE MARINGÁ. Disponível em: <<http://www.cocamar.com.br/cocamar/Portal/>>. Acesso em: 30 mai. 2007.
- COLOMBANO, Lisane P. *Efeito do peso das máquinas e da pressão dos pneus, sobre a compactação do solo em sistema de plantio direto*. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

COMPANHIA MELHORAMENTOS NORTE DO PARANÁ. *Colonização e desenvolvimento do Norte do Paraná*. 2. Ed. [S.l: s.n.], 1997.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*. Weinheim, VHC, 2003, 664 p.

COSTA, Carlos S. Determinação de cobre, alumínio e ferro em solos derivados do basalto através de extrações seqüenciais. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 548-552, 2002.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res*, v. 11, p. 199-238, 1988.

DIAS Jr., M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, p. 175-182, 1996.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, n. 3, p1-21, 2004.

EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *Eur. J. Soil Sci.*, 10:235-244, 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/pastagens/evolucaobr.php>>. Acesso em: 05 nov. 2007.

_____. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 1997. 212 p.

_____. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Curitiba. EMBRAPA/SNLCS/IAPAR, 1984, 791 p. (Boletim Técnico, nº57).

_____. Guia para identificação dos principais solos do Estado do Paraná. EMBRAPA-DDT/SNLCS, 1986, 36 p. (Boletim Técnico, nº10).

_____. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/>>. Acesso em: 30 set. 2006 e 30 out. 2007.

FERREIRA, Fernando P. et al. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 381-388, 2007.

FOTH, Henry. D. *Fundamentals of Soil Science*. New York: John Wiley & Sons. 6. ed. 1978. 436 p.

FREGONEZI, G. A. et al. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, n. 4, p. 1017-1027, 2001.

GASPARETTO, N. V. L.; SANTOS, M. L. O Emprego de Minerais Pesados como Indicador da Proveniência da Cobertura Pedológica do Arenito Caiuá na Região Noroeste do Paraná. *Revista Pesquisa em Geociências*, Porto Alegre, v. 32, p. 1-7, 2005.

GÓES, Gilton B. et al. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. *Irriga*, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 116-122, 2005.

HELLIN, Jon. *Better Land Husbandry*. USA: Martin J Haigh Science Publishers, 2006. 315 p.

HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York: Academic Press, 1998. 771 p.

HORTON, R.; ANKENY, M. D.; ALLMARAS, R. R. Effects of Compaction on Soil Hydraulic Properties. In: B. D. Soane and C. Van Ouwerkerk. (Ed.). *Soil Compaction in Crop Production*. Amsterdam: Elsevier, 1994. cap. 7, p. 141-162.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Disponível em: <www.iapar.br/>. Acesso em: 04 abr 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Noroeste do Estado do Paraná*. Ministério da Agricultura. 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/revista.shtm>>. Acesso em: 30 mai. 2007.

_____. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: 01 jun. 2007.

KAY, B. D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* v. 12, p. 1-41, 1990.

KIEHL, Edmar J. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Ave Maria, 1979. 262 p.

LAL, R. Physical Management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science*. v. 165, n. 3, p. 191-203, 2000.

LAL, Rattan; SHUKLA, Manoj K. *Principles of Soil Physics*. Ohio: Marcel Dekker, INC. New York, 2004. 716 p.

LEMOES, Raimundo C.; SANTOS, Raphael D. *Manual de Descrição e Coleta de Solo*. Campinas: SBCS, 1996. 83 p.

LETEY, J. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. *Advances in Soil Science*, v.1, p. 277-293, 1985.

- LUCHESE, Eduardo B.; FAVERO, Luzia O. B.; LENZI, Erwin. *Fundamentos da Química do Solo: Teoria e prática*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 159 p.
- LUZ, France. *O fenômeno urbano numa zona pioneira*: Maringá. Maringá: PMM, 1997. 215 p.
- MAACK, R. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.
- MANICHON, H. *Influence des systèmes de culture sur de profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique*. 1982. 241 f. Tese (Doutorado) - Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 1982.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals*, v. 7, p. 317-327, 1960.
- MELFI, A. J. *Lateritas e Processos de Laterização: Aula Inaugural*. São Carlos: Mimeo, 1997. 29 p.
- MÉNDEZ, Miguel A. *Estabilidade de agregados do solo afetada por sistemas de manejo*. 1996. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- MINEROPAR MINERAIS DO PARANÁ. *Minas do Paraná*. Curitiba, 2006. 105 p.
- _____. *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. Versão PDF. 2001. 1 CD.
- MORO, Dalton A. Substituição de Culturas e Transformações na Organização do Espaço Rural do Município de Maringá. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas: USP. São Paulo. 1980.
- MURTI, K. G. S. R.; SINGH, G.; RENGASAMY, P. The nature of soil clays and the stability of microaggregates. *Australian Journal Soil Research*, v. 15, p. 115-119, 1977.
- NEVES, C. S. V. J. et al. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey Oxisols in Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.71, n. 2, p. 109-119, 2003.
- NEVES, Maria C. P. Como os microrganismos do solo obtêm energia e nutrientes. In: CARDOSO, E. J.B. et al (Orgs.). *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCB, 1992. cap. 2, p. 17-31.
- PHILLIPS, S. H., YOUNG, H. M. *No-Tillage Farming*. Milwaukee: Reiman Associates, 1973. 224 p.
- PINESE, P. J. P.; NARDY, R. A. J. Contexto geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. In: ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 1., 2003, Maringá. *Anais...*, 2003.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE MARINGÁ (PMM). Disponível em: <<http://www.maringa.pr.gov.br/>>. Acesso em: 30 mai. 2007.

PRIMAVESI, Ana. *Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 1985. 549 p.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, v. 51, p. 595-605, 2000.

RALISCH, R. *Perfil Cultural*. Material Preparado para Curso de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica em Espírito Santo do Pinhal (SP). Departamento de Agronomia (UEL), Londrina, 1997.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. O Perfil Cultural na Avaliação do Manejo do Solo e da Compactação. In: MORAIS, Maria H; MULLER, Marcelo M. L.; FOLONI, José S. S. (Orgs.). *Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, 2001. cap. 4, p. 74-87.

REINERT, D. J. et al. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 14, p. 19-25, 1984.

ROBAINA, Carla R. P. *Efeitos da vinhaça na produção de cana-soca (Saccharum spp) e nas características físicas e químicas de um Latossolo roxo*. 1997. 42 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1997.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. *Regards sur le sol*. Paris: les Éditions Foucher, 1993. 192p.

SALTON, Júlio C. *Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical*. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 8, n. 3, p. 265-268, 1984.

SILVA, A. C. O. et al. Estudo do fracionamento de argilas brasileiras para fins catalíticos. Extração de óxidos de ferro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 23, Poços de Caldas, *Anais...*, 2000.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 311-317, 1998.

SILVEIRA, Leonor M. *Análise rítmica dos tipos de tempo no Norte do Paraná, aplicada ao clima local de Maringá-PR*. 2003. 504 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo Faculdade de Filosofia, Letras e ciências humanas Departamento de Geografia, São Paulo, 2003.

SIQUEIRA, R. Sistemas de preparo do solo e plantio direto. In; Morasi, Maria H; MULLER, Marcelo M. L., FOLONI, José S. S. *Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal. FUNEP. 2001.

SKINNER, Brian J. *Recursos Minerais da Terra*. São Paulo: Blücher, 1985. 139 p.

SOIL SURVEY MANUAL. USDA . Disponível em: <<http://soils.usda.gov>>. Acesso em: 05 jul 2008.

SKRABA, Marcela M.; NAKASHIMA, Paulo. Estudo dos sistemas pedológicos da bacia do ribeirão Pingüim – Maringá. In: XVI ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – EAIC (PIBIC/CNPq). 16., 2007, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa, 2007. 1 CD.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p. 229-235,1991.

TAVARES FILHO, J.; EIRA, G. C.; FARINHA, L. R. Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional. *Engenharia. Agrícola*, Jaboticabal, v. 19, p. 219-225, 1999.

TAVARES FILHO, J. RALISCH, R., GUIMARÃES, M.F., MEDINA, C.C.,BALBINO, L.C., NEVES, C.S.V.J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 23, p. 393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, FONSECA, I. C. B. *Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zea mays) sob difetentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.25, p. 725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 487-494, 2008.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water – stable aggregation in soils. *Soil Sci*, London, v. 33, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência e penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, p. 333-339, 1996.
VITOUSEK, P. M. Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology*, 75:1891-1897, 1994.

ZOONN, S. V. *Tropical and subtropical soil science*. Traduzido por: M. Victorava. Moscou: Mir Publishes, 1986. 422 p.

WATANABE Sérgio H. *Caracterização física de um latossolo vermelho distrófico submetido a diferentes métodos de preparo do solo*. 2001. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2001.

WHITE, L. C. *Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1908.

YÁGODIN, B.; SMIRNOV, P.; PETERBURGSKI, A. *Agroquímica*. Traduzido por: Ramiro R. Zabaco. Moscou: Mir Publishes, 1986. 416 p.

Nome do arquivo: DEFESA para acerto
Diretório: C:\Documents and Settings\Marcelo\Meus documentos
Modelo: C:\Documents and Settings\Marcelo\Dados de aplicativos\Microsoft\Modelos\Normal.dotm
Título: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
Assunto:
Autor: user
Palavras-chave:
Comentários:
Data de criação: 12/4/2009 Mona 15:30:00
Número de alterações:3
Última gravação: 12/4/2009 Mona 15:41:00
Salvo por: mona. x)
Tempo total de edição: 10 Minutos
Última impressão: 12/4/2009 Mona 15:42:00
Como a última impressão
Número de páginas: 116
Número de palavras: 32.058 (aprox.)
Número de caracteres: 173.118 (aprox.)